

**BANCO SOLAR DIDÁCTICO**

**MAURICIO ARMANDO VÉLEZ GALLEGO 5792078**

**JORGE IVÁN SERNA ROLDÁN 3763411**

**RICHARD MAURICIO PINO REYES 5778406**

**TECNOLÓGICO PASCUAL BRAVO INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA**

**TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA**

**MEDELLÍN**

**2012**

**BANCO SOLAR DIDÁCTICO**

**MAURICIO ARMANDO VÉLEZ GALLEGO**

**JORGE IVAN SERNA ROLDÁN**

**RICHARD MAURICIO PINO REYES**

**Trabajo de grado presentado para optar por el título de  
Tecnólogo en Electrónica**

**Asesor Técnico**

**Diego Hernando Orozco Gómez**

**Ingeniero en Instrumentación y Control**

**TECNOLÓGICO PASCUAL BRAVO INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA**

**TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA**

**MEDELLÍN**

**2012**

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	
1 EL PROBLEMA	8
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	8
2 JUSTIFICACIÓN	9
3 OBJETIVOS	10
3.1 OBJETIVO GENERAL	10
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
4 REFERENTES TEÓRICOS	11
4.1 CELDA SOLAR	13
4.2 BATERÍA	17
4.3 CONTROLADOR DE CARGA	18
4.4 INVERSOR	21
5 METODOLOGÍA	22
5.1 TIPO DE PROYECTO	22
5.2 MÉTODO	22
5.3 FUENTES DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	22
5.3.1 Fuentes primarias	22
5.3.2 Fuentes secundarias	22
6 RESULTADOS	23
7 CONCLUSIONES	38
8 RECOMENDACIONES	39
BIBLIOGRAFÍA	40
CIBERGRAFÍA	41
ANEXOS	

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Celdas Solares	15
Figura 2. Módulo fotovoltaico	16
Figura 3. Celda fotovoltaica	16
Figura 4. Baterías	18
Figura 5. Controlador de carga	19
Figura 6. Inversor	21
Figura 7. Acople de ondas inversor y Empresas Públicas	24
Figura 8. Prototipo de la tarjeta de control	25
Figura 9. Impreso final de la tarjeta de control	25
Figura 10. Transformador parte de potencia con carga	27
Figura 11. Onda cuadrada atenuada del transformador	28
Figura 12. Inversor conectado a la red	30
Figura 13. Diseño y Montaje final de Banco Solar Didáctico	30
Figura 14. Diseño final de	31
Figura 15. Cara frontal gabinete	32
Figura 16. Cara interna de la puerta del gabinete	33
Figura 17. Parte superior interna del gabinete	34
Figura 18. Parte inferior interna del gabinete	35
Figura 19. Vista interna del panel solar didáctico	35
Figura 20. Vista interna del panel solar didáctico completa	36
Figura 21. Vista externa del panel solar didáctico	36
Figura 22. Vista frontal del panel solar didáctico	37
Figura 23. Paneles solares	37

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Normas Código Eléctrico Nacional	14

## **RESUMEN**

En la actualidad la generación de energía con combustibles fósiles es la principal fuente de contaminación en el mundo, por lo tanto, la generación de energía limpia y de calidad es uno de los temas más importantes para la investigación; la ubicación geográfica de Colombia lo hace un país con buenos recursos para generar energía solar, que es una alternativa para generar energía limpia, la explotación de estos recursos ayudaría a sostener un sistema ecológico, para un mejor futuro.

Un banco solar fotovoltaico (SFV) con un sistema de acople a la red de Empresas Públicas de Medellín. La energía se obtiene de un banco de celdas fotovoltaicas; acopladas para mayor potencia.

El voltaje continuo de salida de las celdas se transforma a voltaje alterno por medio de un inversor, que es controlado por medio de un microcontrolador y genera una corriente sinusoidal elevada a 120 V alternos, y la inyecta a la red comercial de EPM, como una forma de generación y venta de energía limpia y económica.

## INTRODUCCIÓN

El Sol es la estrella que domina el sistema planetario e incluye a la Tierra, mediante la radiación de su energía electromagnética aporta, directa o indirectamente, toda la energía que mantiene la vida en nuestro planeta.

Edmund Becquerel, un físico experimental Francés, fue el primero en descubrir el efecto fotovoltaico en 1839 mientras experimentaba con una celda electrolítica compuesta de 2 electrodos en una solución.

Tomaría más de 100 años para que la tecnología solar avanzara hasta a un grado tal que pudiese ser usado en aplicaciones prácticas, la tecnología solar avanzó con el desarrollo de los materiales semiconductores de estado sólido. La energía solar surge como una gran alternativa en cuanto a producción de energía eléctrica se refiere; siendo una fuente de energía limpia, ilimitada, renovable y accesible en cualquier lugar, se convierte en una de las grandes soluciones energéticas del mundo en un futuro muy próximo.

No obstante en nuestro país no se ha masificado su utilización y sólo se han instalado plantas piloto en calidad experimental; sólo en regiones muy apartadas y donde la energía eléctrica tradicional no llega, las micro centrales solares se han venido explotando y dando servicio a una muy reducida parte de la población

Por todo esto es que las entidades educativas y los estudiantes, futuros tecnólogos e ingenieros de nuestro país deben conocer, aprender, difundir y experimentar con este tipo de energía para que puedan de esta manera aplicarla en la solución tecnológica de los problemas de nuestra industria y en el desarrollo de nuestra sociedad.

## **1. EL PROBLEMA**

El problema de fuentes de energía eléctricas en el país es una realidad, si bien es cierto que se genera, esta es a un gran costo, todo se basa en la generación que la proporcionan los recursos no renovables (carbón, agua, petróleo); llevando consigo el cambio climático, las devastaciones de grandes zonas que a su vez ocasiona contaminación ambiental y cambios que tienen que soportar los animales y la vegetación.

El país necesita saber más y experimentar sobre otras alternativas de energía, que sea más limpia y que contribuya en la parte económica de la población.

Por todo esto es que las entidades educativas y los estudiantes, futuros tecnólogos e ingenieros del país deben conocer, aprender, difundir y experimentar con otros tipos de energía para que puedan de esta manera aplicarla en la solución tecnológica de los problemas de la industria y en el desarrollo de la sociedad y en especial en el Tecnológico Pascual Bravo para promover más de estos laboratorios didácticos.

### **1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Se podrá hacer el montaje de un banco solar didáctico para fomentar en los estudiantes el conocimiento de la energía solar como parte de la solución a los problemas energéticos?



## **2. JUSTIFICACIÓN**

Con el banco solar didáctico los estudiantes del Tecnológico Pascual Bravo podrán estudiar y analizar otra alternativa del sector energético; además encontrar en los paneles solares otra fuente de energía que es ideal para mantener y conservar el medio ambiente.

Todos los aspectos de la vida diaria involucran el uso de energía: el transporte, la producción de alimentos y el abastecimiento de agua (bombeo), así como la calefacción o el acondicionamiento de los hogares y oficinas; la energía solar puede ser aprovechada de modos diversos, además de las formas simples empleadas para secar ropa, calentar agua o edificios, o para secar cosechas (lo que se conoce como energía térmica solar), pueden utilizar la energía del sol para producir electricidad destinada a hogares u oficinas, lo que se denomina electricidad solar o energía fotovoltaica.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Construir un banco solar didáctico, para el aprendizaje de los estudiantes del Tecnológico Pascual Bravo.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Fomentar el estudio de la energía para el desarrollo de la sociedad.

Promover la generación de energía eléctrica a partir de la energía solar como un servicio comercial.

Comprobar la viabilidad a este recurso generador de energía como solución a la crisis energética.

#### 4. REFERENTES TEÓRICOS

El sol es una poderosa fuente de energía, la energía solar es la fuente principal de vida en la Tierra y es el origen de la mayoría de fuentes de energía renovables.

Todos los aspectos de la vida diaria involucran el uso de energía: el transporte, la producción de alimentos y el abastecimiento de agua, así como la calefacción o el acondicionamiento de los hogares y oficinas.

Para estos fines, los combustibles fósiles tales como el petróleo, el carbón y el gas natural son los más empleados, a pesar que la energía solar absorbida por la Tierra en un año equivale a 20 veces la energía almacenada en todas las reservas de combustibles fósiles en el mundo y diez mil veces superior al consumo actual.

Edmond Becquerel, fue en el año 1839, el primero en observar y describir el efecto fotovoltaico, lo descubrió con sólo 19 años cuando estaba haciendo un experimento con una célula electrolítica compuesta de dos electrodos metálicos.

La primera célula fotovoltaica (hecha de Selenio) se construyó durante la década del 1880, ésta surgió gracias a los estudios de Willoughby Smith (descubridor de la fotoconductividad del Selenio), Adams & Day (descubridores del efecto fotovoltaico del Selenio sólido) y Charles Fritts (inventor de la primera célula fotovoltaica), y obteniendo unos rendimientos de un 1 a un 2%; no obstante este dispositivo, a pesar de su reducido rendimiento se usó posteriormente como medidor de la cantidad de luz en la fotografía; seguidamente, en el año 1923, Albert Einstein recibió el premio Nobel por sus teorías sobre el efecto fotovoltaico, este hecho supuso un avance importantísimo para el desarrollo de ésta tecnología.

Más tarde, a principios de los años 50, se implantó a la práctica el proceso Czochralski (descubierto por un científico polaco en 1918) que permitía la obtención de Silicio Cristalino puro, esto a la vez permitió la aparición de los semiconductores, y en el año 1954, "Bell Telephone Laboratories" obtuvo una célula fotovoltaica de silicio de un rendimiento del 4%, tecnología que rápidamente mejoraron hasta un 11%; ya a finales de los 50, en 1958, se utilizó esta tecnología en el U.S. Vanguard para alimentar la pequeña estación de radio del satélite espacial norteamericano.

En la década de los 60 se empezó a considerar la opción de la energía solar como una alternativa a los problemas que surgieron a consecuencia del abastecimiento y aumento del precio del petróleo; así se empezaron a implantar colectores solares planos (para calentar agua) y a aumentar la producción de paneles fotovoltaicos; otro hecho importante fue la creación del "Federal Photovoltaic Utilization Program" en Estados Unidos en consecuencia a la crisis del petróleo de 1973 / 74, mediante este programa se instalaron aproximadamente unos 3100 sistemas fotovoltaicos la mayoría de los cuales siguen funcionando actualmente.

Desde los años 80, la implantación a gran escala de la energía solar y renovable se ha frenado por el mantenimiento de los precios de los combustibles convencionales y por las grandes compañías de producción y consumo de energía.

Pero las instalaciones fotovoltaicas están y han estado continuamente mejorando sus prestaciones y procesos de fabricación, ofreciendo así al consumidor mejores productos y consolidándose como una alternativa viable.

La normatividad para este tipo de proyectos ha venido desarrollándose a lo largo de los últimos 15 años a nivel global y en los últimos 5 años en Colombia, para

esto se han emitido estándares como: IEC 61427, UL 1703/1741, anteproyecto de normas locales UNME y el código eléctrico nacional.

En el medio, la mayor parte de los avances tecnológicos llegan de otras partes del mundo y más concretamente de los Estados Unidos, allí las investigaciones y la aplicación de las nuevas tecnologías sobre energía solar han avanzado considerablemente a tal punto que los vehículos espaciales se suplen con este tipo de energía.

Estas tecnologías ya han llegado al país, sin embargo aquí en las grandes universidades del país se han venido adelantando investigaciones tendientes a optimizar la utilización, apropiación y aprovechamiento de dichos avances tecnológicos.

Además organismos gubernamentales y plantas de generación eléctrica también han puesto la mira en la nueva tecnología y adelantan diferentes proyectos de implementación y desarrollo.

#### **4.1 CELDA SOLAR**

Un sistema fotovoltaico se compone de un módulo o campo fotovoltaico, una batería, un controlador de carga, un inversor, cargas en AC, DC y accesorios.

El módulo fotovoltaico está constituido por un conjunto de celdas solares interconectadas adecuadamente entre sí, con la función de generar energía eléctrica en corriente directa transformando la energía electromagnética del sol, sin elementos de concentración; su geometría es plana y debería estar debidamente protegida contra la acción del ambiente en el que trabaja, así mismo proveer terminales de conexión por los cuales entrega su energía.

Tabla 1. Normas Código Eléctrico Nacional

<b>Artículo</b>	<b>Contenidos</b>
90	Introducción
100	Definiciones
110	Requisitos
200	Conductores puestos a tierra
210	Circuitos Ramales
240	Protección Contra Sobreintensidades
250	Puesto a tierra
300	Métodos de Cableado
310	Conductores
331	Conductos Eléctricos No Metálicos
336	Cable Aislado No Metálico
338	Cable de Entrada del servicio
339	Tramos Bajo Sucio
348	Conductos Eléctricos Metálicos
374	Canales Auxiliares
384	Cuadros de interruptores y Paneles de Control
445	Generadores
480	Baterías de Almacenamiento
690	Sistemas FV
705	Fuentes Interconectadas de Producción de Energía Eléctrica
710	Equipos de Más de 600 V Nominales, General
720	Sistemas de Baja Tensión

Un conjunto de módulos interconectados dentro de un sistema, constituye el campo fotovoltaico del sistema.

Para que una célula solar expuesta al sol produzca energía eléctrica debe reunir las siguientes tres características fundamentales: ser capaz de absorber una fracción importante de la radiación solar para que la generación de pares electrón-hueco sea eficiente; tener un campo eléctrico interno que separe las dos cargas impidiendo su posterior recombinación; y finalmente, las cargas separadas deben ser capaces de viajar a través de la oblea hasta los electrodos superficiales desde donde pasan al circuito exterior.

Figura 1. Celdas solares



Se ilustra la operación de una celda fotovoltaica, llamada también celda solar, las celdas solares están hechas de la misma clase de materiales semiconductores, tales como el silicio, que se usan en la industria microelectrónica; para las celdas solares, una delgada rejilla semiconductor es especialmente tratada para formar un campo eléctrico, positivo en un lado y negativo en el otro, cuando la energía luminosa llega hasta la celda solar, los electrones son golpeados y sacados de los átomos del material semiconductor; si se ponen conductores eléctricos tanto del lado positivo como del negativo de la rejilla, formando un circuito eléctrico, los electrones pueden ser capturados en forma de una corriente eléctrica, es decir, en electricidad; la electricidad puede entonces ser usada para suministrar potencia a una carga, por ejemplo para encender una luz o energizar una herramienta.

Figura 2. Módulo fotovoltaico

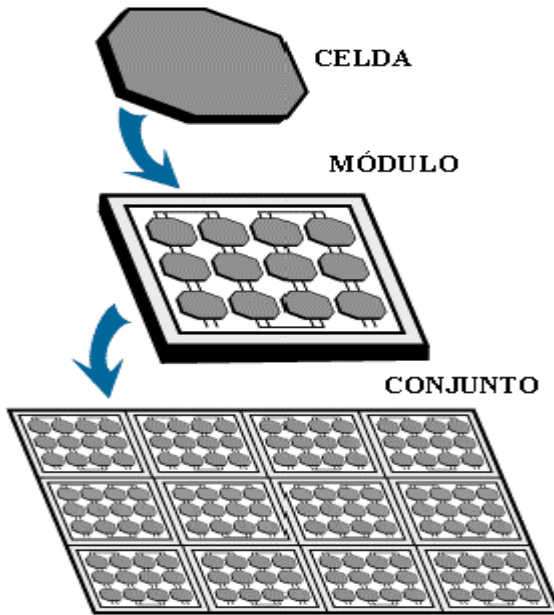
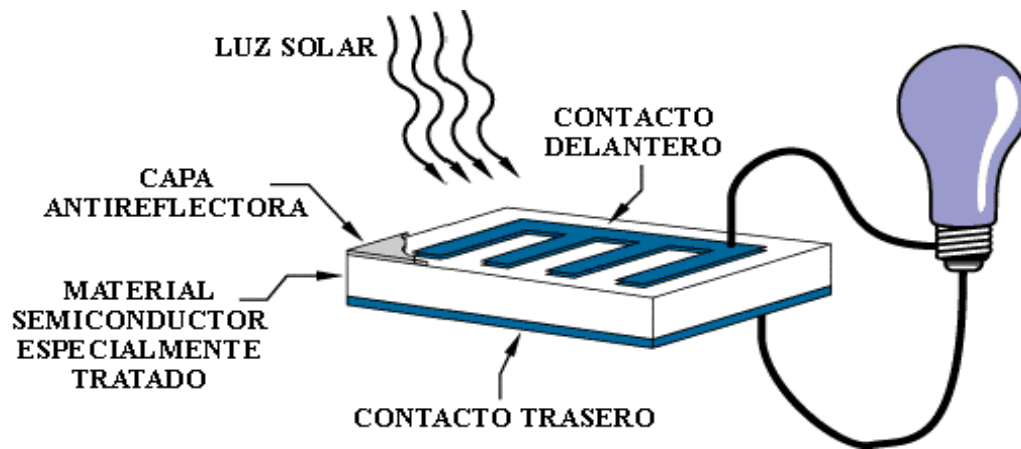


Figura 3. Celda fotovoltaica





## 4.2 BATERÍA

La batería o acumulador se encarga de almacenar en forma electroquímica la energía eléctrica fluctuante (no constante) que recibe del módulo o campo fotovoltaico y proporcionarla (de manera casi constante y/o sostenida) a los elementos de consumo como lámparas o televisor; como acumulador de la energía eléctrica generada en los módulos fotovoltaicos, la batería cumple las funciones de amortiguar las fluctuaciones de corta duración en la energía que recibe del generador fotovoltaico y ampliar el lapso de tiempo de suministro de energía eléctrica por encima de los periodos de generación.

Las baterías dan autonomía al SFV (sistema fotovoltaico donde las celdas solares transforman la energía solar directamente en electricidad) en los eventuales intervalos en los que no ocurra generación (bien porque no hay sol, bien por ocurrencia de alguna falla).

Puesto que existen varios tipos de baterías, es conveniente utilizar baterías especialmente diseñadas para trabajar en los regímenes que imponen las intermitencias del suministro (recurso solar) y del consumo de energía; aunque las baterías de tipo automotriz tienen un desempeño aceptable (pero de muy corta vida), no son recomendadas para ser usadas con SFV.

En los SFV de energización rural se utilizan baterías generalmente de plomo-ácido (son las más comerciales y sobre las que se tiene mayor experiencia), cuyos componentes constitutivos son, en lo esencial:

Placas de plomo o de alguna aleación del mismo; son un par de ellas, denominadas, cátodo y ánodo inmersos en el electrolito para formar una celda electroquímica, están hechas de plomo en aleación con pequeñas cantidades de otros materiales como el calcio y el antimonio, dependiendo del tipo de batería.

Figura 4. Baterías



El electrolito: es una solución de ácido sulfúrico en agua con una densidad entre 1,2 y 1,3 g/cm<sup>3</sup>; debe tenerse en cuenta los rangos de temperatura y humedad dentro de los cuales debe trabajar la batería.

El contenedor o caja; aunque las hay de tipo automotriz, también las hay para uso específico con SFV que por supuesto son las que se recomiendan, el contenedor o caja, fabricado generalmente con material plástico rígido, resistente a los ácidos.

### **4.3 CONTROLADOR DE CARGA**

El controlador de carga es el dispositivo electrónico diseñado para:

Proteger la batería contra posibles sobrecargas causadas por excedente provenientes del módulo y/o campo fotovoltaico.

Proporcionar elementos de monitoreo de sus funciones como pantalla analógica o digital, testigos (leds) o alarmas.

Evitar sobre descarga en la batería por exceso de consumo, para así también proteger los dispositivos de consumo.

Eliminar las corrientes que puedan fluir desde la batería hacia el módulo fotovoltaico, cuando éste no recibe energía solar.

Centralizar el cableado del sistema por lo cual debe proveer los terminales apropiados; de éste sale el cableado para la red del consumo.

Los componentes principales de este dispositivo son: Circuitos y accesorios electrónicos; son los circuitos de seguimiento y control con bajo consumo de energía, que se encargan de actuar sobre los circuitos eléctricos que manejan y transportan toda la energía del SFV; son los circuitos que verifican que el sistema se mantenga dentro de ciertos niveles de voltaje y de corriente; conectan o desconectan otras partes del SFV, y en general todas las funciones de diseño “inteligente” que el fabricante ofrece; los accesorios de los circuitos electrónicos son esencialmente, diodos, transistores, resistencias, condensadores, circuitos integrados y eventualmente chips de memoria.

Figura 5. Controlador de carga



Circuitos y accesorios eléctricos; son los circuitos directamente en contacto con toda la energía eléctrica que llega del campo fotovoltaico y que se lleva al consumo; los accesorios son cables conductores principalmente de cobre y sus aleaciones, aislamientos eléctricos, eventualmente diodos de potencia utilizados como protección contra corrientes inversas, contactos y terminales.

Relevos (relevadores o reles); los relevadores pueden ser electromecánicos o de estado sólido; los electromecánicos son de metales sólidos (cobre y sus aleaciones, contactos de platino o tungsteno) o líquidos (ya de poco uso, como el mercurio); los de estado sólido son materiales semiconductores como germanio y silicio.

Indicadores o testigos; los primeros pueden ser indicadores analógicos de voltaje o de corriente o indicadores digitales; en cualquier caso deben ser de materiales plásticos que cumplan las normas establecidas para estos instrumentos y deben ser de fácil lectura para el usuario; si el controlador dispone de testigos es preferible que sean leds que son de bajo consumo de energía y no de bombillos cuyo consumo puede llegar a ser apreciable, además de que disipan calor.

Los conectores deben estar hechos de cobre y de aleaciones adecuadas a cada necesidad.

Soportes internos; estos deben ser rígidos, pudiendo ser de metal o de plástico.

El gabinete o caja debe ser rígida, pudiendo ser de metal o de plástico; tiene como función controlar constantemente la tensión de la batería durante su carga, cortando el paso de la corriente cuando esté totalmente cargada y detectan cuando la tensión de las baterías ha descendido y reanudan la carga de éste.

#### 4.4 INVERSOR

Es el dispositivo electrónico que convierte la corriente directa proveniente de la batería (por ejemplo, 12 V d.c.) en energía eléctrica alterna (por ejemplo, 120 V a.c.); generalmente, la alternancia producida en el inversor es del tipo onda cuadrada de 60 Hz, con deformidades (indeseables) o picos de voltaje lo que supone una utilización prudente de este dispositivo especialmente con cargas provistas de tarjetas de memoria; la forma de onda ideal para un voltaje de corriente alterna es la sinusoidal; los primeros inversores proporcionaban un voltaje de salida con forma de onda cuadrada.

Con posterioridad aparecieron en el mercado modelos con una forma de onda de salida que representa una aproximación de la sinusoidal, la que recibe el nombre de “casi-sinusoidal” o “modificada”; inversores de este tipo están actualmente en uso y gozan de una amplia aceptación.

Figura 6. Inversor



## **5. METODOLOGÍA**

### **5.1 TIPO DE PROYECTO**

El tipo de proyecto es una adaptación ya que los componentes del banco solar didáctico se encuentran en el mercado, la parte que se piensa adaptar es la sincronización al sistema de energía tradicional (redes de energías 110 y 220 V) con el fin de dar espacios a las tecnologías alternativas y un mejor entendimiento del proyecto.

### **5.2 MÉTODO**

El método utilizado fue analítico, ya que se construyó un banco solar didáctico en base a los conocimientos teóricos obtenidos durante el transcurso de la tecnología electrónica y de modelos ya existente en otros ámbitos que pueden servir como herramientas claves; además de ser un proyecto único en la institución.

### **5.3. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

**5.3.1 Fuentes Primarias:** Por desconocimiento de estudiantes y usuarios del acople de los equipos a la red de Empresas Públicas,

**5.3.2. Fuentes Secundarias:** Para complementar la investigación se utilizo internet, textos y documentos relacionados con el tema.

## 6. RESULTADOS

El proyecto contempla el diseño y montaje de un “Banco Didáctico de Pruebas” sobre energía solar o fotovoltaica y sus respectivas guías de laboratorio.

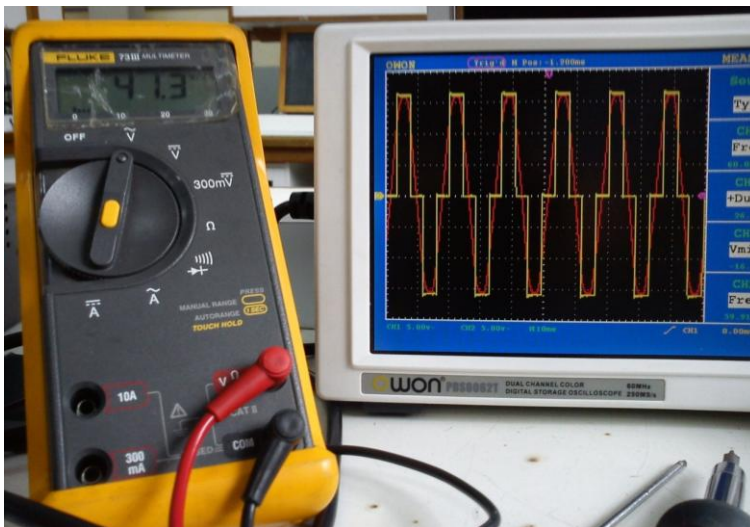
Desde el punto de vista conceptual se manejaron los términos de referencia técnicos y científicos de acuerdo al tema seleccionado y se aplicó en este proyecto las últimas tecnologías desarrolladas; las cuales a futuro serán de gran utilidad a los estudiantes del Tecnológico Pascual Bravo; así mismo la metodología tiene la normatividad exigida para este tipo de proyectos.

En el proceso de la construcción del Banco Didáctico de Pruebas se comenzó con el inversor siendo este la parte que marca el comienzo; la función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia que se desea utilizar para convertir la corriente continua generada por los paneles solares fotovoltaicos y de esta manera poder ser inyectados en la red eléctrica o usarlo en instalaciones eléctricas aisladas de la Institución; para ello se optó por diseñar y construir un inversor con salida a través de un transformador y una onda aunque cuadrada que se le atenúen los ángulos en la parte superior; siendo así un inversor que tiene dos posibles funcionalidades como lo son, utilizar cargas de corriente alterna en instalaciones aisladas de la red y conectar los sistemas fotovoltaicos a la red de distribución eléctrica.

El inversor es el convertidor de potencia que se encarga de acondicionar la energía para adecuarla a la red y de extraer la máxima potencia del generador fotovoltaico, a este se le realizaron chequeos con la ayuda del laboratorio del Instituto Tecnológico Pascual Bravo, después de realizadas las pruebas

satisfactoriamente se hace un acople con la red de sistema que suministra Empresas Públicas de Medellín, así como se puede observar en la figura 7, en la cual se detalla tanto la onda cuadrada a la salida del inversor (onda amarilla), como la onda senoidal que pertenece a la red Empresas Públicas (onda roja).

Figura 7. Acople de ondas inversor y Empresas Públicas



Se optó por diseñar la parte de control del inversor con un microcontrolador PIC 16F877, que a su vez efectúa la parte de sincronismo; para el inversor se utilizaron los 4 bits superiores del puerto C, y 4 bits superiores del puerto D; cada puerto controla un semiciclo de la onda a través de un driver manejado por los transistores Q2 y Q3 que a su vez activa la etapa de suicheo conformado por 4 transistores 2N3055 conectados en paralelos por pareja.

Para la salida de potencia se optó por construir un transformador de 200 W con un devanado primario a 20 V con derivación central, lo que nos da un voltaje primario



de 10 V - 0 V - 10 V y una capacidad de 10 A, y un devanado secundario de 120 V a 1.7 A aproximadamente.

Figura 8. Prototipo de la tarjeta de control

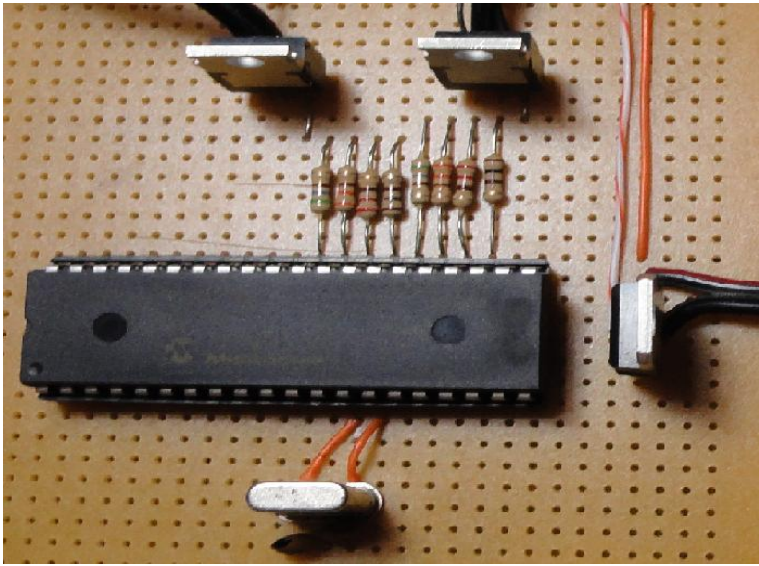
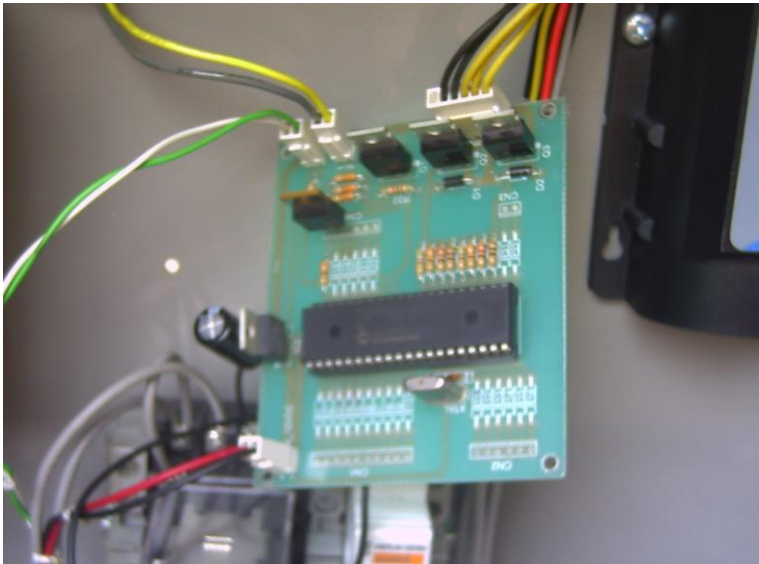


Figura 9. Impreso final de la tarjeta de control



Para la parte del sincronismo se utilizó una fuente de energía generada por los paneles solares fotovoltaicos, cuando el inversor ya ha realizado la conversión de corriente directa a corriente alterna; de esta manera se puede inyectar en la red eléctrica, que para este caso es la de Empresas Públicas.

Para hacer la sincronización se necesita igualar los voltajes y las frecuencias de las dos redes; la parte de sincronismo la realiza el PIC 16F877, se toman los pines 0 y 1 del puerto B, el RB0 hace la detección del cruce por 0 V a través de Q1 y sus resistencias asociadas; cuando el control detecta el cruce por 0 V, también debe de estar en 0 V el sistema de Empresas Públicas y la frecuencia debe de ser igual, es decir a 60 Hz; el pin RB2 detecta si el sistema se quiere trabajar como inversor solamente o como sistema sincronizado.

Cuando el sistema está trabajando como inversor, es un sistema independiente de energía y se le pueden acoplar cargas como bombillos, aparatos eléctricos y electrónicos que trabajen a 110 V; el pin RB3 da la salida de sincronismo activando un relé que actúa como suiche o como interruptor de interconexión entre la energía suministrada por el panel y la que se va a inyectar a la energía de Empresas Públicas de Medellín.

Los puertos A, E, C y los bits menos significativos del puerto D del microcontrolador quedan libres para futuras aplicaciones.

Para poner a punto la parte de control del Banco solar se hizo un prototipo en una board universal como se mostró en la figura 9, en esta se ensamblaron los componentes del inversor y se realizó la programación y configuración del PIC 16F877, se utilizó el software JAL y Mplab de Microchip; otros elementos utilizados fueron, un programador de microcontroladores Pickit 3; un osciloscopio análogo de 100 MHz, un voltímetro FLUKE 78 III y herramienta adecuada para el trabajo.

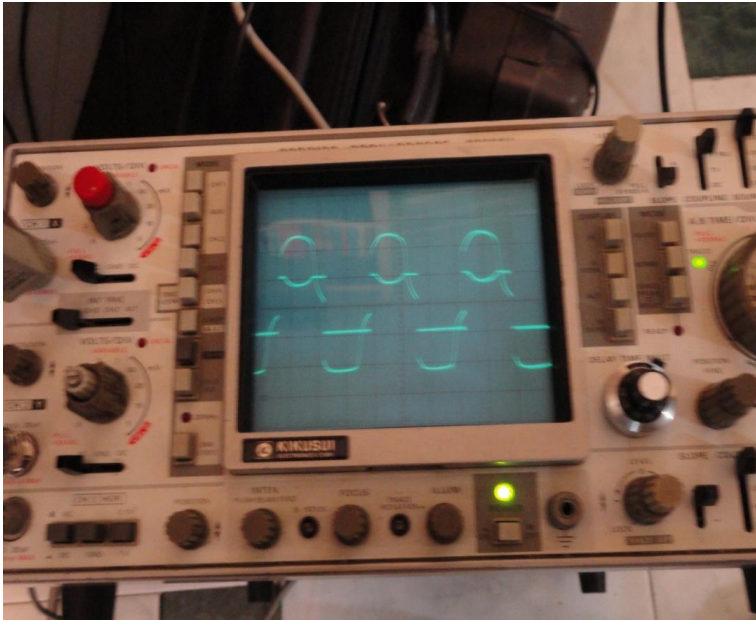
Figura 10. Transformador parte de potencia con carga



En las pruebas con el osciloscopio se verifican que las ondas de salida del transformador de potencia se asemejen a las senoidales y que el voltaje este alrededor de los 120 V para poder hacer el acople con la red de energía principal.

El prototipo de control y de potencia del panel solar se trabaja como inversor y se le acopla carga que para este caso fue con bombilla y ventilador que trabajan a 110 V, dando como resultado un voltaje y corriente estable, para estas pruebas de funcionamiento en la parte de potencia en los transistores Q1 Y Q3 se noto una temperatura alta, por lo que fue necesario acondicionarles disipadores de aluminio, los cuales permiten la disipación de potencia en forma de calor que se produce en los transistores; además de un ventilador a 110 voltios, que también trabaja como carga del panel solar.

Figura 11. Onda cuadrada atenuada del transformador



Seguido a ello se hacen las simulaciones realizadas en el software PSIM; posteriormente, se muestran las pruebas al convertidor CD/CA; además, se presentan las pruebas a los circuitos secundarios de tiempo muerto y protecciones; por último, se ilustran las pruebas del control del SFV para el voltaje en el enlace de CD, siendo esto el objetivo principal del trabajo de tesis.

El sistema se validó en el laboratorio, emulándose las celdas fotovoltaicas con una fuente de alimentación capaz de generar 100 W, que es la potencia nominal del prototipo; en algunas pruebas la fuente se operó en modo de regulación de corriente.

Con el protocolo de pruebas se pretende llevar al máximo de su capacidad para validar su funcionamiento ante las condiciones para las que se diseñó; por lo

tanto, se probó el prototipo con cambios de carga y modificaciones en el voltaje entregado por la fuente de alimentación.

Se simuló su funcionamiento para tener una idea del comportamiento ante una disminución en la capacitancia de enlace, con lo cual se emulo el comportamiento de algunos elementos; por ejemplo, la celda fotovoltaica se emulo con el circuito descrito.

El seguimiento de la máxima potencia es especialmente importante debido a que se tiene una carga que admite toda la potencia que el panel fotovoltaico pueda suministrar, como lo es el suministro de energía a la red eléctrica.

El principio básico de operación del seguidor es tomar el voltaje de salida del arreglo fotovoltaico  $V_{pv}$  y la corriente  $I_{pv}$ , introducirlos a un multiplicador y comparar el resultado con una referencia que representa el valor máximo de la potencia que puede proporcionar el arreglo fotovoltaico; se genera una forma de onda, modulada por un comparador de histéresis, y esto provoca las conmutaciones del MOSFET que se encuentra en el convertidor.

La potencia constante de referencia se coloca para proporcionar el set point para el comparador de histéresis, y no toma en consideración las variaciones de temperatura ambiente.

Como se mencionó, el inversor es parte de la segunda etapa del sistema fotovoltaico, se simula y se controla la corriente mediante un comparador de histéresis; se obtuvo una forma de onda sinusoidal inyectada a la línea.

Figura 12. Inversor conectado a la red

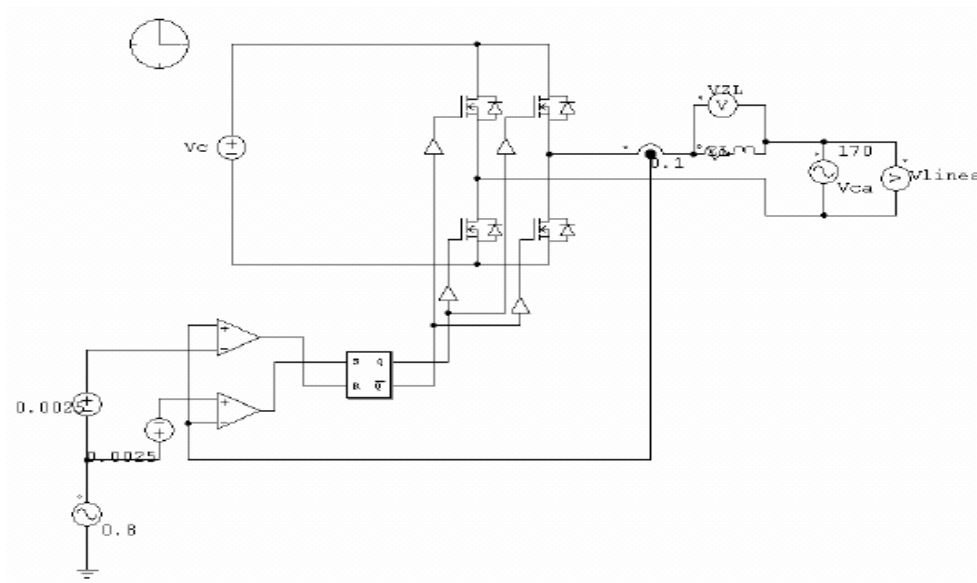


Figura 13. Diseño y Montaje final de Banco Solar Didáctico

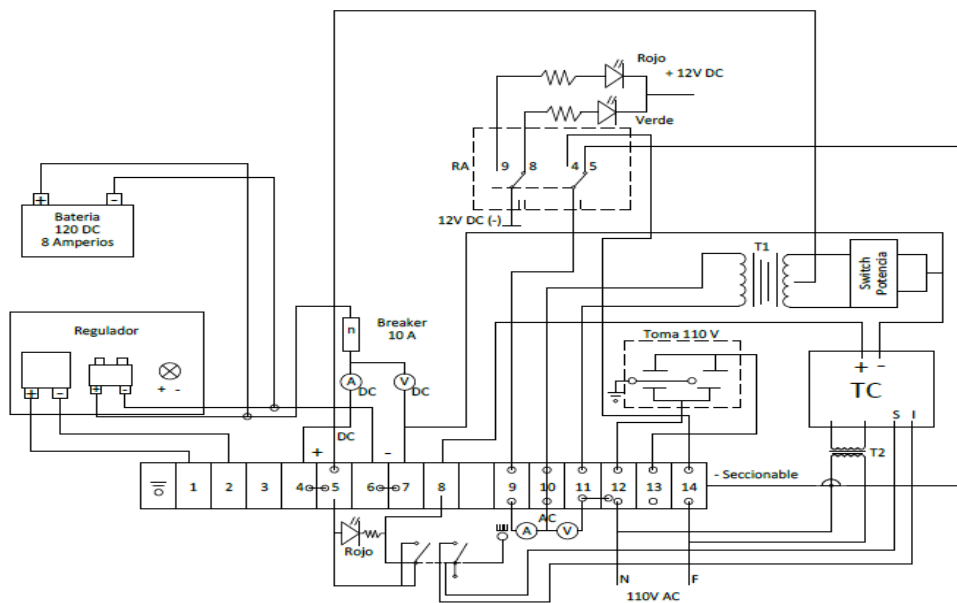
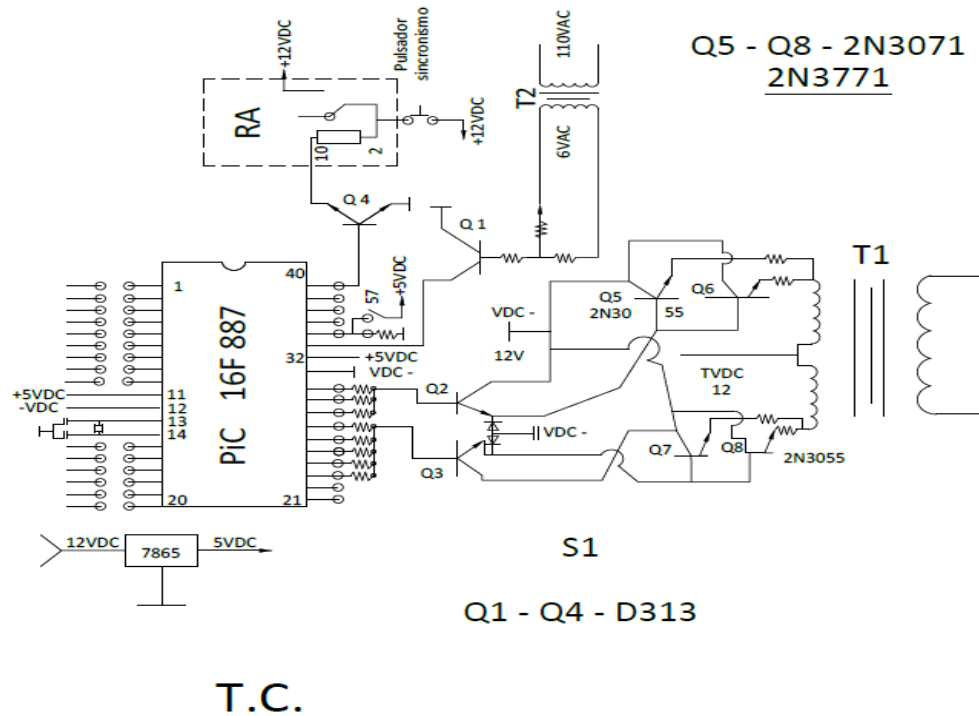


Figura 14 Diseño tarjeta final de control



Para organizar los elementos que conforman el sistema del panel solar como es el regulador, la batería, el transformador de potencia, el transformador de la señal para el acople, la tarjeta de control, los disipadores, los reguladores, los instrumentos de medida (voltímetros DC y amperímetros AC, DC), el relé, mini breaker de 10 A, ventilador, las borneras de control entre otros; se optó por construir una caja metálica con unas dimensiones de 53 de alto x 50 de ancho x 35 de profundidad, a la cual se le adicionaron 4 orejas para anclarlo a la pared.

Para construir esta caja se optó por el reciclaje de unas láminas metálicas de 1/8 de pulgada; se recortan y con la colaboración de un taller de soldadura se armo la caja con estas medidas para poder ubicar todos estos elementos, la caja también se pinta a pistola y se escoge un color gris plata, que es un color que se estandariza para los gabinetes eléctricos.

Se hacen las perforaciones en la tapa que abre y cierra para colocar 2 amperímetros y 2 voltímetros que indican el voltaje del panel solar, y el voltaje de la red de Empresas Públicas; los dos amperímetros, uno de DC y otro de AC, que muestra la corriente del panel solar y de la carga.

Los dos voltímetros, el DC están de 0 a 15 V y el de alterna 0-120 V; los amperímetros uno de DC 0-5 A y un amperímetro universal de 0-5 A, este registra la carga de la salida del transformador, estos aparatos de medida están en la parte superior de la puerta del gabinete.

También se hacen las perforaciones para colocar un led rojo, que indica si está trabajando como inversor o como interconexión, igualmente se adapta un suiche de codillo de dos posiciones para que trabaje como inversor o interconexión.

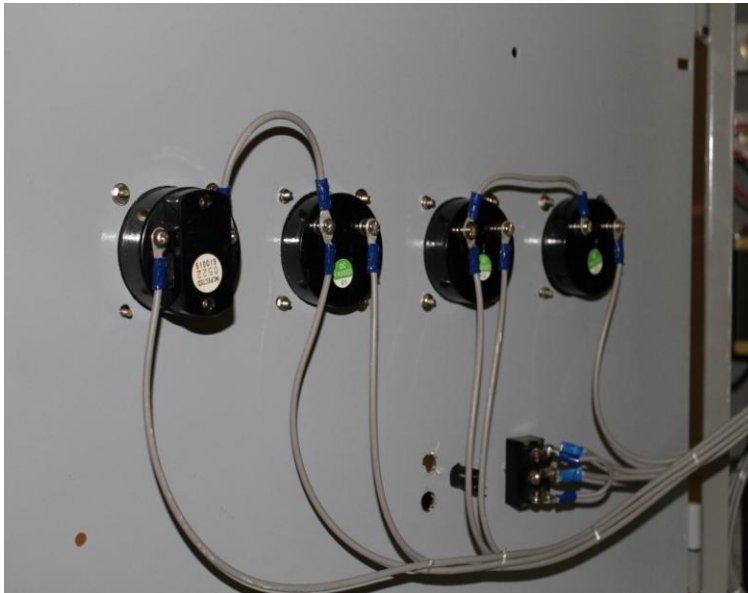
Se ubica un suiche como interruptor para hacer el acople, cuando las condiciones se cumplen, se colocan dos leds de indicación: abierto (verde) y cerrado (rojo), esta parte es de indicación para la interconexión entre los dos sistemas.

Figura 15. Cara frontal gabinete





Figura 16. Cara interna de la puerta del gabinete



En la parte interna del gabinete, al lado izquierdo, se hace la parte de anclaje para los transistores de potencia con los disipadores de calor, estos están colocados en dos platinas de aluminio y se hace la perforación para colocarlas sobre cuatro aisladores, separados del fondo de la caja; al lado derecho se coloca el ventilador, sujetado con cuatro abrazaderas y sujetados con tornillos a la caja.

En la parte central del gabinete se hacen las perforaciones para sujetar el transformador de potencia de 200 V, con tornillos en el fondo de la caja, también se coloca un transformador pequeño de 6 V /110 V AC, para la parte de control del sincronismo, se coloca el regulador de 12 V y 15 A, en el fondo al lado derecho, para la protección de la batería, se fija al gabinete con tornillos.

Se coloca un riel omega, para fijar el relé de 12 V y el mini breaker de 10 A DC; en el piso del gabinete se coloca la batería que nos suministra 12 V y 8 A, se hace

una abrazadera de aluminio para fijarla al tablero con tornillos; también se coloca un riel en G fijado con tornillos, para colocar 14 borneras de control, que es donde van conectados los cables de todos los aparatos del panel.

En la parte lateral derecha, se coloca una caja plástica 2x4 un toma a 110 V, para conectar la carga del panel, también queda como un toma para conectar aparatos de pequeño consumo; en este mismo lado se coloca una barra de cobre pequeña, para llevarlo a tierra.

Figura 17. Parte superior interna del gabinete



Figura 18. Parte inferior interna del gabinete

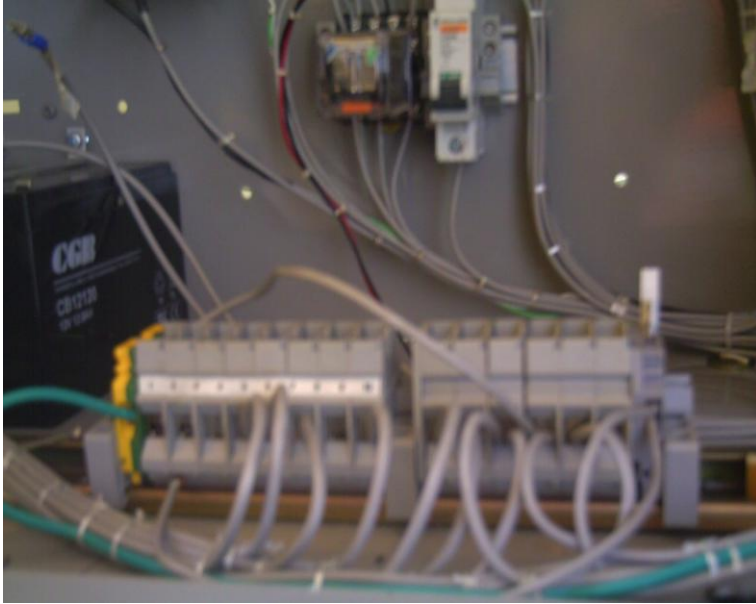


Figura 19. Vista interna del panel solar didáctico

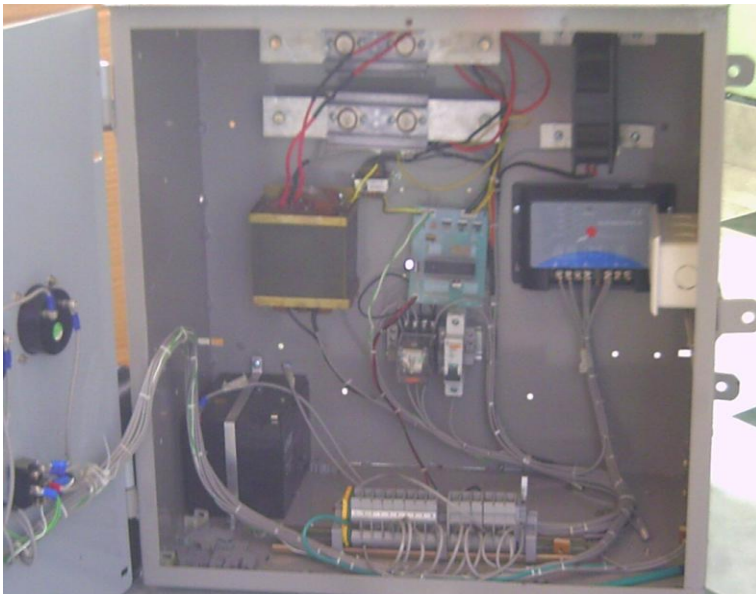


Figura 20. Vista interna del panel solar didáctico completa



Figura 21. Vista externa del panel solar didáctico



Figura 22. Vista frontal del panel solar didáctico



Figura 23. Paneles solares



## 7. CONCLUSIONES

El conocimiento, la comprensión, el manejo y la utilización de la energía solar pueden brindar grandes expectativas y herramientas a todos los profesionales del área de las ingenierías con miras de lograr construir un mundo social y tecnológicamente más productivo y que cause menos impacto ambiental en la solución de los problemas.

Es por ello que el conocimiento adquirido con este proyecto va a marcar pautas de investigación más profunda y generara cada día más cuestionamientos en relación a su utilización en cuanto que es un recurso con una relación costo-beneficio muy acorde con las tendencias de nuestra época; y sin descuidar otro aspecto muy importante hoy día como es la protección del medio ambiente y el impacto ambiental.

El grupo sugiere con su investigación y aporte tecnológico que el proyecto debe ser utilizado en prácticas de asignaturas como Centrales Eléctricas, u otras asignaturas que la coordinación académica considere que este proyecto puede ayudar a dar formación técnica y científica.

Se hace énfasis en que el BANCO DIDÁCTICO DE PRUEBAS SOBRE ENERGÍA SOLAR es el primero de su género en la institución y deberá tener la divulgación interna y externa que este proyecto requiera.

## 8. RECOMENDACIONES

El banco de prueba junto con todos los elementos que lo conforman están diseñados para una larga vida útil, sin embargo ellos requieren de un programa de conservación o mantenimiento para que su funcionamiento sea perfecto y las prácticas se realicen sin ningún riesgo y sean productivas y aporten conocimientos a los estudiantes.

A continuación se dan unas indicaciones básicas para ser llevadas a cabo por lo menos cada seis meses; en el módulo fotovoltaico: Limpiar las celdas, revisar contactos y conexiones eléctricas, probar.

El banco de pruebas: se debe revisar, ajustar y probar todas las conexiones eléctricas, realizar limpieza interna del panel, verificar el buen funcionamiento de cada uno de los elementos que lo componen.

En el banco de baterías: realizar inspección y pruebas a la cada una de las baterías, celdas rotas, cables y conexiones deterioradas, presencia de recalentamiento, oxido o daño en bastidores, presencia de sulfatación en bornes, realizar pruebas de cargas referirse al a “Guía de laboratorio Energía solar 01 mantenimiento a baterías”.

El sistema de aterrizaje: Inspeccione y reapriete todas las conexiones a tierra de cada una de las partes que componen el proyecto, limpie o cambie las conexiones a tierra que se encuentren flojas sucias que en mal estado, Adicionalmente se recomienda a la Institución la adquisición de un luxómetro para complementar y mejorar los laboratorios de pruebas que se pueden implementar con el banco.

## BIBLIOGRAFÍA

TOBAJAS VÁZQUEZ, M; Energía solar fotovoltaica, Editorial CEYSA, Barcelona, España 2002.

GORDILLO, G; Fundación para la promoción de la energía, Informe final de actividades científicas para aplicación de la Energía Solar, Bogotá, Colombia 1991.

WILES, J; Sistemas de Energía fotovoltaica y el código eléctrico nacional,, Practical Recommended Southwest Technology Development Institute, New Mexico State University.

PALACIOS MUNICIO, Enrique; REMIRO DOMÍNGUEZ Fernando y LÓPEZ PÉREZ Lucas J. Microcontrolador PIC16F84 Desarrollo de Proyectos. Tercera Edición. Alfaomega. México 2009.

DORF C, Richard. Circuitos electrónicos Universidad de California, Davis Editorial Alfaomega. Quinta edición 2003 Bogotá.

MANZANO ORREGO, Juan José. Electricidad: Teoría Básica y Prácticas, Universidad Barcelona, Alfaomega. Primera edición 2007 Bogotá.



## CIBERGRAFÍA

<http://www.upme.gov.co>. [Consultado 17 de Noviembre 2011]

[www.sensortags.com](http://www.sensortags.com) [Consultado el 13 de Abril de 2011]

<http://www.isc-iberica.com> [Consultado el 01 Junio de 2011].

[http://www.seycon.es/catalogo.php?user\\_id=678a26db3d86695a601c5142623fe52f&func=amplinfo&codereg=000008&codemenu](http://www.seycon.es/catalogo.php?user_id=678a26db3d86695a601c5142623fe52f&func=amplinfo&codereg=000008&codemenu) [Consultado el 03 de Abril de 2011]

Monografias.com S.A. Descripción del PIC 18F4420 [en línea]: Monografías [modificada por última vez el 13:53,19. 05. 2011. [Consultado el 10 Mayo de 2011].

Wikimedia Foundation, Inc. Lenguaje Bajo Nivel [en línea]: Wikipedia® [modificado por última vez el 16:46, 5 .05. 2011.] [Consultado el 10 Mayo de 2011].

[http://es.wikipedia.org/wiki/Bajo\\_nivel](http://es.wikipedia.org/wiki/Bajo_nivel)> [Consultado el 10 Mayo de 2011].

Wikimedia Foundation, Inc. Lenguaje Alto Nivel [en línea]: Wikipedia® [modificado por última vez el 13:07, 27 05. 2011.], [Consultado el 10 Mayo de 2011].