

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMADOR DIGITAL CON
ENERGÍA SOLAR PARA MÚLTIPLES USOS EN UNA GRANJA**

**HUGO IVÁN CELIS PERDOMO
JEFFERSON LEIVA LISCANO**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA - HUILA
2011**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMADOR DIGITAL CON
ENERGÍA SOLAR PARA MÚLTIPLES USOS EN UNA GRANJA**

**HUGO IVÁN CELIS PERDOMO
JEFFERSON LEIVA LISCANO**

**Proyecto de grado presentado para optar
al título de Ingeniero Electrónico**

**Director:
EDILBERTO POLANÍA PUENTES
Ingeniero Electrónico**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA - HUILA
2011**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del primer jurado

Firma del segundo jurado

Neiva, 08 de Septiembre de 2011

A DIOS que es la fuerza de la vida y Él lo hace posible todo;
A mi padre LUIS FELIPE CELIS TOVAR y a mi madre AGUSTINA PERDOMO
SOTO quienes me dieron su apoyo incondicional y me enseñaron a ser
responsable de mis actos y a no desfallecer en los fracasos;
A mi esposa JANA JUDITH OLAYA GARAY por su valiosa compañía y su
inmenso Amor;
A mi hijo MARTIN ALEJANDRO CELIS OLAYA, a quien no voy a defraudar y seré
un ejemplo para su vida;
Al ingeniero EDILBERTO POLANIA, que nos brindó apoyo en la elaboración del
proyecto;
A todos aquellos que creyeron en mi, amigos y familiares;

HUGO IVÁN CELIS PERDOMO

Agradezco a Dios por esta bendición;
A mi padre RAUL LEIVA OSPINA (Q.E.P.D.);
A mi madre LUZ MYRIAN LISCANO R;
Ellos me formaron la persona que soy;
Gracias profesor YAMIL A CERQUERA, usted hizo posible este proyecto;
Un agradecimiento muy especial al profesor EDILBERTO POLANIA;
Extiendo mi más sincero agradecimiento a mis profesores;

JEFFERSON LEIVA LISCANO

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a:

DIOS que nos dio el regalo de la Vida y todas las cosas buenas que hicieron posible ser dignos de ella.

A nuestros padres y familiares que nos dieron la motivación y energía para seguir esforzándonos en nuestros propósitos y poder culminar una etapa más en nuestra vida; sus valiosas enseñanzas hicieron posible convertirnos en profesionales de bien y con mucha ética profesional.

A la Universidad Surcolombiana, profesores, amigos por su paciencia y apoyo; por aquellos buenos momentos que compartimos y que siempre estarán en nuestros recuerdos y en lo más profundo de nuestro corazón.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.1 DESCRIPCIÓN	18
1.2 FORMULACIÓN	18
2. OBJETIVOS	19
2.1 OBJETIVO GENERAL	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3. MARCO TEÓRICO	20
3.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	20
3.1.1 Páneles o módulos solares	21
3.1.2 Celda solar	22
3.1.3 Materiales de la celda solar	23
3.1.4 Parámetros del panel solar	23
3.2 BATERÍAS	25
3.3 REGULADOR	27
4. METODOLOGÍA	29
4.1 PROGRAMADOR DIGITAL CON ENERGÍA SOLAR	29
4.2 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	30
4.2.1 Páneles Solares fotovoltaicos	30
4.2.2 Baterías	33

4.2.3	Regulador de carga de las baterías	33
4.2.4	Inversor	34
4.3	PROGRAMADOR DIGITAL	35
4.3.1	Etapas de Control	35
4.3.2	Salidas de Corriente Continua	40
4.3.3	Salidas de Corriente Alterna	41
4.4	LA CARGA	42
4.5	INSTALACIÓN DEL SISTEMA	43
5.	RESULTADOS	46
6.	CONCLUSIONES	49
	RECOMENDACIONES	50
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
	ANEXOS	53

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Sistema solar fotovoltaico	20
Figura 2. Módulo Fotovoltaico	21
Figura 3. Efecto fotoeléctrico	22
Figura 4. Partes de la celda solar	23
Figura 5. Curva característica de un panel solar	24
Figura 6. Estado de carga	26
Figura 7. Diagrama de Bloques del Programador Digital con Energía Solar	29
Figura 8. Diagrama en bloques del Sistema Fotovoltaico	30
Figura 9. Módulo solar PV VLX solarex	30
Figura 10. Conexiones en serie y paralelo de los módulos solares	31
Figura 11. Medidas de los pánels con poca luminosidad	32
Figura 12. Medidas de los pánels con máxima luminosidad	32
Figura 13. Baterías del sistema	33
Figura 14. Regulador 12V a 15A	33
Figura 15. Forma de onda a la salida del inversor	34
Figura 16. Prueba del inversor	34
Figura 17. Configuración de interfaz serial	37
Figura 18. Teclado matricial y pantalla LCD del Programador Digital	38
Figura 19. Acciones de programación mostradas por la pantalla LCD del Programador Digital	39

Figura 20. Portal del software Programador Digital	39
Figura 21. Salidas D.C.	41
Figura 22. Salidas A.C.	42
Figura 23. Dispositivos de conexión D.C.	42
Figura 24. Dispositivos de conexión A.C.	43
Figura 25. Ubicación de los pánles	43
Figura 26. Conexión de módulos en paralelo	44
Figura 27. Programador digital	44
Figura 28. Salida D.C. en el circuito real	45
Figura 29. Salidas A.C. en el circuito real	45

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Relación de voltaje y estado de carga de una batería	25
Tabla 2. Niveles de tensión del MAX232	36
Tabla 3. Comportamiento planta solar con alta nubosidad y lluvia	46
Tabla 4. Comportamiento planta solar con sol intenso	46
Tabla 5. Medición de la radiación solar	47

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Distribución espacial de la radiación global en Colombia, promedio multianual	55
ANEXO B. Diagrama esquemático del Programador Digital	56
ANEXO C. Diagrama esquemático de las Salidas D.C.	57
ANEXO D. Diagrama esquemático de las Salidas A.C.	58
ANEXO E. Arquitectura interna del PIC18F452	59
ANEXO F. Diagrama en bloques del RTC DS1307	60

GLOSARIO

CELDA SOLAR: también llamada célula fotoeléctrica, fotocélula o celda fotovoltaica, es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía luminosa (fotones) en energía eléctrica (electrones) mediante el efecto fotovoltaico. Están compuestas de un material que presenta efecto fotoeléctrico: absorben fotones de luz y emiten electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.

CONTACTOR: Un contactor es un componente electromecánico que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando, tan pronto se energice la bobina. Tiene la posibilidad de ser accionado a distancia, tiene dos posiciones de funcionamiento, un estado OFF, cuando no recibe acción alguna por parte del circuito de mando y un estado ON cuando recibe la señal de circuito de mando. Este tipo de funcionamiento se llama de "todo o nada".

EFECTO FOTOVOLTAICO: transformación parcial de la energía luminosa en energía eléctrica.

EFECTO FOTOELÉCTRICO: Consiste en la emisión de electrones por un material cuando se le ilumina con radiación electromagnética (luz visible o ultravioleta, en general).

ENERGÍA SOLAR: es la energía obtenida mediante la captación de la luz y el calor emitidos por el Sol.

FOTÓN: (Griego $\phi\acute{\omega}\varsigma$, $\phi\omega\tau\acute{\omicron}\varsigma$ [luz], y -ón) es la partícula elemental responsable de las manifestaciones cuánticas del fenómeno electromagnético. Es la partícula portadora de todas las formas de radiación electromagnética, incluyendo a los rayos gamma, los rayos X, la luz ultravioleta, la luz visible (espectro electromagnético), la luz infrarroja, las microondas, y las ondas de radio.

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).

OPTOACOPLADOR: Un optoacoplador, también llamado *optoaislador* o aislador acoplado ópticamente, es un dispositivo de emisión y recepción que funciona como un interruptor excitado mediante la luz emitida por un diodo LED que satura un componente optoelectrónico, conformado normalmente por un fototransistor o fototriac. De este modo se combinan en un solo dispositivo semiconductor, un fotoemisor y un fotorreceptor cuya conexión entre ambos es óptica.

PANEL SOLAR: es un módulo que aprovecha la energía de la radiación solar. El término comprende a los colectores solares utilizados para producir agua caliente (usualmente doméstica) y a los paneles fotovoltaicos utilizados para generar electricidad.

PIC: son una familia de microcontroladores tipo RISC fabricados por Microchip Technology Inc. y derivados del PIC1650, originalmente desarrollado por la división de microelectrónica de General Instrument.

RADIACIÓN: consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material.

RESUMEN

Este trabajo presenta el diseño e implementación de un programador digital alimentado con energía solar, compuesto por tres paneles solares fotovoltaicos que generan una corriente eléctrica, posteriormente esta corriente pasa por un regulador de voltaje que se encarga de almacenarla en un banco de baterías estacionarias, donde se dispone de energía en el momento en que los paneles solares no funcionen. El programador digital es un dispositivo energizado con el voltaje almacenado en las baterías estacionarias y es programado por el usuario de forma manual usando un teclado matricial, observando en una pantalla LCD los direccionamientos para cada instrucción. Se utilizó un inversor que permite la conexión de componentes de uso común en el hogar, alimentados con corriente alterna. Adicionalmente el sistema cuenta con un circuito de baja tensión D.C., que energiza dispositivos eléctricos de bajo consumo, también cuenta con un circuito de potencia para la alimentación A.C., así el programador digital podrá administrar los sistemas eléctricos que dispongan o involucren motores usados en aplicaciones para una granja.

Palabras claves: corriente A.C., corriente D.C., energía solar fotovoltaica, programador digital.

ABSTRACT

This work presents the design and implementation of a digital programmer fed on solar power, composed by three solar photovoltaic panels that generate an electrical current, later this current goes on to a regulator of voltage that stores the electric energy in a bank of stationary batteries, where it will takes the energy in the moment in which the solar panels do not work. The digital programmer is a device energized with the voltage stored in the stationary batteries and is programmed by the user using a matrix keyboard, observing the programming steps on a LCD screen for each instruction. An inverter is used who allows the connection of components used in a house who are supply with alternating current. In addition, the system has a circuit of low tension D.C., that energizes electrical devices of low consumption; also it has a circuit of power for the supply A.C., in this way the digital programmer will be able to administer the electrical systems that have engines used in applications for a farm.

Keywords: digital programmer, solar photovoltaic, current D.C. and A.C.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo intensivo de la industria en el Siglo XX hizo que la velocidad a la cual se explotaron los yacimientos de combustibles fósiles creciera de manera exponencial. Tanto es así, que en los últimos años del Siglo XX y los primeros del XXI se presentan dos grandes amenazas para la continuación del desarrollo humano; en primer lugar se está acercando cada vez más al momento en que se haya consumido la mitad de las reservas de hidrocarburos del planeta; en segundo lugar, es claro que el uso intensivo de combustibles fósiles ha contribuido a aumentar la presencia del CO₂ atmosférico a niveles no vistos en los últimos 260000 años.

Naturalmente la energía es el alimento del mundo y el hombre es un adicto de ella, por tanto, está en la obligación de buscar nuevas alternativas o nuevas fuentes que proporcionen energía para el desarrollo humano y a su vez ayuden a la reducción de la contaminación y evitar la destrucción del planeta. El gran avance tecnológico de los últimos años ha permitido el desarrollo de dispositivos capaces de producir energías limpias, siendo las más comunes, la solar, eólica y geotérmica.

La energía solar fotovoltaica, hoy por hoy, es una de las más innovadoras y crecientes tecnologías limpias para la producción de energía eléctrica. Esta usa como fuente, la radiación proveniente del sol y se plantea como una solución para la reducción de emisiones de CO₂, por cada kilovatio de energía solar generada deja de emitir 0.311 Kg. de CO₂ en la atmosfera. Debido a esto y con el interés de promover una forma de generación de energía eléctrica de una manera más limpia, se propone entonces la aplicación de la tecnología de paneles solares que permite el aprovechamiento de la energía solar, que es fuente inagotable para la generación de electricidad.

En Colombia el uso de paneles solares está casi siempre orientado a la producción de electricidad para aplicaciones en la parte rural, en donde los altos costos generados principalmente por el precio de los combustibles, y los costos de operación y mantenimiento en zonas distantes, hacen que la sistema solar resulte más económico y confiable. Este tipo de producción energética tiene enormes perspectivas, teniendo en cuenta que en Colombia cerca de 3 millones de familias carecen del servicio de energía eléctrica en el sector rural o cuentan con un sistema deficiente que no garantiza la estabilidad del servicio.

Por tal razón se ha querido centrar el tema de los sistemas solares en el área rural para desarrollar nuevas herramientas y nuevas tecnologías que le faciliten a los campesinos sus labores diarias, logrando así una automatización y control de las actividades rurales; grandes ejemplos se han encontrado como la implementación

de sistemas de riego automáticos, control de aireadores e iluminación de galpones, suministros de alimento en horas estipuladas por el usuario, entre otros.

El proyecto está orientado a la producción, regulación, almacenamiento, distribución y administración de la energía eléctrica. El sistema fotovoltaico utilizado para este trabajo lo componen tres paneles solares monocristalino cada uno de 75W de potencia, un regulador de tensión de 12V a 15A y dos baterías secas estacionarias de 12V a 12A/h; además cuenta con un inversor de 12V a 110V y 160W. Además ejerce un control de los dispositivos alimentados con el sistema solar, se construye un programador digital que provee de tres salidas para conexiones de dispositivos que trabajen a 12V D.C. y no superen los 8A, también provee de otras tres salidas para la conexión de dispositivos eléctricos de mayor potencia y trabajen con una alimentación alterna de 110V o 220V A.C. Este programador proporciona una ayuda valiosa en las actividades diarias de una granja y reduce los costos de mantenimiento. Optimiza el sistema fotovoltaico haciéndolo importante en la generación de energías limpias que ayuden a la conservación del medio y preserve la naturaleza que le da el sustento diario al trabajador del campo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN

En la zona rural del municipio de Rivera Huila se presentan dos principales problemas que entorpecen el normal desempeño de las actividades diarias, los cortes en el suministro eléctrico de manera constante y reiterativa hacen poco confiable el sistema de red eléctrica, además la falta de personal a cargo de las labores que requieren la manipulación de dispositivos eléctricos, hacen que haya poco control de las actividades produciendo pérdidas considerables para el desarrollo de la finca.

1.2 FORMULACIÓN

¿Cómo crear un dispositivo de control que garantice el suministro eléctrico de una forma constante y además controle las actividades que involucren el uso de electricidad en la finca de una forma segura y eficiente?

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseño e Implementación de un sistema programable para la distribución eficiente de la energía solar en una granja.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

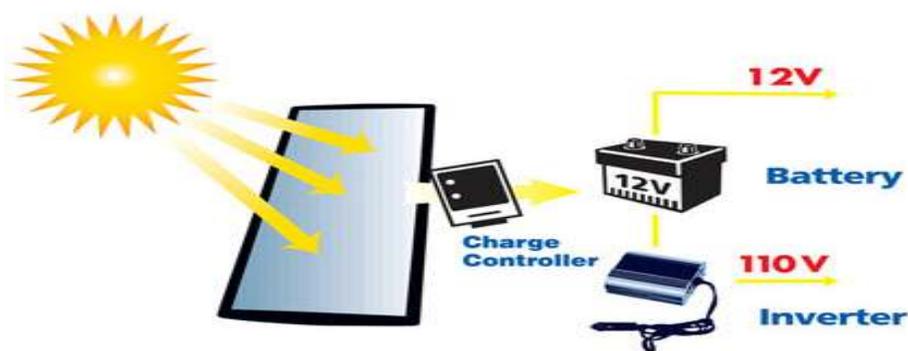
- Transformar la luz solar en electricidad por medio de paneles solares fotovoltaicos.
- Almacenar la electricidad proveniente de los paneles en un banco de baterías para garantizar el suministro de energía constante.
- Crear un sistema de protección y de visualización del voltaje en las baterías para protegerlas y alargar su vida útil.
- Adecuar un inversor a las baterías para contar con corriente A.C. a partir del voltaje D.C.
- Diseñar e implementar un programador digital que se encargará de operar y controlar los dispositivos eléctricos que se conecten al sistema, con el fin de dar una mejor distribución a la energía y por ende un mejor aprovechamiento de ésta.
- Realizar las pruebas del sistema usando el Programador Digital en dos aplicaciones en la granja: iluminación y riego con bomba eléctrica.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Se llama sistema solar fotovoltaico a toda instalación destinada a la conversión de radiación solar en energía eléctrica. En la Figura 1, se observan los componentes del sistema el cual requiere de tres elementos principales: módulos fotovoltaicos, regulador, baterías.

Figura 1. Sistema solar fotovoltaico



Sunforce panels can be easily added to new or existing systems.

Fuente: www.google.com.co/imghp?hl=es&tab=wi

Los sistemas solares fotovoltaicos se caracterizan por su simplicidad, fácil instalación, modularidad, ausencia de ruido durante su funcionamiento, su larga duración, elevada fiabilidad y requiere poco mantenimiento¹.

En el sistema solar fotovoltaico, los paneles son los responsables de generar energía eléctrica, la batería de almacenarla y el regulador administra el voltaje en la batería para funcione de manera óptima. Es importante recordar que los paneles y los baterías de un sistema fotovoltaico trabajan en corriente continua, si la carga conectada al sistema utiliza otra tensión continua diferente a la de la batería será necesario el uso de un conversor y si alguno de los equipos trabajan en corriente alterna necesitarás un inversor.

A la energía luminosa incidente total por unidad de área se le denomina Irradiancia global G y se mide en W/h por metro cuadrado (W/m^2) o (J/m^2). Normalmente, la irradiación se refiere a un cierto periodo de tiempo, por ejemplo, la irradiación horaria, diaria o mensual, como la energía luminosa incidente por unidad de superficie en una hora, un día o un mes respectivamente.

1. energía_solar_fotovoltaica_instalador (manual del instalador Energía solar fotovoltaica, junta de castilla y león)

Debido a la naturaleza aleatoria de la energía solar, no se puede determinar con exactitud la radiación que llegará a la superficie terrestre en el lugar de la instalación. Hay que conformarse con trabajar con datos estadísticos basados en la “historia solar” del lugar, datos normalmente recogidos en las estaciones meteorológicas, y también en tablas y bases de datos. En la mayoría de los casos no se encuentra información detallada y se tendrá que asumir valores aproximados².

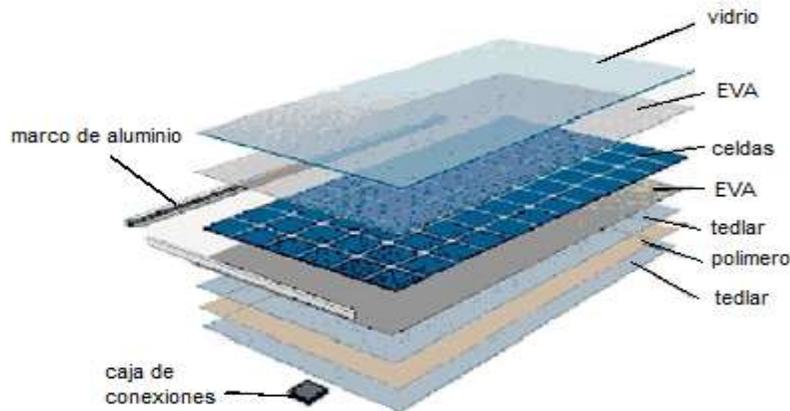
Existen dos tipos de sistemas fotovoltaicos: sistema aislado de la red eléctrica, donde no depende de la energía eléctrica de la red convencional y el sistema conectado a la red eléctrica convencional, donde la instalación solar es destinada al soporte y venta de la red convencional.

3.1.1 Páneles o Módulos Solares

Un grupo de celdas solares de silicio, asociadas eléctricamente entre sí y encapsuladas en un único bloque, se le llama módulo fotovoltaico y constituye el elemento básico con que se construyen los generadores fotovoltaicos; las partes que componen el módulo se observan en la Figura 2.

El panel solar o módulo fotovoltaico es el elemento captador de energía solar y recoge la radiación proveniente del sol para transformarla en electricidad.

Figura 2. Módulo Fotovoltaico



Fuente: Presentación en Power Point.SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, Sarah Ruth Messina

2. Sistemas de energía solar fotovoltaica para equipos de telecomunicaciones.

EVA, resina polimérica usada como relleno una lámina de vidrio transparente que cubre la cara superior que tiene como objetivo dejar pasar la radiación solar y ayudar a minimizar las pérdidas de calor.

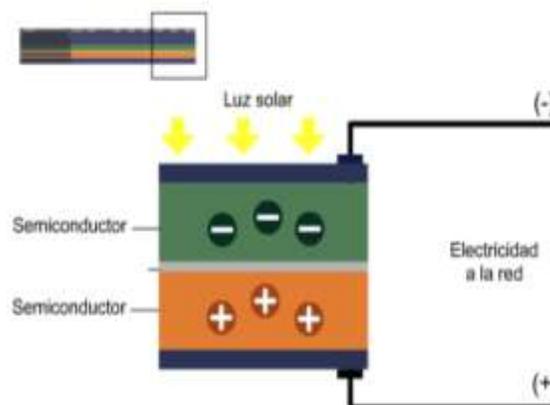
El módulo más característico está constituido por 30 o 36 celdas de silicio, todas de igual tamaño y de iguales características de corriente - voltaje, conectadas en serie y/o paralelo que proporcionan la energía necesaria para el consumo.

El módulo presenta dos bornes de salida, positiva y negativa y a veces una intermedia para permitir la instalación de diodos de protección; el objeto de estos diodos es proteger el panel contra un fenómeno que se conoce como “punto caliente”. Cuando algunas de las células se quedan en sombra, se comporta como una carga que disipa energía pudiendo elevar su temperatura a valores entre 85°C y 100°C. La corriente que genera un campo de paneles varía proporcionalmente a la irradiación solar.

3.1.2 Celda solar

Son capaces de transformar la luz en energía eléctrica, aprovechando entre un 9% y un 14% de la energía del Sol, los rayos solares chocan con la superficie de la celda solar, allí los fotones que estos contienen son absorbidos gracias a su composición de materiales semiconductores (Silicio, Germanio, Arsénico por nombrar algunos de ellos), se genera el efecto fotoeléctrico el cual ocasiona la producción de electricidad como se muestra en la Figura 3.

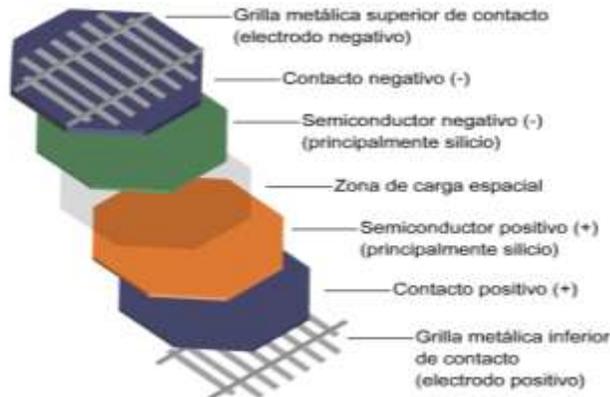
Figura 3. Efecto fotoeléctrico



fuelle:www.juntadeandalucia.es/averroes/~cepc3/escuelatic2.0/MATERIAL/FLASH/EnergiaSolar.swf

Si se tiene una combinación (ya sea en serie o paralelo) de celdas solares, el nivel de energía eléctrica D.C., generada es mayor e inmediatamente esta lista para ser utilizada. Al igual que los módulos, la celda solar también se componen de 8 partes: una grilla metálica superior y una inferior, un contacto negativo y positivo, dos laminas semiconductoras una positiva y otra negativa normalmente de silicio y por ultimo una zona de carga espacial. El orden de los componentes usados para la creación de la celda solar se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Partes de la celda solar



fuelle:www.juntadeandalucia.es/averroes/~cepc03/escuelatic2.0/MATERIAL/FLASH/EnergiaSolar.swf

3.1.3 Materiales de la celda solar

Respecto a los materiales utilizados para la fabricación, existen varios tipos, pero el más utilizado es el silicio y se divide en tres clases de estructuras cristalinas.

Silicio Monocristalino: Las celdas están hechas de un solo cristal de muy alta pureza, con ello se logra una eficiencia del modulo solar máxima del 17%; gracias a esto, algunos fabricantes garantizan una vida útil de hasta 25 años.

Silicio Policristalino: En este tipo de estructura, las celdas están formadas por varios cristales de silicio. La eficiencia de conversión es un poco inferior a los monocristalinos, con un valor de hasta un 15%. En este tipo de celdas, la vida útil garantía del producto puede alcanzar los 20 años.

Silicio Amorfo: Estas celdas no tienen un patrón ordenado de su estructura cristalina, que es característico del silicio. Actualmente, el valor de su eficiencia ha subido a valores del 5% al 10%. La vida útil puede ser hasta por 10 años.

3.1.4 Parámetros del panel solar³

Corriente de cortocircuito (ISC): Es la máxima intensidad de corriente que proporciona el panel, y corresponde a la corriente que entrega cuando se conectan directamente los dos bornes. ISC suele tener un valor cercano a 3A.

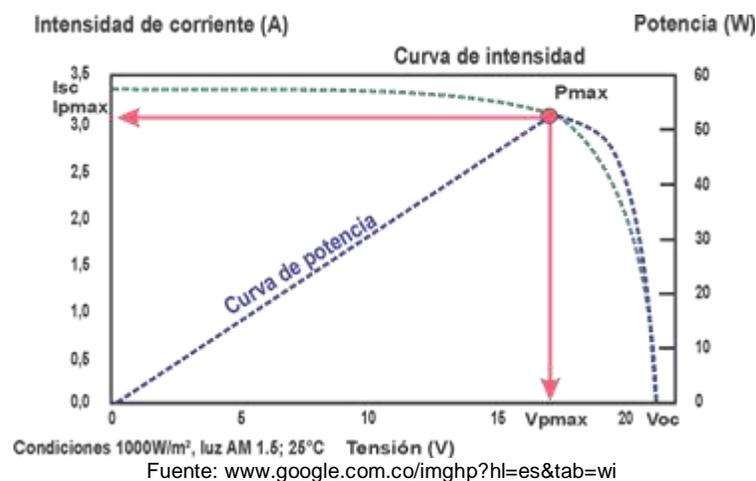
3. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/meie/martinez_h_d/capitulo2.pdf

Tensión de circuito abierto (VOC): Es el máximo voltaje que proporciona el panel, correspondiente al caso en que los bornes están “al aire”. VOC suele ser menor de 22V para módulos que vayan a trabajar a 12V.

Punto de máxima potencia: Existe un punto de funcionamiento (I_{Pmax} , V_{Pmax}) para el cual la potencia entregada es máxima ($P_M = I_{Pmax} * V_{Pmax}$). Ése es el punto de máxima potencia del panel y se ilustra en la Figura 5, su valor se da en Watts (W). Cuando trabaja en este punto, se obtiene el mayor rendimiento posible del panel. Sin embargo, no hay que olvidar que en la práctica la tensión de trabajo viene determinada por los parámetros de la batería. Los valores típicos de I_{Pmax} y V_{Pmax} son algo menores a los de ISC y VOC.

Factor de forma FF: El factor de forma es la relación entre la potencia máxima que el p nel puede entregar y el producto $ISC * VOC$. Da una idea de la calidad del p nel porque es una medida de lo escarpada que es su curva característica, de forma que cuanto más se aproxima a la unidad, mayor potencia puede proporcionar.

Figura 5. Curva característica de un panel solar



Eficiencia o rendimiento η : Es el cociente entre la máxima potencia eléctrica que el panel puede entregar a la carga y la potencia de la radiación solar PL incidente sobre el panel, habitualmente tiene un valor cercano al 10%.

Los valores de ISC, VOC, I_{Pmax} y V_{Pmax} los suministra el fabricante, refiriéndolos a unas Condiciones Estándar (CE) de medida.

3.2 BATERÍAS

Una batería está formada por la asociación en serie de varios “vasos” o “celdas”, cada uno de estos se compone de dos electrodos de plomo inmersos en una disolución electrolítica (de agua y ácido sulfúrico). Entre los electrodos se establece una diferencia de potencial que tiene un valor cercano a 2V, dependiendo del valor instantáneo de estado de carga de la batería. La Tabla 1, relaciona los valores de voltaje y estado de carga. Las baterías más utilizadas en aplicaciones fotovoltaicas son de 12V ó 24V de tensión nominal, es decir, constan de 6 ó 12 vasos en serie.

Tabla 1. Relación de voltaje y estado de carga de una batería

Estado de carga (%)	Voltaje	Voltaje por celda
100	12.7	2.12
90	12.5	2.08
80	12.42	2.07
70	12.32	2.05
60	12.2	2.03
50	12.06	2.01
40	11.9	1.98
30	11.75	1.96
20	11.58	1.93
10	11.31	1.89
0	10.5	1.75

Fuente: Sistemas de energía solar fotovoltaica para equipos de telecomunicaciones, Alberto Escudero.

La función principal de la batería es abastecer de energía eléctrica al sistema cuando los paneles solares no se encuentran en funcionamiento. Para ello la batería repite cíclicamente un proceso de acumulación de energía (carga) y entrega de la misma (descarga), dependiendo de la presencia o ausencia de sol.

Por lo general, para un sistema fotovoltaico se requieren capacidades grandes de acumulación de energía, para lo cual, se deben realizar conexiones entre estas para aumentar la capacidad de almacenamiento de la energía eléctrica.

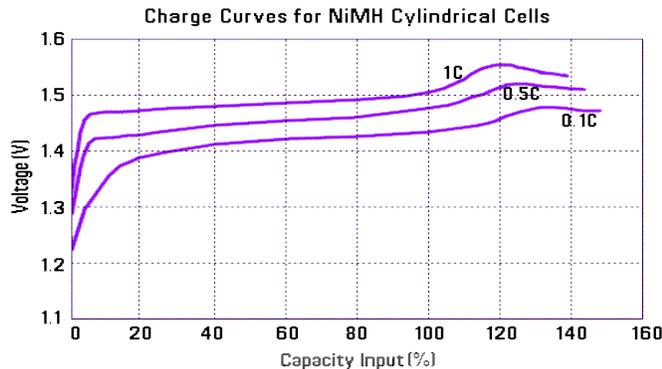
Los parámetros de las baterías, son los siguientes.

Tensión nominal V_{NBat} : Suele ser de 12V.

Capacidad nominal CNBat: Cantidad máxima de energía que se puede extraer de la batería. Se expresa en Amperios hora (A/h) o Vatios hora (W/h). Como la cantidad de energía que se puede extraer depende también del tiempo en que se efectúe el proceso de extracción (cuanto más dure el proceso más cantidad de energía se podrá obtener), la capacidad suele venir referida a varios tiempos de descarga. Para aplicaciones fotovoltaicas, este tiempo debe ser mínimo de 100 horas o más.

SOC – Estado de carga de la batería: El estado de carga de la batería es la cantidad residual de carga que puede restituir la batería en relación a la cantidad nominal que puede almacenar. El SOC se expresa en porcentaje y es de 100% cuando la batería está al máximo, o a plena carga. La gráfica de la Figura 6, ilustra este comportamiento.

Figura 6. Estado de Carga



Fuente: www.google.com.co/imghp?hl=es&tab=wi

Profundidad máxima de descarga PDmax: La profundidad de descarga es el valor, en tanto por ciento, extraída de un acumulador plenamente cargado en una descarga. Los reguladores limitan esta profundidad, y se calibran habitualmente para permitir profundidades de descarga de la batería en torno al 70%. Dependiendo de la máxima profundidad de descarga permitida, el número de ciclos de carga y descarga durante toda la vida útil de la batería será mayor o menor. El fabricante debe suministrar gráficas que relacionan el número de ciclos con la vida de la batería. Es importante anotar que la batería debe evitar una profundidad de descarga de más del 50%.

Capacidad útil o disponible CUBat: Es la capacidad de la que realmente se puede disponer. Es igual al producto de la capacidad nominal por la profundidad máxima de descarga (expresada en tanto por uno). Por ejemplo una batería estacionaria de capacidad nominal con tiempo de descarga de 100 horas de 120A/h y profundidad de descarga de 70%, tiene una capacidad útil de tan solo 84A/h.

3.3 REGULADOR

El regulador impide la entrada o salida de corriente de la batería cuando se genera una carga excesiva o una descarga excesiva que pueda dañarla. El regulador de carga es también conocido como controlador de carga.

Los reguladores que se emplean son del tipo serie, los cuales desconectan el campo de pánels de la batería para evitar daños por sobrecarga, y desconectan la batería de los equipos de consumo, para evitar la sobredescarga, mediante interruptores que pueden ser dispositivos electromecánicos (relés, contactores, entre otros) o de estado sólido (transistor bipolar, MOSFET, entre otros). Nunca se emplearán reguladores paralelos.

Para proteger la batería de la sobrecarga, el interruptor se abre cuando la tensión en la batería alcanza su tensión de corte por alta (high voltage disconnect HVD), y vuelve a cerrarse cuando la batería vuelve a la denominada tensión de rearme por alta (reconnect HVD). La tensión de corte por alto voltaje tiene un valor cercano a 2.45V por elemento de la batería a 25°C. En cuanto a la sobredescarga, el interruptor se abre cuando el voltaje de la batería se hace menor que la tensión de corte por baja (low voltage disconnect LVD) y se cierra cuando se recupera la tensión de rearme por baja. La tensión de corte por bajo voltaje tiene un valor cercano a 1.95V por elemento.

Los parámetros del regulador necesarios, son los siguientes.

Máxima corriente que permite que circule a través de él. Debe ser un 20% superior a la máxima corriente del generador fotovoltaico. La tensión de trabajo está entre 12V, 24V, ó 48V.

Otros datos de interés, que también proporciona el fabricante es el valores de tensión de corte por alta (sobrecarga) y tensión de corte por baja (sobredescarga).

Existencia de compensación con la temperatura. Las tensiones que indican el estado de carga de la batería varían con la temperatura, por eso algunos reguladores miden la temperatura y corrigen basándose en estos valores, las tensiones de sobrecarga.

Instrumentación de medida e indicadores. Suelen llevar un voltímetro que mide la tensión de la batería y un amperímetro que mide la corriente. La mayoría de ellos disponen de indicadores que avisan de determinadas situaciones, como bajo estado de carga de la batería, circuito de pánels desconectado de batería, entre otros.

Las protecciones para el sistema son las siguientes

- Contra sobrecarga temporizada en consumo
- Contra sobretensiones en paneles, baterías y consumo
- Contra desconexión de batería.

Los parámetros que determinan la operación del sistema son

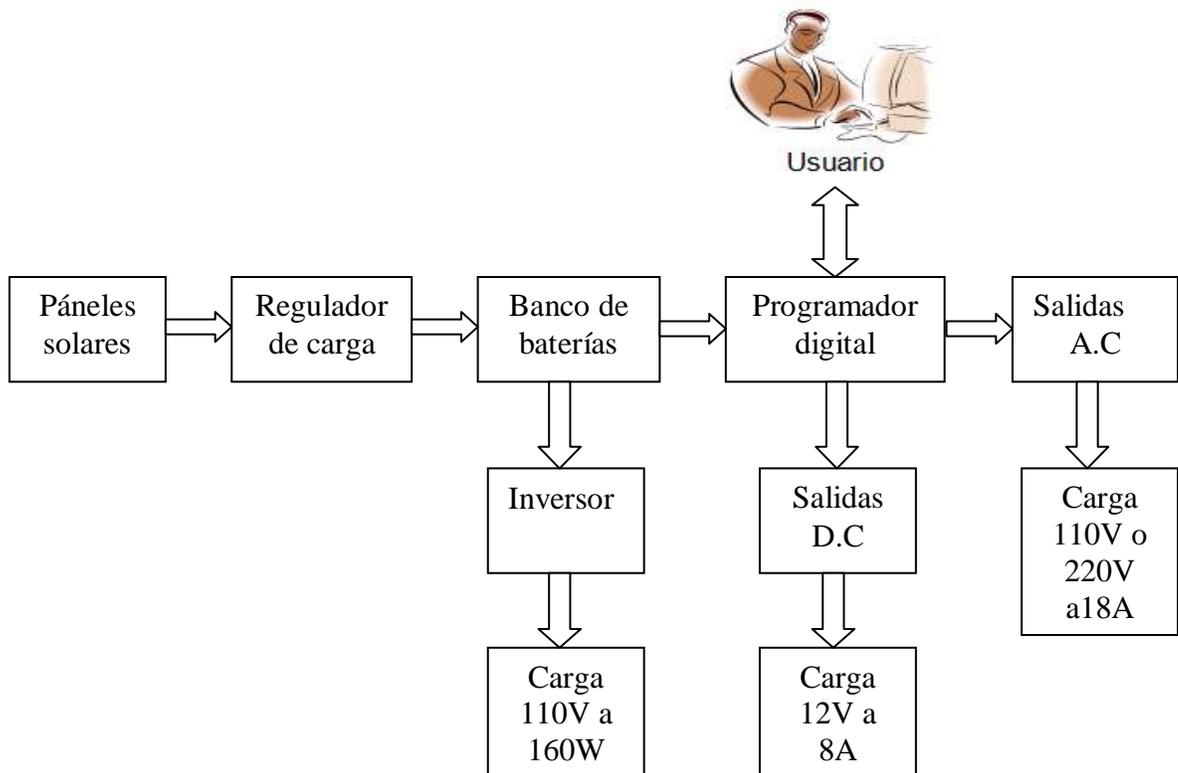
- Intensidad Máxima de Carga o de generación: Máxima intensidad de corriente procedente del campo de paneles que el regulador es capaz de admitir
- Intensidad máxima de consumo: Máxima corriente que puede pasar del sistema de regulación y control al consumo
- Voltaje final de carga: Voltaje de la batería por encima del cual se interrumpe la conexión entre el generador fotovoltaico y la batería, o reduce gradualmente la corriente media entregada por el generador fotovoltaico (corriente flotación).

4. METODOLOGÍA

4.1 PROGRAMADOR DIGITAL CON ENERGÍA SOLAR

Este dispositivo se compone de estructuras básicas que se describen a continuación.

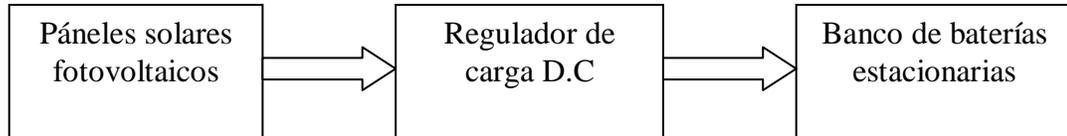
La Figura 7. Diagrama de Bloques del Programador Digital con Energía Solar



La Figura 7, representa la unión de los módulos que conforman el sistema, como la planta solar, regulador de carga, el banco de baterías, programador digital, inversor, las salidas A.C. y D.C. De esta forma, se obtiene un mecanismo de producción y distribución de energía automático, diseñado para trabajar con las nuevas tecnologías existentes en el mercado.

4.2 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Figura 8. Diagrama en bloques del Sistema Fotovoltaico



La Figura 8, muestra las tres partes que conforman el sistema fotovoltaico usado en este proyecto. A continuación son explicadas.

4.2.1 Páneles solares fotovoltaicos

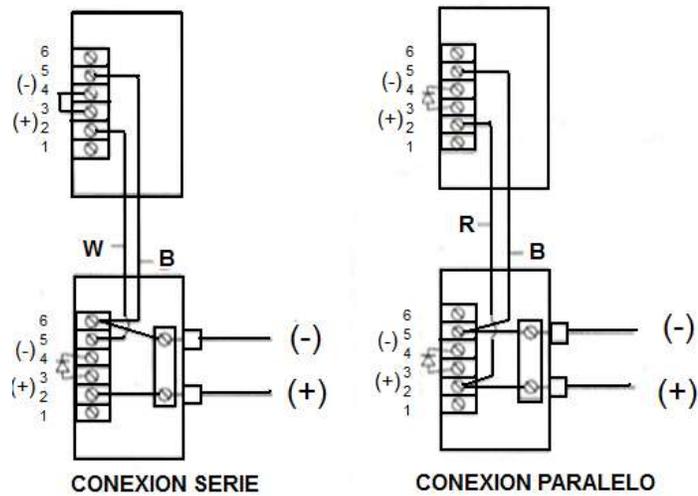
Para la instalación del sistema solar se dispuso de tres módulos solares PV VLX marca solarex, con una capacidad de 70W cada uno.

Figura 9. Módulo solar PV VLX solarex



En la Figura 9, se observa la imagen del modelo de los páneles utilizados en este proyecto, a si como su marca, su referencia y las características de potencia eléctrica generada, esta información es importante para saber que potencial de generación eléctrica se obtiene con estos dispositivos.

Figura 10. Conexiones en serie y paralelo de los módulos solares



Fuente: Manual de Solarex para módulos PV VLX

La Figura 10, muestra la forma como pueden ser conectados los paneles, ya sea en serie o paralelo. Para el montaje de los módulos solares fue necesario la utilización de diodos de bloqueo, los cuales previenen el deterioro de los paneles por un posible recalentamiento de estos dispositivos, o una descarga de las baterías en periodos de oscuridad.

Estudio Solar

Para probar el funcionamiento de la planta solar, se realizó un estudio que determina la cantidad de energía que es capaz de producir el módulo en un día con mucha nubosidad y otro con sol intenso, también es importante la medición de la radiación solar en esta zona, ya que hace posible establecer las condiciones de operación de los paneles solares. Estos dispositivos tienen una capacidad de generación de 70W y una tensión de 20V. Estos paneles solares poseen 20 Años de uso, por tal motivo se realiza este procedimiento con el fin de verificar el estado en que se encuentran. Las mediciones fueron realizadas con un tester digital y una fotocelda calibrada. Los tres paneles se encuentran conectados en paralelo.

Para realizar este procedimiento se pone en práctica la ley de Ohm, que define voltaje ($V = I \times R$) y potencia ($P = I \times V$). Es importante esta ley para realizar las mediciones de corriente de corto circuito (ISC) y voltaje de circuito abierto (VOC), con estos dos datos se obtiene la potencia total del circuito (Dorf, 1997).

Figura 11. Medidas de los páneles con poca luminosidad



La Figura 11, muestra las mediciones de voltaje y corriente para la primera prueba con un día de poca iluminación, es decir un día nublado a una temperatura de 24 C a la intemperie. La temperatura es un parámetro importante por que si ésta sobre pasa el límite establecido por el fabricante que es de 80 C máximo, el panel sufre daños irreparables. Los valores individuales encontrados para cada panel son de 18.44V y una corriente de 0.819A en promedio.

Luego se realiza el mismo proceso para un día de máxima intensidad lumínica.

Figura 12. Medidas de los páneles con máxima luminosidad



La Figura 12, muestra los datos de las mediciones obtenidas con sol intenso a una temperatura de 30 C a la intemperie con exposición directa al sol, los resultados de voltaje y corriente obtenidos, es de 19.19V y 20A y se observa grandes diferencias entre los valores hallados en las dos pruebas.

4.2.2 Baterías

Se dispuso de dos baterías secas estacionarias de 12V a 12A/h cada una, conectadas en paralelo. La Figura 13, muestra las baterías usadas en el sistema.

Como se utilizan dos baterías para este sistema, entonces la potencia total de las baterías del sistema es

$$\text{Potencia total} = (360\text{W}) \times (2) = 720\text{W}.$$

Figura 13. Baterías del sistema



4.2.3 Regulador de carga de las baterías

El regulador que se utilizó en la implementación del sistema, es un regulador de 12V a 15A, que controla constantemente el estado de carga de las baterías y regula la intensidad de carga de las mismas para alargar su vida útil, la imagen del regulador se puede observar en la Figura 14.

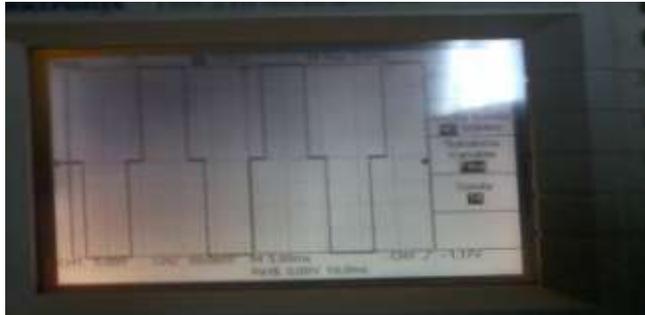
Figura 14. Regulador 12V a 15A



4.2.4 Inversor

Este dispositivo es de gran importancia para la alimentación de aparatos eléctricos usados en el hogar como un televisor, una grabadora, un computador entre otros; los electrodomésticos no deben sobrepasar los 110V y 160W de potencia. El inversor se conecta directamente a la fuente de almacenamiento y posee un sistema de alarma que indica por medio de un tono agudo generado por un zumbador eléctrico, que el nivel de carga de las baterías descendió drásticamente o no es suficiente para soportar el dispositivo conectado a él, por lo tanto se debe apagar el inversor para evitar daños tanto en las baterías como en los electrodomésticos que se conecten.

Figura 15. Forma de onda a la salida del inversor



La Figura 15, muestra la señal de salida del inversor vista en la pantalla de un osciloscopio, donde se logra apreciar un tren de pulsos que se asemeja a la señal suministrada por la red pública. Esta señal maneja una fase A.C. y una tensión de 110V con una corriente de 1.45A y 160W de potencia. Luego de realizar las respectivas pruebas de laboratorio, procedemos a verificar la funcionalidad del inversor y descartar posibles fallas que se puedan presentar. Se conectó un TV de 29" de CRT y se observó su comportamiento.

Figura 16. Prueba del inversor



En la Figura 16, se observa la imagen del televisor de 110V y 160W conectado al inversor alimentado por dos las baterías estacionarias de 12V y 24A/h, la conexión de ellas se hace en paralelo, las cuales permiten que este electrodoméstico funcione correctamente por un tiempo aproximado de 5 minutos antes de que la alarma del inversor alerte de que se debe apagar el dispositivo.

4.3 PROGRAMADOR DIGITAL

Es un dispositivo funcional de fácil manejo, el cual fue diseñado para realizar labores de conmutación de dispositivos utilizados en una granja, programadas con anterioridad por el usuario. Además realiza un monitoreo constante del nivel de tensión en las baterías, el cual es importante para saber cuanta energía tiene almacenada el sistema. Este programador se conecta directamente al banco de baterías a una tensión de 12V, y maneja corrientes A.C. y D.C., en las seis salidas de conexión dispuestas en este sistema. El modulo salidas D.C., maneja una tensión de 12V y una corriente de 8A, para sus tres salidas numeradas como 4, 5 y 6. El modulo salidas A.C., maneja aparatos eléctricos de potencia de 110V o 220V, hasta 18A en sus terminales restantes designados como 1, 2 y 3. Es necesario que el usuario conozca el valor de la carga que va a manejar el sistema y el número de la salida que va a programar.

La utilización del programador digital es muy sencilla, es posible programar todas las labores de la semana día a día con seis eventos diferentes por cada salida, los cuales pueden ser programados las 24 horas del día. Para realizar esta función se dispuso de un teclado matricial de membrana de 4x4 caracteres, que permite la programación del sistema, o es posible programarlo usando un computador por medio de una interfaz serial-USB y un programa diseñado con un software de versión libre (Visual Studio 2010).

El programador digital tiene tres módulos: Etapa de Control, Salidas D.C. y Salidas A.C.

4.3.1 Etapa de control

La etapa de control esta soportada por un PIC 18f452, con un rango de voltaje de operación VDD de 2V a 5.5V, de tecnología CMOS, la salida es de tipo Schmitt trigger, compatible con TTL.

El consumo de corriente promedio es de 1.6mA, dado que la tensión aplicada es de 5v. Esta etapa está provista por un regulador de voltaje conectado al banco de baterías del sistema, que adecua la señal D.C., de 12V a 5V. El consumo promedio de potencia, se calcula en 8mW.

La frecuencia de trabajo del PIC está determinada por el valor del cristal que es de 4Mhz, se tuvo en cuenta que a mayor frecuencia mayor consumo de energía y para el proyecto es vital la conservación de ésta.

En el PIC existen 3 tipos de bloques de memoria asociada: Memoria de Programa, Memoria de Datos y la Memoria EEPROM; el microcontrolador consta de 32 Kbytes de memoria flash de programa (ventaja porque no se pierde la información cuando no tiene energía), 1.5Kbytes de memoria RAM estática de datos que mantiene sus datos únicamente mientras este energizado el chip; finalmente posee 256 Bytes de memoria EEPROM para almacenar datos de una manera permanente, que no se borra si el microcontrolador se apaga.

Para la programación del PIC se utilizó el software conocido como PIC C versión 8.0, que cuenta con su propio compilador de código. La memoria RAM con 1.5Kbytes de capacidad, está conectado a un circuito RTC (DS1307) que es un reloj de tiempo real; éste pequeño dispositivo ayuda a que el sistema funcione en tiempo real y se mantenga actualizando. El DS1307 genera un registro del tiempo que suministra segundos, minutos, horas, día, mes y año. Este circuito trabaja de forma independiente de la alimentación del sistema, cuenta con su propia batería de alimentación de 1.5 V y mantiene su ciclo de trabajo debido a un cristal de cuarzo, con una frecuencia de 32.756 KHz. El DS1307 utiliza una comunicación I²C (Inter-Integrated Circuit), es decir, un bus de comunicaciones serie que utiliza dos líneas para transmitir la información, una para datos y la otra para la señal del reloj.

Para contar con un monitoreo constante del voltaje de las baterías del sistema solar, se adiciona un divisor de tensión conectado a las baterías y a una entrada analógica del PIC con un tiempo de muestreo establecido, de esta forma se puede conocer el potencial con que cuentan las baterías en todo momento, esto se hace con el fin de brindar protección a las baterías, las cuales pueden caer en puntos críticos de tensión y así evitar daños. El estado de carga de las baterías es muy importante para la ejecución de las acciones acordadas por el usuario en el momento de programar el dispositivo.

Como el código del programa en general resultó muy extenso y ocupó toda la memoria del microcontrolador, se utiliza una memoria EEPROM externa 24LC512 conectada al PIC de forma paralela, para aumentar la capacidad de memoria del sistema.

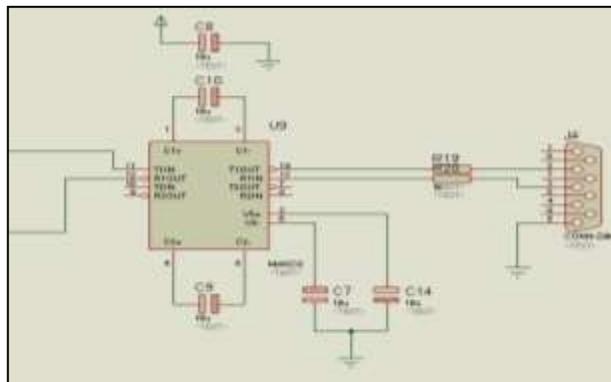
Se dispuso de un MAX 232 para la comunicación por puerto serie desde el computador hacia el PIC, los niveles de la señal RS-232 son demasiado altos para ser usados con la tecnología TTL y las características del RS-232 de alta tensión no pueden ser manejados por la lógica del computador. Para poder recibir datos en serie de una interfaz RS-232, el voltaje debe ser reducido y el nivel de baja y alta tensión tiene que ser invertidos.

Tabla 2. Niveles de Tensión del MAX232

RS-232	TTL	Lógica
-15V ... -3V	+2V ... +5V	alto
+3V ... +15V	0V ... +0.8V	bajo

En la Tabla 2, se observan los niveles de tensión con los que trabaja el MAX 232. Este chip contiene en un solo paquete, toda la electrónica necesaria para adaptar los niveles de la señal RS-232 a la tensión de lógica TTL.

Figura 17. Configuración de interfaz serial



Fuente: Simulación en Proteus de interfaz MAX232

En la Figura 17, se observa la simulación hecha en Proteus, se puede apreciar el tipo de conector utilizado y los elementos que hacen posible el funcionamiento del MAX 232.

Una forma de programar el Programador Digital es por medio de un teclado matricial de membrana de 4x4 caracteres, conectado a un puerto del PIC por medio de un bus de 7 pines; el usuario puede programar de forma directa en la memoria del PIC y visualizar su acción por medio de una pantalla LCD TC1602A-01 de 2x16 caracteres entre símbolos y números. La pantalla inicialmente presenta información precisa de año, mes y día; éste último lo muestra en número y lo describe en letras, también enseña el valor del voltaje de las baterías. Se visualiza la letra A en mayúscula encerrada en dos guiones intermitentes (-A-) para destacar que con esta letra se accede al menú del programa. Todos estos aspectos se muestran en la Figura 18.

Figura 18. Teclado matricial y pantalla LCD del Programador Digital



Al presionar la letra A en el teclado se observará un menú con cuatro palabras que indican cuatro acciones.

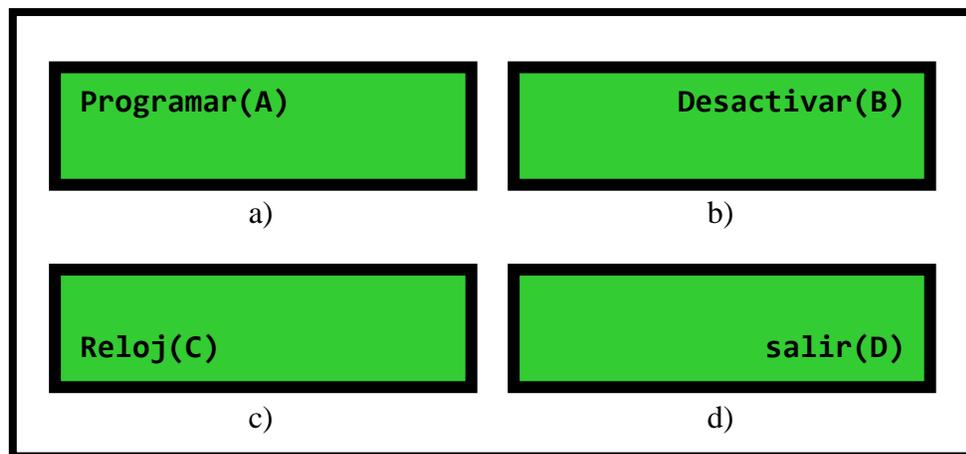
PROGRAMAR. Se ubica en la parte alta de la pantalla y al lado izquierdo como aparece en la Figura 19a, esta se encuentra acompañada por la letra A mayúscula que indica la acción a seguir; si se ingresa a esa opción, esta permite disponer de las seis salidas del programador y las seis acciones de conmutación que puede manejar cada conector, con su tiempo de encendido y apagado de los dispositivos conectados a las etapas salidas D.C. y salidas A.C. del programador digital.

DESACTIVAR. Al lado derecho de la opción Programar como se ve en la Figura 19b, se ubica la acción conocida como desactivar representada con la letra B, que al presionarla en el teclado, se escoge una de las seis salidas del sistema que se encuentren activas y se quieren desactivar de forma directa. Si se encuentran activas, presionando la letra B se desactivan. Para activar una salida inactiva se digita la tecla A, esto permite suspender una salida programada con anterioridad, es una forma fácil y directa de detener una ejecución dispuesta por el usuario.

RELOJ. En la parte inferior del lado izquierdo de la pantalla LCD como se observa en la Figura 19c, se encuentra la instrucción llamada reloj unida a la letra C, al digitar este símbolo en el teclado permite actualizar la hora y la fecha del reloj.

SALIR. En la parte baja del lado derecho de la pantalla como se ve en la Figura 19d, se lee la palabra salir acompañada de la letra D, cuya acción permite devolverse al estado anterior. Salir está presente en todas las partes del menú del programador digital.

Figura 19. Acciones de programación mostradas por la pantalla LCD del Programador Digital



La otra forma de programación se realiza desde un computador, donde previamente se ha instalado y configurado el software creado para tal fin. El entorno gráfico es fácil y agradable para quien lo manipula, el portal del programa se observa en la Figura 20. Este fue realizado con un software de versión libre llamado Visual Studio Express.net versión 2010.

Figura 20. Portal del software del Programador Digital



El computador se conecta usando un cable conversor de SERIE/USB, el siguiente paso es ejecutar el programa para observar el portal de la Figura 20. Está compuesto por seis renglones que indican las seis salidas del programador digital y siete columnas correspondientes a los días de la semana, donde se selecciona una por una las casillas que se desean programar. Para activar las salidas A.C. y

D.C., se establece la hora de encendido y apagado de los aparatos eléctricos conectados a éstas. Una vez realizada la programación, el computador envía los datos por el cable hacia el MAX 232, quien a su vez los transfiere al PIC para que éste los grabe en la memoria externa 24LC512. Una vez terminada la programación, el PIC hace un barrido de lectura de la información almacenada en la memoria externa, establece prioridades y compara dicha información con la fecha y hora del RTC, y ejecuta las acciones pertinentes. El proceso después de programado es repetitivo para las dos formas de programación, es el usuario quien decide si realiza cambios o no.

Los dos procedimientos realizados en el momento de programar el dispositivo son muy diferentes, este último involucra elementos ajenos al programador y los datos son almacenados en la memoria externa, además provoca un aumento en el tiempo de respuesta del PIC y mayor consumo de energía.

4.3.2 Salidas de Corriente Continúa.

Esta etapa está conectada directamente a las baterías para suministrar una tensión nominal de 12V para cada salida D.C. conformada inicialmente por tres fusibles de protección de 8A conectados al drenaje n de los tres MOSFET IRZF44N, el diagrama esquemático se observa en la Figura 21. Los IRZF44N, tienen un rango de voltaje V_{DSS} de 55V y una corriente I_D de 49A, el valor de la resistencia de la puerta es $R_G=25\Omega$. Los fusibles sirven de protección a los MOSFET y al sistema.

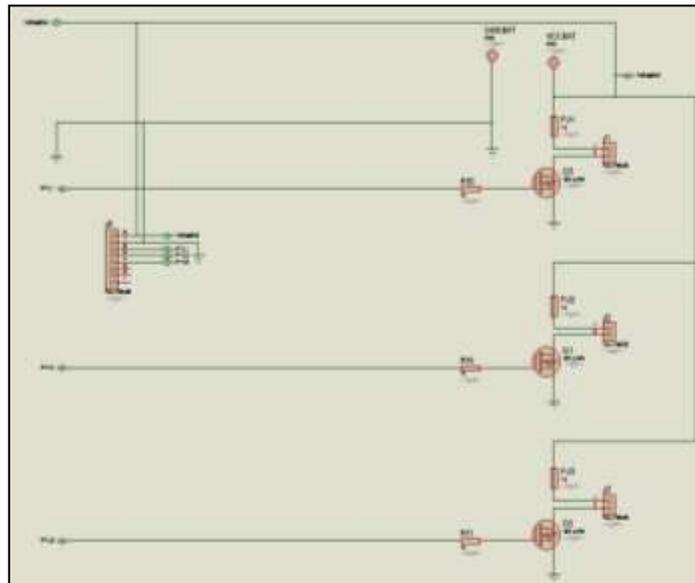
Los MOSFET son polarizados por un voltaje de 12V y están conectados de su puerta, por medio de una resistencia conectada a una de las salidas del PIC.

La resistencia que une el pin del microcontrolador con la compuerta del MOSFET, se calcula teniendo en cuenta que este chip entrega una corriente máxima 200mA por cada pin del PIC configurado como salida y se calcula de manera que no extralimite el integrado.

Cuando el programador digital activa una salida produce una señal que excita la puerta del MOSFET y entran en modo de conducción circulando entre drenaje y fuente una corriente. Cuando se detiene la excitación de la compuerta entra en modo de alta impedancia nuevamente ocasionando la apertura del circuito.

Este elemento se comporta como un interruptor, de esta forma activa y desactiva mecanismos eléctricos conectados a las salidas D.C. del programador digital. La numeración de las salidas de la etapa D.C. son 4, 5 y 6

Figura 21. Salidas D.C.



Fuente: Simulación en Proteus, Salidas D.C.

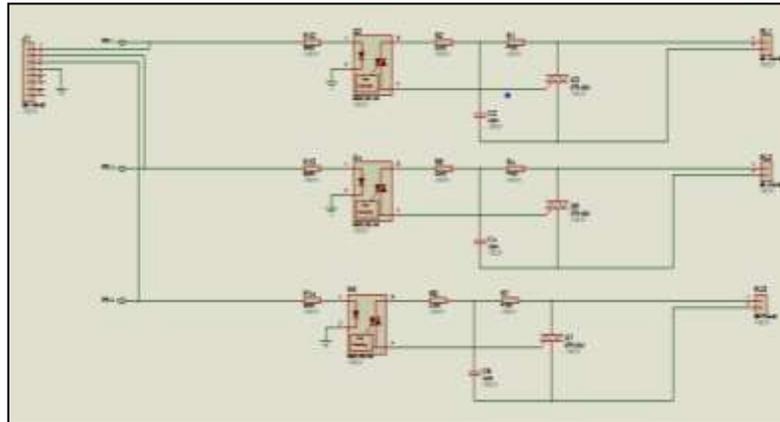
4.3.3 Salidas de Corriente Alterna.

Esta etapa requiere alimentación D.C. y alimentación A.C. que proviene de la red pública domiciliaria, por tal motivo se utilizaron tres MOC 3021 para aislar con luz estas dos etapas, como muestra en el diagrama de la Figura 22.

El MOC3021 está compuesto por un fotodiodo y un fototriac. El fotodiodo se conecta a un pin del PIC configurado como salida por medio de una resistencia y emite una luz que estimula la puerta del fototriac, haciendo que entre en modo de conducción y circule una corriente entre A1 y A2 para que a su vez, excite la puerta del TRIAC HTA08600.

El TRIAC tolera una tensión nominal de hasta 600V y una corriente de 8A, necesita una señal en su puerta para activarse de mínimo 5mA y máximo 50mA. Los TRIAC manejan una tensión de 110V y cuando entran en modo de conducción circula entre sus terminales A1 y A2 una corriente de 500mA que polariza la bobina de los contactores para que cambien de su estado OFF al estado ON. La numeración de las salidas A.C. son 1, 2 y 3.

Figura 22. Salidas AC



Fuente: Simulación en Proteus, Salidas AC

4.4 LA CARGA

La carga está determinada por los dispositivos eléctricos y electrónicos que se conectan a las terminales de las salidas A.C. y salidas D.C. del programador digital. Se dispone de tres salidas para dispositivos de polarización D.C. y tres para dispositivos de alimentación A.C. El usuario determinará qué elementos conecta a las terminales, programando la duración del evento y la cantidad de veces que quiera que se encienda y apague la carga conectada al sistema, dentro de los seis eventos posibles que tiene establecidos el programador digital. Ejemplos de dispositivos de alimentación D.C. y alimentación A.C. se observan en la Figura 23 y Figura 24 respectivamente.

Figura 23. Dispositivos de conexión D.C.



Fuente: www.google.com.co/imghp?hl=es&tab=wi

Figura 24. Dispositivos de conexión A.C.



Fuente: www.google.com.co/imghp?hl=es&tab=wi

4.5 INSTALACION DEL SISTEMA

Como el lugar donde fueron instalados los páneles fotovoltaicos de la planta solar, presenta una zona bastante arbolizada, se construyó un soporte met lico con una altura de 3.5m, adecuada para aprovechar el máximo de exposición solar. Igualmente, se ubicó estratégicamente el área mas despejada de la zona para la instalación del soporte, sin olvidar que los páneles se deben posicionar con un ángulo de inclinación entre 5  y 15  para evitar cualquier suciedad ocasionada por el entorno, como se observar en la Figura 25.

Figura 25. Ubicación de los páneles



Luego de ubicados los paneles, se conectan en paralelo para aumentar la corriente que pueden generar los módulos y disminuir el tiempo de carga de las baterías. El modo de conexión de los paneles se muestra en la Figura 26.

Figura 26. Conexión de módulos en paralelo



Después de la instalación de los paneles, se ubicó el lugar donde quedaron instalados el programador digital, el banco de batería, el regulador de carga, el inversor y demás dispositivos que conforman el sistema. Se realizaron las conexiones de estos elementos y se verificó su correcto funcionamiento. El lugar de instalación debe estar bajo techo y libre de humedad, como se observa en la Figura 27.

Figura 27. Programador digital con energía solar



El circuito de la etapa de las salidas de corriente directa del programador digital ya implementado en circuito impreso, se puede apreciar en la Figura 28.

Figura 28. Salidas D.C. en el circuito real



El circuito de la etapa de las salidas de corriente alterna del programador digital ya implementado en circuito impreso se puede apreciar en la Figura 29.

Figura 29. Salidas A.C. en el circuito real



5. RESULTADOS

Para efectos del estudio solar, se realizaron diferentes medidas a los paneles solares conectados en paralelo utilizados en el proyecto y los valores se registraron en la Tabla 3.

Tabla 3. Comportamiento planta solar con alta nubosidad y lluvia

Horas de medición	Voltaje Voc (V)	Corriente. Isc (A)	Potencia (W/h)
7 Am	15.95	1.002	15.98
9 Am	16.57	1.515	25.10
11 Am	17.35	2.250	39.03
1 Pm	18.44	2.457	45.30
3 Pm	18.02	2.196	39.57
5 Pm	17.05	1.806	30.79

Se puede observar en la Tabla 3 las diferencias entre voltaje, corriente y potencia, haciéndose más evidentes entre las 7 Am y las 5 Pm, según el estudio solar. Esta variación esta influenciada por la zona que presenta una inclinación con respecto al Oriente, además la granja tiene árboles gigantes que generan mucha sombra obstaculizando la radiación sobre los paneles. Las horas de máxima exposición solar se presentan entre las 11 a. m. y las 4 p. m., por lo que la exposición directa al sol efectiva de la planta se calcula en cinco horas diarias.

Tabla 4. Comportamiento planta solar con sol intenso

Horas de medición	Voltaje Voc (V)	Corriente. Isc (A)	Potencia (W/h)
7 Am	18.01	2.768	49.85
9 Am	18.27	3.028	55.32
11 Am	18.78	3.683	69.16
1 Pm	19.19	4.647	89.17
3 Pm	19.00	4.027	76.51
5 Pm	18.62	3.561	66.30

Se observa que la diferencia entre los datos obtenidos en la Tabla 4, con sol intenso es casi el doble de los encontrados en la prueba donde prevalece una alta nubosidad.

Es importante establecer estos parámetros para brindarle al usuario una real oferta energética y la dinámica que presentan estos dispositivos en diferentes condiciones meteorológicas. De los resultados consignados en las tablas anteriores sobre el estudio solar realizado a los paneles fotovoltaicos, se puede decir que generan tan solo 30W de los 70W que generaban en sus primeros años de funcionamiento.

Tabla 5. Medición de la radiación solar

Horas de exposición sol	Radiación solar en la zona (W/m ²)
11 Am	900
12 Pm	950
1 Pm	1000
2 Pm	958

Estos valores consignados en esta Tabla 5, son importantes para determinar qué condiciones de radiación se presentan en la zona rural del Municipio de Rivera Huila. La zona cuenta con dos formaciones geográficas: una montañosa, perteneciente a la vertiente de la cordillera oriental y la otra una planicie con pendiente de más o menos 15° de inclinación, comprendida en el valle de río Magdalena; con estos datos se establece qué tipo de módulos solares son los adecuados para este tipo de región.

Con los datos obtenidos en las mediciones de la planta solar, se procede a realizar los siguientes cálculos.

$$\text{Watts / hora} = (30 \text{ W/h}) \times (3) = 90 \text{ W/h}$$

Luego multiplicamos el resultado anterior por las horas de sol efectivas en un día.

$$\text{Watts / día} = (90 \text{ W/h}) \times (5 \text{ h / día}) = 450 \text{ W/día}$$

Como se disponen de dos baterías para el sistema de almacenamiento cada una de 12V a 12A, la potencia total es de 144W.

$$\text{Potencia total} = (144 \text{ W}) \times (2) = 288\text{W}$$

Es preciso recordar que el voltaje de las baterías no debe bajar a menos de 11.5V y 4.8A/h correspondientes al 20% de carga total para evitar daños en ellas. Se obtuvo en promedio una corriente de 3.619A ISC con sol intenso y con nubosidad el valor obtenido es de 1.871A. Con los datos consignados en la Tabla 3 y la Tabla

1, se puede establecer el tiempo que tarda en cargar al 100% las baterías, a un valor que debe ser de 12.7V y 24A/h. Según los cálculos de carga máxima y carga mínima de las baterías, siempre tendrán un remanente de voltaje mínimo de 11.5V y 4.8A/h de corriente, por ende se resta el valor máximo de almacenamiento de corriente con el mínimo que debe conservar.

$$\text{Corriente de carga} = (24-4.8) \text{ (A/h)} = 19.2\text{A/h.}$$

Por tanto la planta necesita generar 19.2A/día, para cargar las baterías en un 100%. El paso a seguir es encontrar el tiempo estimado para cargar estas fuentes, de almacenamiento con sol intenso y con alta nubosidad.

$$\text{Carga con sol intenso} = (3.619\text{A}) \times (5.5\text{h}) = 19.90\text{A/día.}$$

Se necesitan 5.5 horas de sol intenso para cargar los acumuladores de energía.

$$\text{Carga con nubosidad} = (1.871\text{A}) \times (10.5\text{h}) = 19.64\text{A/día.}$$

De los anteriores resultados podemos concluir que para cargar las baterías en un día nublado se hace imposible, puesto que por la topografía de la zona descrita con anterioridad y las condiciones en las que se encuentran los paneles es muy difícil llegar al 100%.

Hechas las pruebas y el respectivo estudio a los paneles solares, se procede a hacer las respectivas conexiones de los módulos solares al regulador, a las baterías, y posteriormente al Programador Digital.

Se hizo la primera prueba del programador digital activando una de las salidas D.C., por una duración de 30 minutos. Se conectó a ella una bombillo fluorescente de 12V y 20W, se repitió la prueba para varios instantes de tiempo; el resultado fue óptimo, aunque hubo un corrimiento de 12 segundos en el tiempo programado.

Para la prueba de la salida A.C., se conecta una electrobomba y se coloca a ella un aspersor para determinar la dinámica del sistema de riego por aspersión. El tiempo de corrimiento fue el mismo, pero su funcionalidad fue excelente.

6. CONCLUSIONES

Se logró el objetivo principal, que es la creación de un programador digital alimentado con un sistema solar optimizando las labores diarias en una granja. El usuario puede contar con la funcionalidad del programador y la finalidad del ahorro de la energía del banco de baterías. Hoy en día es preciso contar con un sistema que ayude a controlar el consumo de los dispositivos eléctricos y electrónicos que se conectan a un sistema fotovoltaico para que no generen más gastos y no deterioren la utilidad de los acumuladores. Además, se logró que tuviera un visualizador en LCD para poder monitorear constantemente el nivel de voltaje de los acumuladores.

También se concluye que el menú del programador digital tiene comandos fáciles de entender y el usuario está en posibilidad de realizar fácilmente la programación del dispositivo para que ejecute los eventos dispuestos para tal fin.

El uso de sistemas solares para la generación de electricidad da una mejor claridad de las ventajas y desventajas que se presentan en este tipo de sistemas, por ejemplo, se tiene la certeza de contar con electricidad constante en el día, aunque puede oscilar debido a la variabilidad de la intensidad lumínica del lugar. Por tal motivo, es indispensable el uso de las baterías para así respaldar una constante operación del programador tanto diurno como nocturno.

Para el uso del programador digital se debe tener precaución para prevenir fallas o que el dispositivo deje de funcionar, por ejemplo, para las salidas D.C., los dispositivos que se conecten no deben exceder los 8A; al igual para las salidas A.C. donde su límite es 18A. Aunque el programador digital tiene elementos de protección, es preciso no exceder esos rangos para así garantizar una funcionalidad confiable.

Concluida la prueba realizada al programador digital en el uso de riego e iluminación, se determina un correcto funcionamiento y garantiza su utilidad.

RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Dentro de las recomendaciones se plantea la adquisición de elementos de primera calidad para la optimización del sistema conformado por la planta solar, debido a que en el desarrollo del proyecto, los recursos económicos no eran suficientes y fue necesario trabajar con materiales usados y desgastados por el tiempo, como los paneles solares. Para mejorar la funcionalidad del programador digital y elevar la producción de electricidad es necesario contar con elementos en un estado óptimo, es decir, paneles de mayor capacidad de potencia, además es necesario ampliar la capacidad de almacenamiento del sistema, aumentando la cantidad de baterías.

Así como se adecuó el sistema del programador digital para ser usado mediante una interfaz con un computador, también es posible adecuarlo para hacer la programación del dispositivo a través de elementos de transmisión como Xbee o bluetooth, para optimizar el sistema.

Se dejaron tres entradas dispuestas en el PIC para conectar sensores que miden variables físicas como temperatura, humedad relativa, tensiómetro (humedad del suelo), entre otros y así ejercer control sobre ellas, ampliando la funcionalidad del programador digital.

El software (Visual Studio Express.net) con el que se realizó el programa que sirve como interfaz entre usuario y el programador digital, cuenta con una aplicación que permite a través de la red asignar tareas, efectuar cambios y realizar un monitoreo constante variables físicas a través de sensores conectados al programador.

Adicionalmente, es posible la utilización de un PIC18f4550 configurado como maestro – esclavo con el PIC del programador digital, para ampliar el número de salidas del dispositivo y realizar una conexión directamente por puerto USB.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DIAZ CASTILLO, Andrés J. Funcionamiento Páneles solares. Energía Solar. Presentación en Microsoft Power Point.
2. DORF, C. R., 1997. Circuitos Eléctricos - Introducción al Análisis y al Diseño. Alfaomega-Editor, S.A. Segunda. Edición. USA. 38-42 pp.
3. ESCUDERO PASCUAL, Alberto. Sistemas de energía solar fotovoltaica para equipos de telecomunicaciones. Ingeniería sin Fronteras (ISF). Instituto de Energía Solar. Universidad Politécnica. Madrid, España.
4. FLOREZ PIEDRAHITA, Carlos Arturo. COSTA POSADA, Carlos. Atlas de Radiación Solar en Colombia. Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia. 2005.
5. GUASCH MURILLO, Daniel. SILVESTRE BERGÉS, Santiago. Diagnóstico de sistemas fotovoltaicos mediante detección automática de las causas de fallo. Xi Congreso Ibérico - Vi Congreso Iberoamericano de Energía Solar – Vilamoura, Portugal - septiembre 2002.
6. JUNTA DE CASTILLA Y LEON. Manual del instalador. Energía solar fotovoltaica.
7. MANUAL DE SOLAREX PARA MÓDULOS PV VLX. Traducción
8. MEJÍA VELÁSQUEZ, Carlos Mario. Montajes de Motobombas con Energía Solar en Colombia. Representante de Lorentz para Colombia.
9. MEJÍA VELÁSQUEZ, Carlos Mario Bombeo de Agua con Energia Solar. Representante de Lorentz para Colombia.
10. MESSINA, Sarah Ruth. BEST BROWN, Roberto. Sistemas Fotovoltaicos, Introducción a las fuentes renovables de energía. CIE-UNAM, Octubre del 2003.
11. QUADRI, Néstor. Aprovechamiento de la Energia Solar. Publicado Revista Electrogremio Nº 162 - Junio 2003.
12. RODRÍGUEZ MURCIA, Humberto. Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas, Publicado Revista de Ingeniería Nº 28. Universidad de los Andes. Bogotá D.C., Colombia. Noviembre de 2008.

13. RUOFF, Matthias. Energía fotovoltaica en el mundo. EnergySOLutionS. 1er Seminario Soluciones Energéticas no Convencionales en America Latina. Universidad Surcolombiana. Neiva, Colombia. Mayo 20 de 2010.
14. "Universal Technical Standard for Solar Home Systems". Thermie B SUP 995-96, EC-DGXVII, 1998. Norma Técnica Universal para Sistemas Fotovoltaicos Domésticos.

RECURSOS TELEINFORMÁTICOS

<http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~cepc3/escuelatic2.0/MATERIAL/FLASH/Conocimiento%20del%20Medio/Energ%C3%ADa%20Solar.swf>

<http://www.sistema-energia-solar.com/pv/pvlist/pvsolarex/pvsolarex.htm#solarex3>

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/meie/martinez_h_d/capitulo2.pdf

http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/L/M/3/2/LM324.shtml

<http://www.solarweb.net/solar-fotovoltaica.php>

<http://html.rincondelvago.com/energia-fotovoltaica.html>

<http://www.electricasas.com/electricidad/energia-solar/fotovoltaica-energia-solar-electricidad/calculos-para-un-sistema-basico-fotovoltaico-ejemplo/>

<http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=33>

<http://erenovable.com/>

<http://www.portalsolar.com/energia-solar-p%C3%A1neles-solares.html>

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

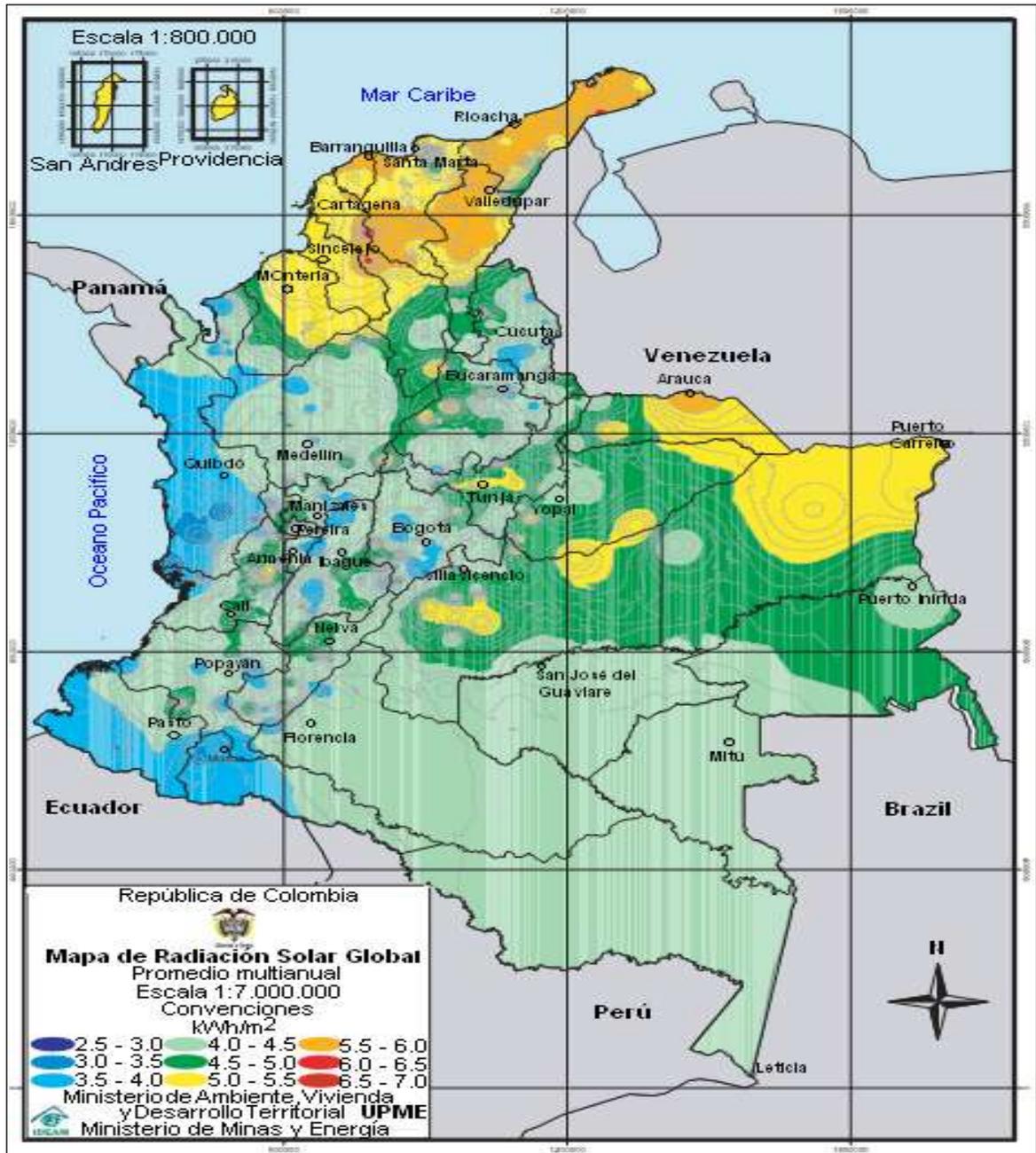
<http://es.scribd.com/doc/32602371/REGULADORES-DE-CARGA>

http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2006/02/09/149277.php

ANEXOS

ANEXO A.

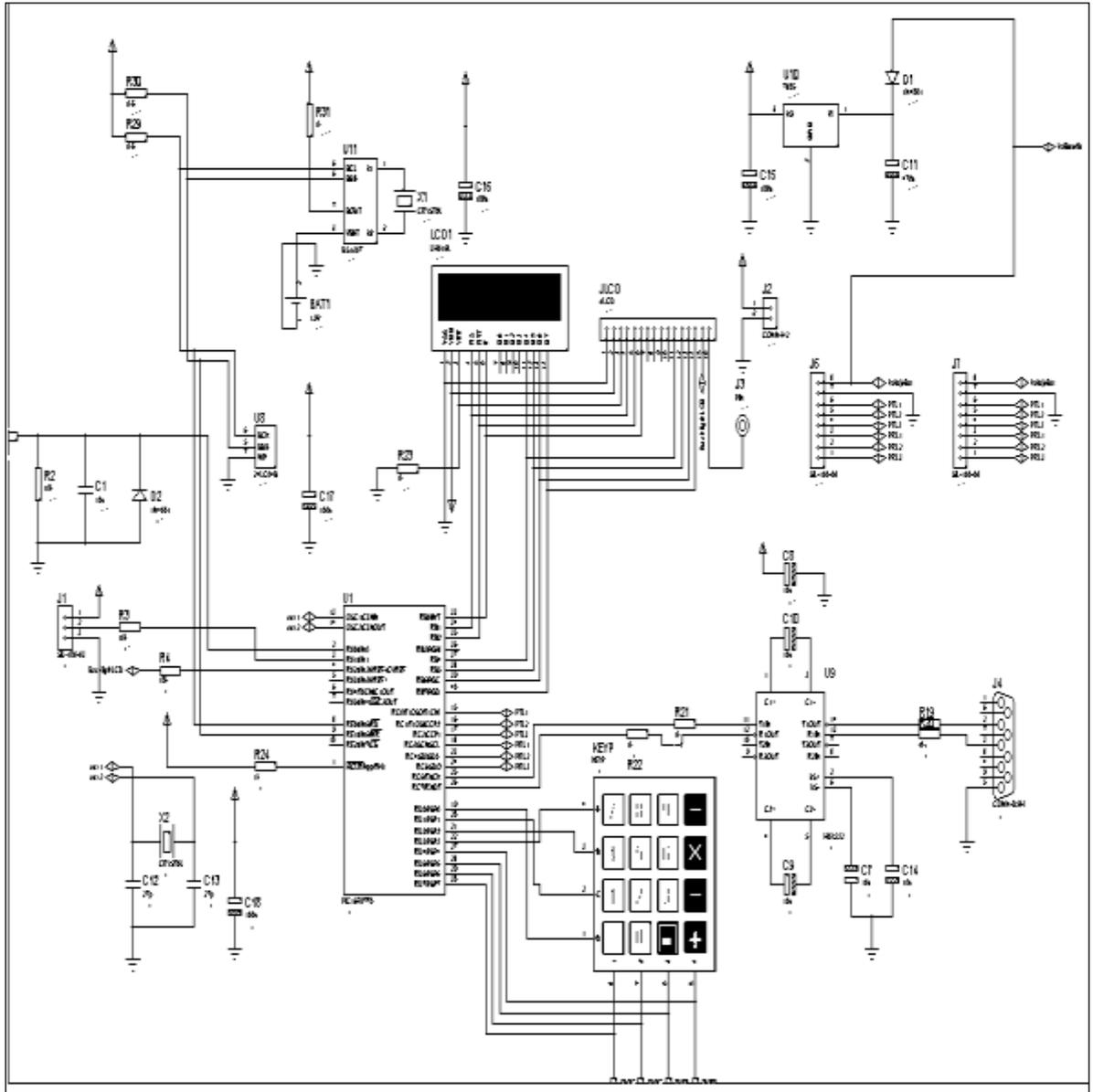
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA RADIACIÓN GLOBAL EN COLOMBIA, PROMEDIO MULTIANUAL



Fuente: Atlas de Radiación Solar en Colombia. Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia.

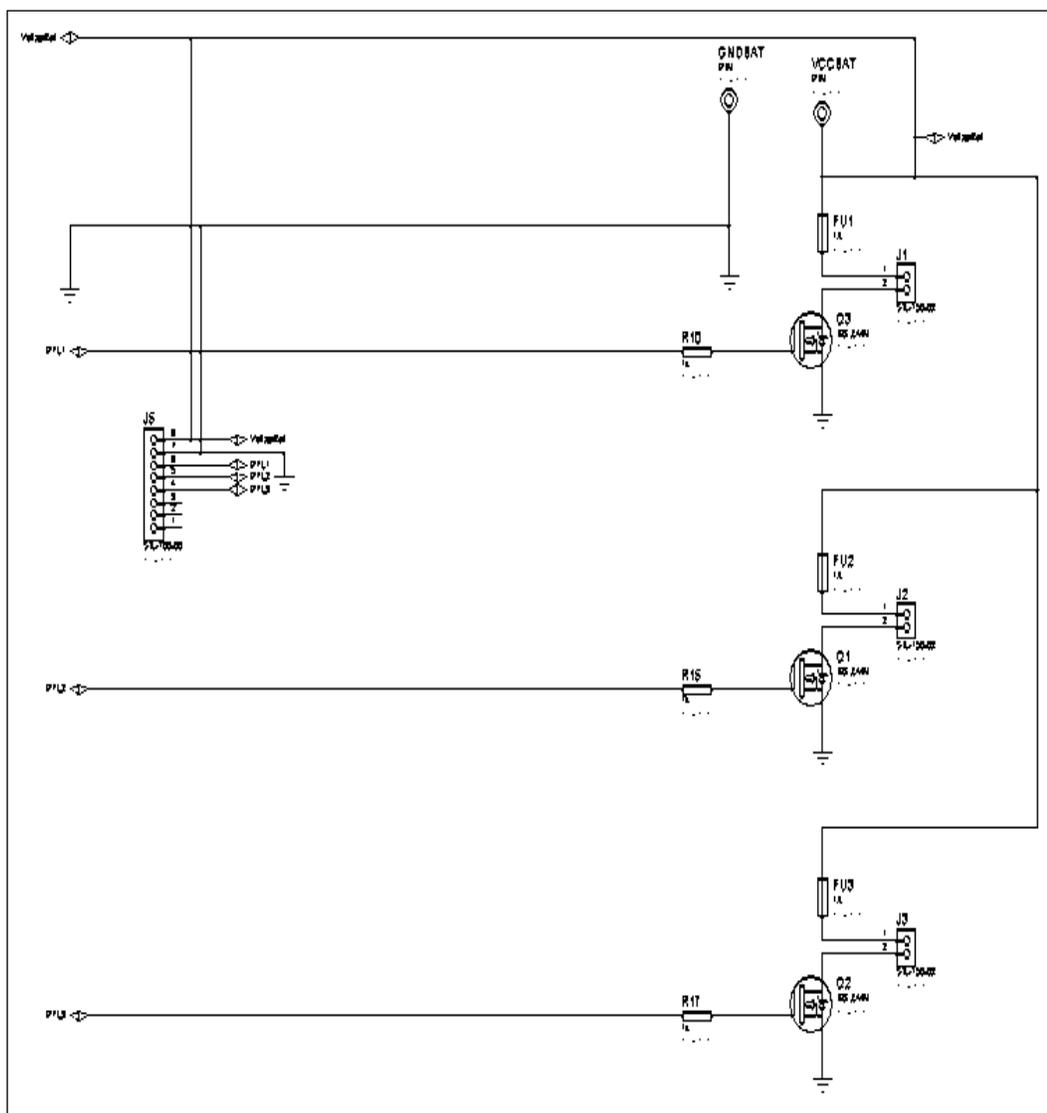
ANEXO B.

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL PROGRAMADOR DIGITAL



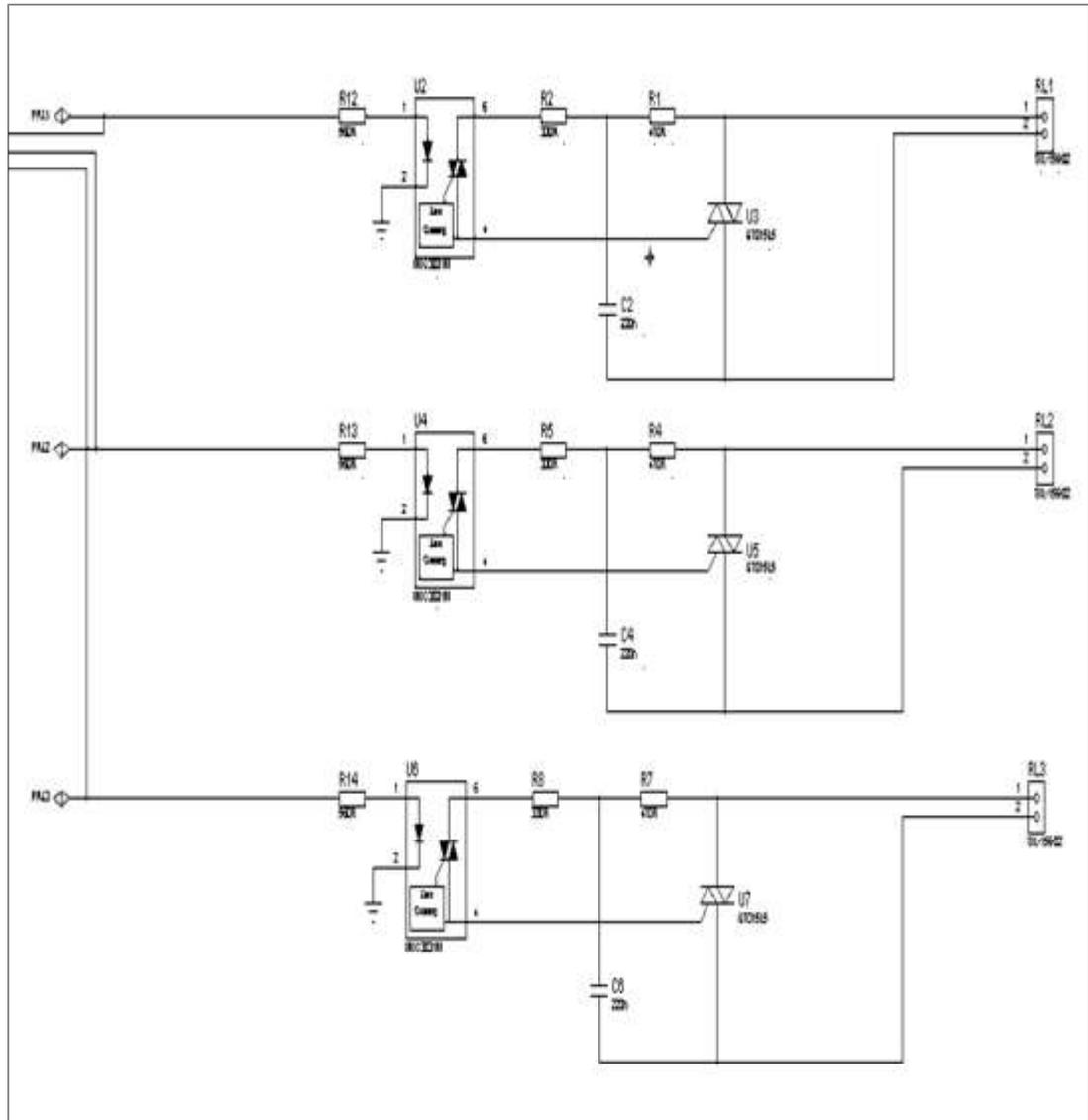
ANEXO C.

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LAS SALIDAS D.C.



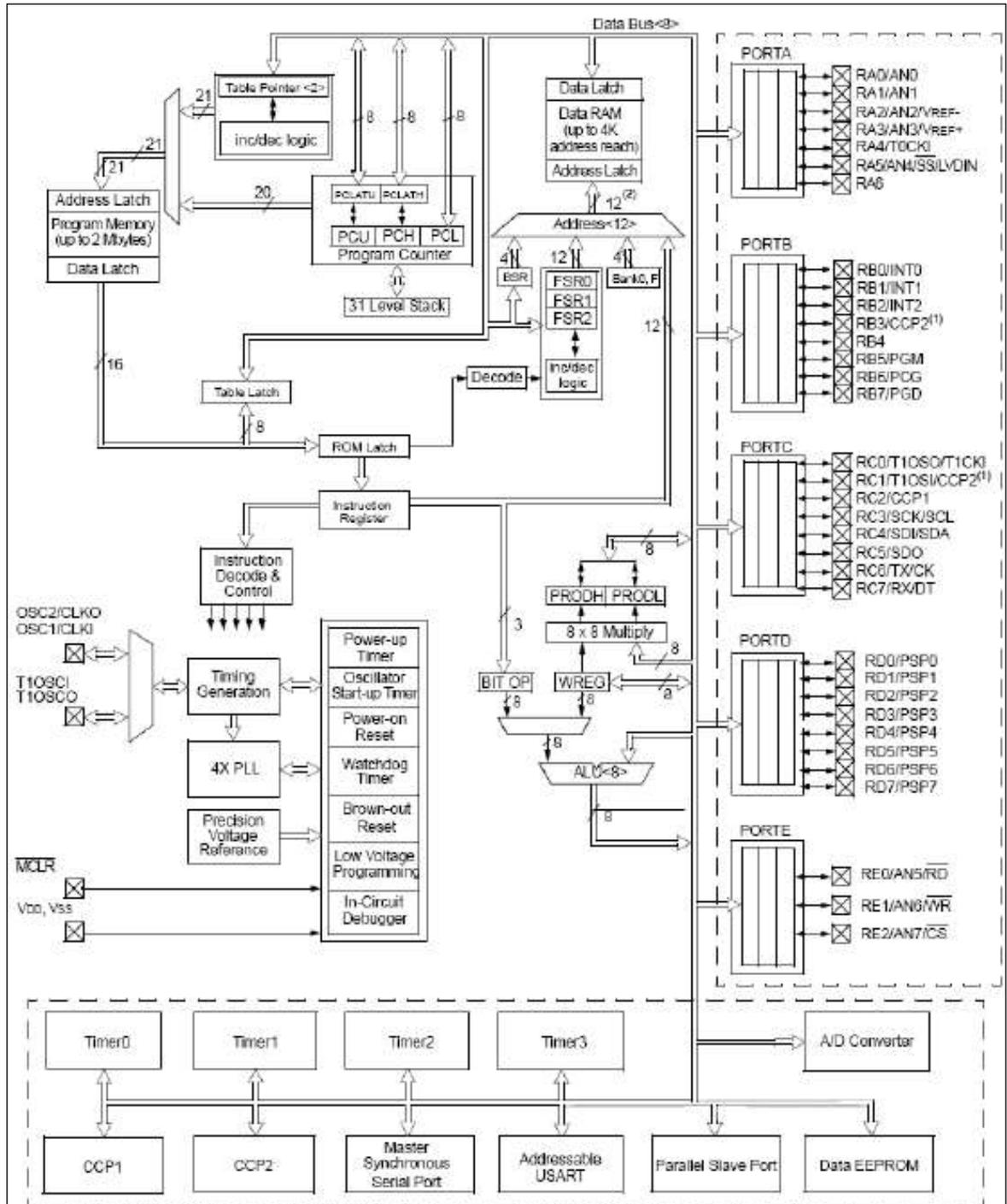
ANEXO D.

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LAS SALIDAS A.C.



ANEXO E

ARQUITECTURA INTERNA DEL PIC18F452.



ANEXO F

DIAGRAMA EN BLOQUES DEL RTC DS1307

