

APLICACIÓN ELECTRÓNICA PARA EL AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZANDO UNA ENERGÍA ALTERNATIVA¹

ELECTRONIC APPLICATION FOR SAVING ELECTRIC POWER USING AN ALTERNATIVE SOURCE OF ENERGY

APLICATIVO ELETRÔNICO PARA ECONOMIZAR ENERGIA ELÉTRICA USANDO UMA ENERGIA ALTERNATIVA

Juan Carlos Cruz-Ardila

Magister en Educación, Universidad de San Buenaventura Cali. Magister en Ingeniería, Universidad del Valle. Ingeniero Electricista, Universidad del Valle. Profesor Tiempo Completo de la Universidad de San Buenaventura-Cali.
jccruz@usbcali.edu.co

Juan Carlos Cardona-Gómez

Ingeniero Electrónico. Universidad de San Buenaventura Cali.
juanhocg74@hotmail.com

Diego Mauricio Hernández-Porras

Ingeniero Electrónico. Universidad de San Buenaventura-Cali. Ingeniero de Soporte Técnico y Aplicaciones. COINDTEC S.A.S
diegoskcc1988@hotmail.com

RESUMEN

El artículo presenta un trabajo orientado a disminuir el consumo de energía eléctrica entregada por la red eléctrica convencional, a través del aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica. Se propone el diseño de un sistema de transferencia electrónica que facilita el uso de la energía eléctrica DC proveniente del panel solar, suprimiendo de esta manera, la utilización del inversor de voltaje, comúnmente usado en este tipo de aplicaciones y que eleva el costo de utilización de la energía solar. Se da a conocer inicialmente una revisión del estado del arte, que permite contextualizar el problema resuelto a partir de una energía renovable como la fotovoltaica, destacándose que actualmente España es el país con mayor desarrollo en este tema. Luego, se muestra el desarrollo secuencial del sistema de alimentación y la transferencia electrónica, haciendo una descripción de las variables identificadas y explicación, con el uso de diagramas de flujo, del sistema embebido implementado. También se da una descripción de los dispositivos usados tal como el sensor de corriente, la regulación y la rectificación. Se muestra el esquema de la transferencia implementada. Finalmente, se revelan los resultados y las pruebas operacionales realizadas al

sistema para demostrar la funcionalidad de la aplicación electrónica en el ahorro de la energía eléctrica utilizando una energía alternativa.

PALABRAS CLAVE

Energía fotovoltaica, transferencia electrónica, panel solar, energía renovable, ahorro energético.

ABSTRACT

This article presents the findings of a study aimed at decreasing the use of electric power supply from conventional power grids by making use of solar energy from photovoltaic cells. It proposes the design of an electronic transfer system that facilitates using DC electric power from solar panels, thus eliminating the use of a voltage inverter (commonly used in these kinds of applications) which increases the cost of using solar energy. It first provides a review of the state-of-art technology which makes it possible to contextualize a problem resolved from the use of renewable photovoltaic energy, noting that Spain is currently the most developed country in this field. It then goes on to present a gradual development of the supply system and electronic transfer, and provides a description of the identified variables and

Fecha de recepción: 02 - 05 - 2013

Fecha de aceptación: 28 - 06 - 2013

an explanation of the implemented embedded system using flow charts. It also describes the use of devices such as current sensors, regulators, and rectifiers. It shows a schematic of the implemented transfer system. Lastly, it discusses the findings and operational tests of the system to show the functionality of the electronic application that saves electric power through the use of an alternative source of energy.

KEYWORDS

Solar photovoltaic energy, electronic transfer, solar panel, renewable energy, energy saving.

RESUMO

O artigo apresenta um projeto orientado para a redução do consumo de energia elétrica fornecida pela rede elétrica convencional, através do aproveitamento da energia solar fotovoltaica. É proposta a concepção de um sistema de transferência eletrônica que facilita o uso da energia elétrica de corrente contínua proveniente do painel solar, suprimindo

desse modo o uso do inversor de tensão normalmente usado nesse tipo de aplicações e que eleva o custo da utilização de energia solar. É dada a conhecer inicialmente uma revisão do estado da arte, que permite contextualizar o problema resolvido a partir de uma energia renovável como a fotovoltaica, ressaltando que a Espanha é atualmente o país com um maior desenvolvimento nesse tema. Em seguida, se mostra o desenvolvimento seqüencial do sistema de alimentação energética e a transferência eletrônica, fazendo uma descrição das variáveis identificadas e a explicação, usando fluxogramas, do sistema embutido implementado. Também se dá uma descrição dos dispositivos usados, tal como o sensor de corrente, a regulação e a retificação. É mostrado o esquema da transferência implementada. Finalmente, são revelados os resultados e os testes operacionais realizados ao sistema para demonstrar a funcionalidade do aplicativo eletrônico na economia de energia elétrica usando uma energia alternativa.

PALAVRAS-CHAVE

Energia fotovoltaica, transferência eletrônica, painel solar, energia renovável, economia energética.

Introducción

Las energías alternativas siempre han estado presentes en la cotidianidad de la humanidad, aunque muchas veces se ha desconocido su existencia por la necesidad de poner lo económico por encima del beneficio ambiental. Además de ser totalmente gratuitas son energías limpias y protectoras del medio ambiente; es por ello que entidades como el COCME² (Comité Colombiano del WEC) incentiva y apoya el uso de este tipo de energías, que se adaptan, cada una de ellas, a una región geográfica de nuestro país, brindando unas más aprovechamiento que otras.

La energía ha tenido presencia en el desarrollo de la humanidad, y desde mucho antes de ser conocida por el hombre, rigiendo todos los procesos de la vida cotidiana, por lo que no es sorprendente que con todos los descubrimientos técnicos y científicos, se haya convertido en un recurso imprescindible.

El hombre, a través de su existencia, se ha valido de recursos que le brinden confort en su diario vivir, como es el caso de la energía eléctrica que tiene un papel muy importante en el desarrollo de la sociedad, brindándole

acceso a avances tecnológicos que traen consigo recreación, entretenimiento, educación, entre otros, pero demandando un mayor consumo de energía. Cabe destacar que la energía eléctrica debe ser generada, transportada, distribuida, medida y facturada, por una empresa especializada, siendo esta la principal beneficiada del incremento en los consumos.

Hoy en día, en una vivienda se encuentra por lo menos un dispositivo que para su funcionamiento requiera el uso de energía eléctrica, por lo que en algunos casos se presenta una alta demanda y hasta desperdicio, cuando hay una cantidad considerable de estos elementos, dicho desaprovechamiento afecta en mayor proporción al sector rural y estratos bajos, pues aunque tengan tarifas subsidiadas sufren incrementos en los costos, pagando así por la demanda de consumo generada por otros sectores, despreocupados por el alto valor en el pago del servicio de energía.

El trabajo que aquí se presenta hace parte de un proyecto macro denominado *Construcción de un prototipo para una casa de carácter sostenible*, desarrollado por investigadores de la Universidad de San Buenaventura Cali. Busca reducir el consumo de energía de la red pública en una vivienda del sector rural y cargar una

parte del consumo de la vivienda, ya sea tiempo completo o en los tiempos de mayor demanda, a un sistema de generación y almacenamiento de energía eléctrica a partir de una energía alternativa, como lo es la fotovoltaica. Los resultados obtenidos contribuyen con una aplicación de carácter social que genera un ahorro económico a los habitantes del sector rural y un beneficio ambiental. La principal estrategia se centra en aprovechar la corriente directa que se genera desde el panel fotovoltaico.

1. Contextualización del problema

El estudio de las energías renovables actualmente se presenta como una herramienta de gran utilidad, debido a la escasez de fuentes de energía convencionales que se han venido explotando desde hace ya varios años, sin pensar que ello conllevaría a la humanidad a un punto en el cual se agotarían dichos recursos.

Es por ello que hoy en día, entidades como el COCME han comenzado a impulsar el estudio y ejecución de proyectos basados en energías renovables, que son aquellas que se están produciendo de forma continua y son inagotables para la humanidad; entre ellas las más importantes son: eólica, solar, hidráulica y biomasa. Este tipo de fuentes de energía son conservativas del medio ambiente, no queriendo decir con esto que no sea perjudicial para su entorno, pero estos efectos negativos son demasiado pequeños, si se comparan con los impactos ambientales que conlleva el uso de las fuentes de energía convencionales (petróleo, gas, carbón), anotando además que los efectos negativos por parte de las energías renovables, son casi siempre reversibles (Díaz Narváez & Díez Cardona, 2007).

Dentro de las primeras aplicaciones de estas energías renovables se encuentra el transporte, teniendo como principal ejemplo la navegación a vela, para lo cual se empleaba la energía eólica presente en una marea que permitía impulsar embarcaciones a vela. Posteriormente, otra aparición fueron los molinos de viento y los molinos de agua en los que se asentaban las primeras bases en la generación de energía hídrica. Al mismo tiempo, se iban desarrollando avances en ingeniería, que buscaban ubicar las edificaciones de manera estratégica para el aprovechamiento de la energía solar durante el día. Pero

con la llegada de la Revolución Industrial todos estos progresos fueron dejados de lado, por lo que se presentó una gran demanda en el uso de combustibles fósiles (eRENOVABLE, 2011).

Al profundizar en cada una de las energías renovables se observa que uno de los principales tipos de energía a partir de la radiación solar es la energía solar fotovoltaica, cuyo efecto fue reconocido por primera vez en 1839, por el físico francés Alexandre Edmon Becquerel y sus estudios sobre el espectro solar. La electricidad, la óptica y el magnetismo son los pilares científicos de esta energía (Markvart, 2001).

En el 1883, Charles Fritts, un inventor norteamericano, creó la primera celda solar que tenía una eficiencia del 1%. Fue construida utilizando un material semiconductor como el Selenio, acompañado de una capa de oro muy delgada. Su uso se restringió únicamente a sensores de luz en la exposición de cámaras fotográficas, debido a su alto costo de fabricación (Pacheco, 2010).

Hoy en día se utilizan celdas de Silicio que provienen de la patente del inventor norteamericano Russell Ohl, que se realizaron en 1946, aunque la celda fue construida en 1940. La época moderna de la celda de Silicio llega en 1954 en los Laboratorios Bells, donde de manera accidental al desarrollar un experimento con materiales semiconductores se encontró la gran sensibilidad a la luz por parte del Silicio con algunas impurezas. Y estos avances contribuyeron a la producción comercial de celdas fotovoltaicas, que alcanzaron una eficiencia del 6% (Pacheco, 2010 p. 6) (Jofra, 2010).

La primera utilización práctica de la generación de energía con celdas fotovoltaicas fue en los dos primeros satélites geoestacionarios de la URSS, en el 1957 y USA un año después en febrero de 1958. La celda de Silicio entra en el escenario de la industria y empieza el desarrollo comercial en busca siempre de una mejor eficiencia (Pacheco, 2010 p. 6) (Jofra, 2010 p. 4).

A pesar del éxito de la tecnología fotovoltaica a nivel espacial, los costos de estos paneles seguían siendo bastante altos para comercializarlos y crear aplicaciones de orden terrestre, lo cual cambió cuando, a comienzos de los setenta, el doctor Elliot Berman creó una célula solar mucho menos costosa, utilizando un silicio con un grado menor de pureza y materiales de encapsulado más baratos. Así apareció la primera celda conocida comercialmente, la cual fue instalada en una calculadora (Pacheco, 2010 p. 6) (Jofra, 2010 p. 4).

Ya en los años ochenta surgieron diferentes iniciativas para la electrificación de las sociedades de los países menos favorecidos y aparecen las primeras casas con electrificación fotovoltaica en los países más desarrollados. En los noventa y a comienzos del siglo XXI, las celdas fotovoltaicas experimentaron una reducción en su precio. Se lograron mejoras en su eficiencia, disminución de costos de mantenimiento y transporte de las líneas eléctricas. Gracias a estos factores y a la necesidad de algunos gobiernos por buscar nuevas fuentes de energía, esta tecnología ha tenido un gran avance e impulso en la generación de electricidad por radiación solar. También se ha introducido este tipo de energía en los sistemas de carga para baterías de artículos portátiles como teléfonos móviles, cámaras fotográficas, reproductores de música, entre otros (Pacheco, 2010 p. 8) (Jofra, 2010 p. 7).

Diferentes trabajos académicos centran su temática en la generación de energía eléctrica para viviendas, utilizando principalmente energía solar fotovoltaica; es así como se encuentra un trabajo de grado de la Universidad de Cataluña, en Barcelona, donde se realizó la instalación de una planta fotovoltaica en una vivienda y la construcción de otra vivienda en una zona rural totalmente sostenible, basados en estudios previos y simulaciones que permitieron determinar la viabilidad y ventaja en costos y reducción de contaminación al utilizar la energía fotovoltaica, en lugar de la electrificación convencional (Perez, 2009) (Arias Navarro, 2009).

Otro proyecto, de esta misma universidad, fue la instalación de un sistema de captación de energía solar térmica para el ahorro de energía y agua en una vivienda unifamiliar situada en Sant Gregori (Girona). Se analizaron las necesidades energéticas y de calefacción, además de la instalación de un sistema de energía solar fotovoltaico con conexión a la red eléctrica, que permitió la venta del KW/h a la red eléctrica pública (Rojo Gallardo, 2010).

India también ha orientado sus investigaciones con proyectos de energías renovables, principalmente la energía fotovoltaica, debido a sus condiciones geográficas. La mayoría de ellos buscan alimentar eléctricamente sistemas para limpieza de agua, permitiendo así brindar agua potable a diferentes comunidades. Una de las empresas dedicadas a estos proyectos y con gran fuerza en la India es Punjab Energy Development Agency, que ha propuesto proyectos

utilizando energías renovables como la hidroeléctrica, la biomasa y la fotovoltaica (McNelis, 2007).

California es un estado que también cuenta con sistemas de generación de energía fotovoltaicos desde hace ya varios años, por lo cual observaron la necesidad de desarrollar estudios para medir la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos, debido a que se conoce que están instalados y generando un beneficio pero no se tienen datos concretos del ahorro y generación de energía. Entre estos estudios se tiene uno llamado "¿Just How Big Is a 2 kW Photovoltaic System?", en el cual se mide el desempeño en campo de 19 sistemas fotovoltaicos instalados en California, recogiendo datos netos de producción de energía, potencia de salida e impacto sobre las cargas del sistema eléctrico público entre 1999 y 2001 (Scheuermann, 2003).

En Colombia, hacia el año 2005 la Unidad de Planeación Minero Energética, en conjunto con el Instituto de Estudios Medioambientales IDEAM, publicó el Atlas de radiación solar, que hace parte de los documentos oficiales para uso de recursos energéticos en el país. En este documento se encuentran registrados los valores de referencia del recurso energético para el desarrollo de sistemas de energía solar y energía eólica en Colombia (UPME & Energía, 2005).

Las aplicaciones más difundidas en Colombia son el calentamiento de agua y la generación de electricidad a pequeña escala. Otras menos difundidas son el secado solar de productos agrícolas y la destilación solar de agua de mar u otras aguas no potables. Debido a la crisis del petróleo en 1973, las universidades de los Andes, la Nacional de Bogotá, la Universidad del Valle, entre otras, sentaron las bases para la instalación de calentadores domésticos solares y otros calentadores más robustos para hospitales o cafeterías. Para la generación de energía se presentaron desarrollos con sistemas fotovoltaicos que generalmente han estado dirigidos hacia las zonas rurales o zonas no interconectadas, uno de ellos fue el Programa de Telecomunicaciones Rurales de Telecom a mediados de 1990 con la asistencia técnica de la Universidad Nacional.

Esta tecnología presenta grandes perspectivas en Colombia, teniendo en cuenta que cerca de 1 millón de familias carecen del servicio de energía eléctrica en el sector rural. En proyectos realizados en este sector, el sistema convencional para un hogar ha constado de un panel solar de 50 a 70 Wp (Watts pico), una batería

entre 60 y 120 Ah y un regulador de carga. Suministrando energía para iluminación, radio y TV cubriendo las necesidades realmente básicas de los campesinos (Murcia, 2008).

Desde el año 2007 la Universidad Autónoma de Occidente dio inicio en su campus universitario a un proyecto de energías renovables, mediante el cual le apunta a la generación de energía eléctrica con fuentes renovables que replacen las que se utilizan actualmente, provenientes de fuentes no renovables. Para ello utilizando sus experiencia en este tema, ha abierto las puertas prestando asesoría y apoyo en proyectos de este tipo.

Luis Gerardo Cortes y John Edison Montañez, estudiantes de ingeniería eléctrica de la Universidad de La Salle en Bogotá, en el año 2010, también observaron la necesidad de suplir de energía a las zonas no interconectadas, expresando que a pesar del crecimiento gradual de demanda de energía y la venta de energía a otros países, el 66% del territorio nacional no se encuentra interconectado, es por ello que plantean en su trabajo de grado realizar el diseño y estudio de tecnologías renovables (solar, biomasa y eólica) para el suministro de electricidad en zonas no interconectadas (Montañez & Cortes, 2010).

En el año 2011 el Ingeniero Yuri Ulianov López, profesor de la Universidad Autónoma de Occidente, Cali, desarrolló un documento sobre el Análisis de recurso solar en Colombia, en el cual detalla y compara con el documento oficial de energías renovables en Colombia, la intensidad y recurso de esta energía en el territorio Nacional. Encontrando que sobre la mayor parte del territorio colombiano la incidencia de radiación global tiene un promedio de 4 y 4,5 kWh/m² por día, especialmente en la región Andina y la Amazonia (p.36). Lo cual demuestra que Colombia por su posición geográfica, cuenta con una gran disponibilidad del recurso solar.

En cuanto al marco jurídico que rige el uso y comercialización de las energías renovables, en octubre 3 de 2011 se sancionó la ley 697, que mediante sus artículos 1, 9 y 10 fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. Esta ley define como propósito nacional avanzar hacia la utilización de fuentes renovables en pequeña escala y particularmente, brinda apoyo a la investigación básica y aplicada,

buscando que con el tiempo, se reduzcan costos y se amplíe la capacidad de energías como la eólica, la solar, la geotérmica o la de biomasa.

La Ley 788 del 27 de Diciembre de 2002, con el artículo 18 presenta un beneficio, al eximir del impuesto a la renta a las compañías dedicadas a la venta de energía con fuentes renovables, durante quince años, condicionado a que se obtengan los certificados de reducción de emisiones de carbono previstos en el Protocolo de Kioto, los cuales generan ingresos a los empresarios (Betancur, 2009).

2. Metodología

Este trabajo se desarrolló en un periodo de un año, para lo cual se consideran cinco etapas. Estas no tuvieron una secuencia lógica en su ejecución, por lo que cada una complementó a la otra en el logro de los objetivos planteados.

La primera -Fundamentación- correspondió a la consulta de trabajos e investigaciones relacionadas con la temática a desarrollar, se constituyó en la base teórica del proyecto

La segunda -Desarrollo- utilizó la información recopilada y seleccionada para determinar los materiales y equipos necesarios, y además obtener cálculos y valores estimados para la realización del modelo circuital de la aplicación electrónica.

La tercera -Ejecución-, comprendió la implementación, pruebas y ajustes necesarios a la aplicación electrónica en el laboratorio, simulando las condiciones reales de funcionamiento.

La cuarta -Implementación- estuvo asociada con el montaje y adecuación de la aplicación electrónica en un tablero didáctico, donde se somete a un periodo de prueba para evaluar su funcionamiento, confiabilidad y el consumo de energía eléctrica de la red pública por parte de la vivienda.

La quinta -Resultados- recogieron los resultados obtenidos y se contrastaron con el objetivo general planteado, para la elaboración tanto de un informe escrito como un artículo que presente aspectos de diseño y el desarrollo del proyecto.

3. Desarrollo

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

El sistema de alimentación eléctrica en corriente directa (SAED), está controlado por una transferencia electrónica automática (TEA) quien determina el sistema que cargará la batería (acumulador). La alimentación de energía está disponible de un panel solar que suministra una tensión de 12 V y una corriente de 8A DC o un sistema que rectifica la corriente alterna en directa. Las luminarias y demás dispositivos que se conecten como cargas estarán alimentadas directamente por la batería. Como protecciones eléctricas se dispuso de un regulador de carga quien determina la conexión-desconexión automática tanto de las fuentes de alimentación como de la batería y las cargas.

Aunque la idea es independizar el sistema de iluminación de la red eléctrica, se decide conservar la opción de acceder a esta en caso de fallas del sistema fotovoltaico.

Para este propósito se diseña un circuito electrónico TEA, que activa la alimentación de la red eléctrica externa, cuando se presenten fallas en el panel solar o en la batería, permitiendo que haya disponibilidad del sistema de iluminación todo el tiempo. Básicamente, este dispositivo está constantemente evaluando la corriente entregada por el panel y en caso de presentarse fallas y tener un nivel de tensión bajo en la batería, procede a activar la entrada correspondiente a red eléctrica. Además, también cuenta con una pantalla LCD para indicación del estado del sistema y nivel de tensión de la batería. Ver Figura 1.

3.2. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES

Para la instalación, operación y evaluación del sistema fotovoltaico se tuvieron en cuenta las siguientes variables:

3.2.1. TENSIÓN DE PANEL

Es la tensión entregada por el panel, que generalmente en circuito abierto es de 12VDC, cuando se realiza

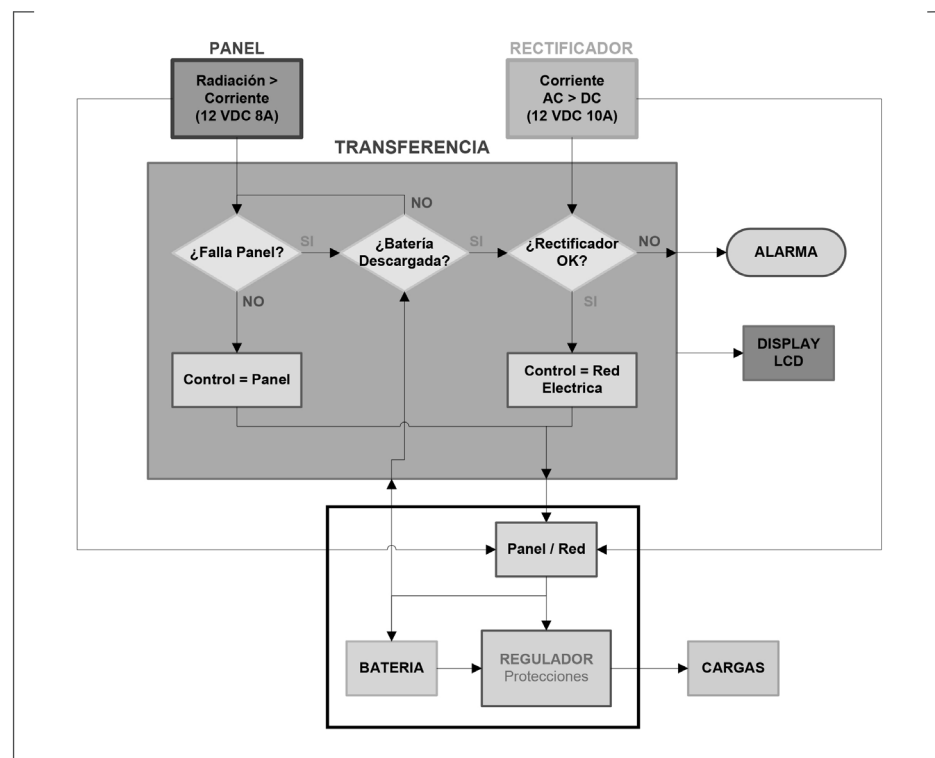


Figura 1. Diagrama de Bloques Sistema Fotovoltaico

la conexión de una carga, esta tensión cae si no hay suficiente corriente entregada por el panel. Su unidad de medida es Voltios (VDC).

3.2.2. CORRIENTE DE PANEL

Es la corriente entregada por el generador solar y básicamente depende de la radiación captada por el panel. Su unidad de medida es Amperes (A).

3.2.3. TENSIÓN DE LA BATERÍA

Es la tensión entregada por la batería, generalmente una batería de 12 VDC a carga completa entrega 14 VDC, y descargada entrega una tensión de 11.5 VDC aproximadamente, es por ello que la tensión para carga de batería debe ser mayor a 14VDC. Su unidad de medida es Voltios (VDC).

3.2.4. CORRIENTE NOMINAL DE LA BATERÍA

Es la capacidad de corriente entregada por la batería, está determinada por la corriente de consumo de las cargas y el periodo necesario para mantenerlas alimentadas. Su unidad de medida es Amperes-hora (Ah).

3.2.5. CARGAS

Estas constan de todos los dispositivos que deben ser alimentados eléctricamente por el sistema fotovoltaico (lámparas, televisores, computadores, etc), que están determinados por su consumo para el cual su unidad de medida es el vatio-hora (Wh). El consumo generado por las cargas también puede expresarse en Amperios-Hora (Ah), cuando se requiere calcular la capacidad de la batería.

3.3. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Uno de los equipos más costosos de un sistema fotovoltaico es el inversor DC – AC, que es el encargado de tomar la tensión entregada por el panel con una corriente DC y transformarla a una tensión de 110V con corriente AC. Aunque con el pasar del tiempo y los avances tecnológicos, los equipos que conforman un sistema fotovoltaico han venido disminuyendo sus costos con relación a años anteriores. Este proyecto buscó, además de cumplir con los objetivos planteados, realizar la evaluación de alternativas para reducción de costos en la implementación de este tipo de sistemas.

Es importante mencionar que actualmente los bombillos fluorescentes al igual que otros equipos como refrigeradores, lámparas, ventiladores, cargadores, radios y televisores ya se encuentran comercialmente para ser alimentados directamente con DC. (Atmospher Ltda, 2013) (Alta Ingenieria, 2012) (TUSWITCH, 2013). Se decide orientar este proyecto en la iluminación de una vivienda, utilizando bombillos fluorescentes que operan a 12 V DC. Lo que permite eliminar la etapa inversora del sistema fotovoltaico generando así una disminución en los costos de su implementación.

3.3.1. ESTIMACIÓN DE LAS CARGAS A ALIMENTAR

En la Tabla 1 se muestran los datos de las cargas a alimentar por el sistema fotovoltaico, de las cuales se estima su potencia promedio, la potencia total demandada y el consumo eléctrico diario aproximado, calculado con base a una estimación de las horas de uso promedio de cada una de las luminarias.

Cantidad	Carga	W	W Totales	Horas de uso - día	Consumo diario
8	Bombillos	7 W	56 W	6 h	336 Wh/día
1	Radio	20 W	20 W	4 h	80 Wh/día
Total					416 Wh/día

Tabla 1. Cargas del Sistema Fotovoltaico

3.3.2. DIMENSIONAMIENTO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

Conociendo que el consumo total para cubrir 8 Luminarias de 7W y 1 Radio u otro dispositivo con consumo aproximado de 20W, es de 416 Wh/día, según las horas de uso diario indicadas en la Tabla 1, se procede a realizar el cálculo de la corriente que se debe generar y la capacidad de almacenamiento apropiada (Tabla 2).

Cálculo de la corriente requerida		
A1	Carga total diaria	416 Wh/día
A2	Tensión CD del sistema (generalmente 12 ó 24 V)	12 Voltios
A3	Carga diaria corriente (A1/A2)	35 Ah
A4	Multiplicar con el factor de seguridad 20% (para compensar las pérdidas en la batería y otros componentes)	1,2
A5	Carga diaria corriente corregida (A4*A3)	42 Ah
A6	Promedio de horas de sol por día.	6
A7	Amperaje que el sistema tendrá que producir (A5/A6)	7 A
Cálculo del número de paneles		
B1	Amperaje máximo del módulo solar seleccionado (según especificaciones del fabricante)	8 A
B2	Número de módulos que se necesita	1
Cálculo del número de baterías		
C1	Carga total diaria (A5)	42 Ah
C2	Días de reserva (este es el tiempo que el sistema tiene que estar funcionando sin sol)	2
C3	Capacidad nominal del banco de baterías (C1*C2)	84 Ah
C4	Factor de profundidad de descarga (generalmente 80%, significa que siempre se deja un 20% de reserva en las baterías)	0.8
C5	Capacidad corregida del banco de baterías (C3/C4)	105 A
C6	Capacidad nominal de batería (según especificaciones del fabricante)	110 A
C7	Número de baterías (C5/C6)	1

Tabla 2. Cálculo de capacidad de Generación

3.3.3 DISEÑO DEL PROTOTIPO

Según los cálculos realizados en las anteriores tablas, se determina que los equipos deben cumplir con las características descritas en la Tabla 3.

Cantidad	Equipo	Características
1	Panel Fotovoltaico	12 V / 110 W
1	Batería Ciclo Profundo	12 V / 110 A
1	Regulador de Carga	12 V / 8 A
1	Sistema electrónico de transferencia	- Evaluación Nivel Batería - Supervisión Corriente Panel - Control/Selección de Fuente - Alerta/Alarmas

Tabla 3. Equipos del Sistema Fotovoltaico

Buscando cubrir las necesidades de este sistema y tomando como referencia los cálculos realizados, se plantea la implementación de un sistema de alimentación eléctrica en corriente directa (SAED), (ver Figura 2) con la siguiente topología:

- 1 Panel solar 12V 130W
- 1 Regulador de carga 10A
- 1 Batería 12V 110A
- 1 Transferencia eléctrica
- 1 Etapa de rectificación 110VAC - 12VDC 8A
- 8 Bombillos fluorescentes 12V 7W

Este sistema para efectos de validación de funcionamiento y herramienta educativa, se instala en un laboratorio de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de San Buenaventura. Para la implementación del sistema fotovoltaico en una vivienda se debe realizar el dimensionado correspondiente, analizando las cargas a cubrir y los requerimientos de obra civil para su implementación.

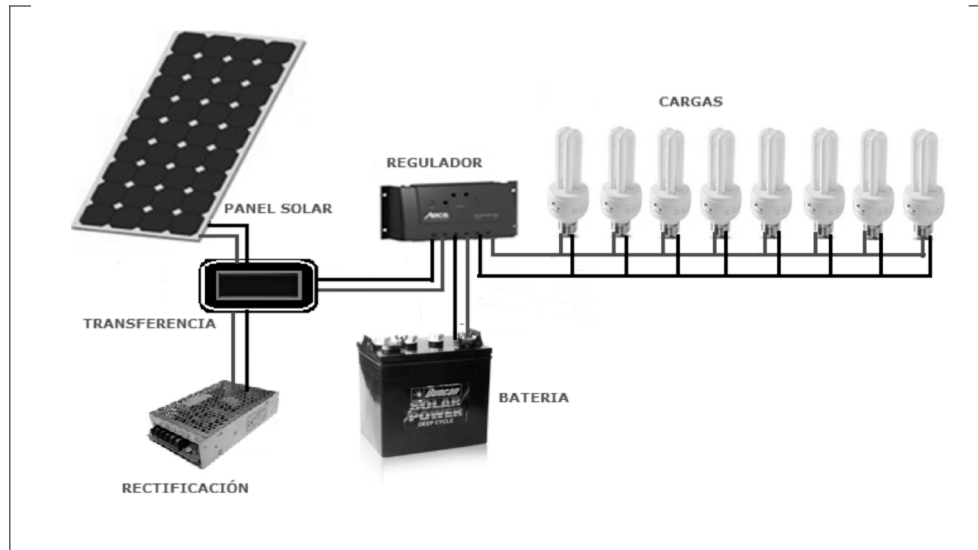


Figura 2. Topología del Sistema Fotovoltaico implementado (SAED).

3.3.3.1. TRANSFERENCIA ELÉCTRICA AUTOMÁTICA (TEA)

El sistema se desarrolló en un procesador ATMEGA 32, utilizando programación basada en una estructura de Tareas y corriendo sobre un sistema operativo para Sistemas Embebidos “FreeRTOS”.

El sistema verifica permanentemente el estado del panel solar (medición de corriente), mediante una entrada analógica, en caso de presentarse fallas en este suministro, ya sea por poca radiación solar o fallas en el panel, el sistema debe evaluar si la batería requiere ser cargada. Si es así, debe habilitar la conexión de la red eléctrica y evaluar su estado, en caso de estar disponible, el sistema habilita la alimentación mediante la red eléctrica. Si la falla en el panel se genera y la batería aún se encuentra cargada en un nivel alto, el sistema genera una alerta ver Figura 3.

La habilitación de la conexión de la red eléctrica consiste en activar un relé que mecánicamente realiza la conexión eléctrica de la etapa de rectificación, con el fin de evitar consumos de la red eléctrica mientras no sea necesario el uso del sistema rectificador.

Adicionalmente el sistema evalúa la tensión en la batería (mediante otro canal del ADC) para determinar su porcentaje de carga. También, un visualizador LCD le

informa al usuario la fuente de alimentación con que se está trabajando el sistema eléctrico y el estado de carga de la batería.

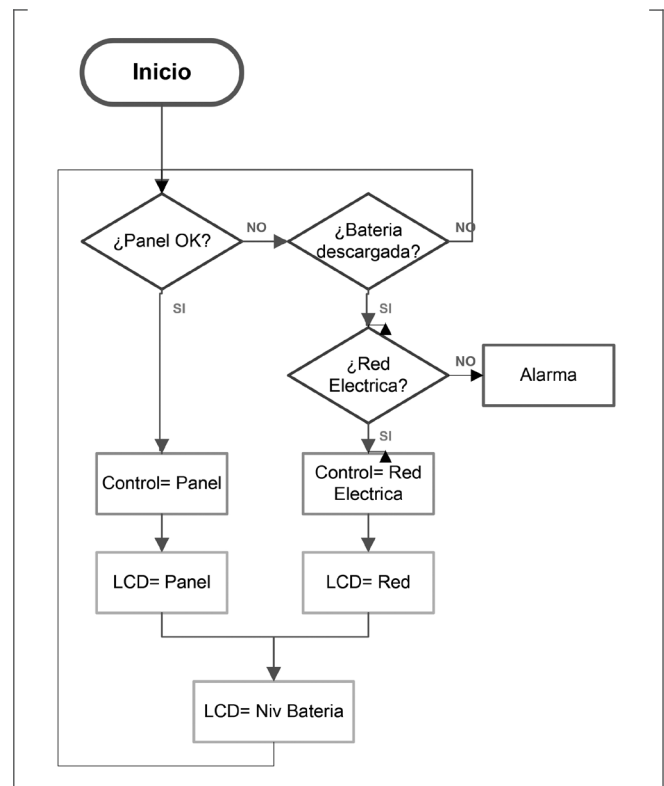


Figura 3. Diagrama de flujo de TEA

En cuanto a las alarmas, el sistema genera una señal auditiva en caso de identificar que no hay suministro de corriente tanto del panel como de la red eléctrica, lo cual permitirá al usuario desconectar cargas o tomar otras acciones que permitan un mayor tiempo de duración de la carga que posee la batería.

Tanto para la señal de alerta como de alarma, se cuenta con un indicador visual (LED) y un indicador auditivo (Zumbador). En cuanto a la señal auditiva, esta puede ser identificada y silenciada mediante un pulsador, lo

que permitirá suprimir el sonido de estas señales, pero manteniendo la indicación visual.

En la Figura 4 se muestra el esquema circuital que conforma el TEA. Se observa el procesador, el sensor, los periféricos, el regulador de tensión y los relés que permiten la entrada de las fuentes de alimentación, panel o red pública.

En la Figura 5 se muestran los diferentes mensajes que el usuario del TEA puede percibir durante la operación normal del sistema.

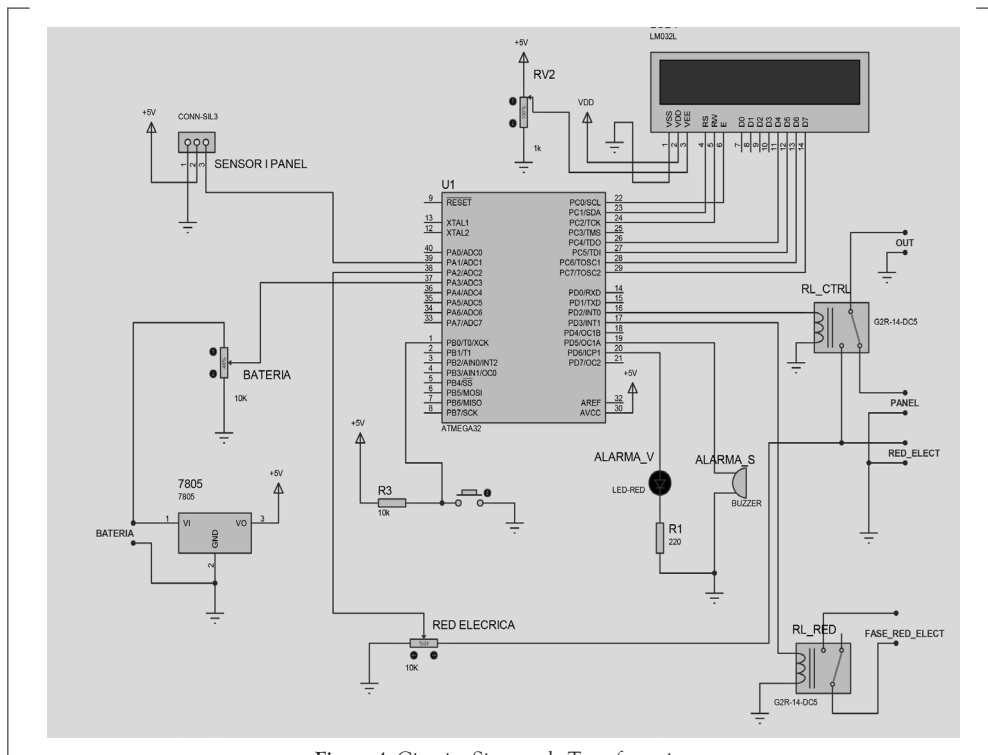


Figura 4. Circuito Sistema de Transferencia.

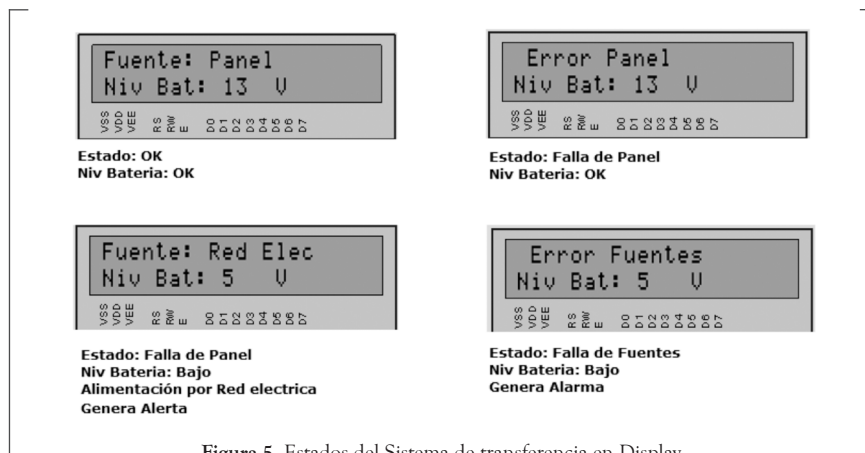


Figura 5. Estados del Sistema de transferencia en Display.

3.3.3.2. ELEMENTO SENSOR

El dispositivo principal de este sistema es un sensor de corriente que permite determinar el estado del Panel Solar mediante la medición de corriente que este genera. El sensor se encuentra ensamblado en una tarjeta electrónica junto a un juego de condensadores que forman un filtro y un oscilador. El Circuito Integrado (figura 6) permite una medición de Corrientes entre -20 y 20 Amperios, entregando una salida de tensión proporcional entre 0.5 y 4.5 VDC con VCC= 5V.

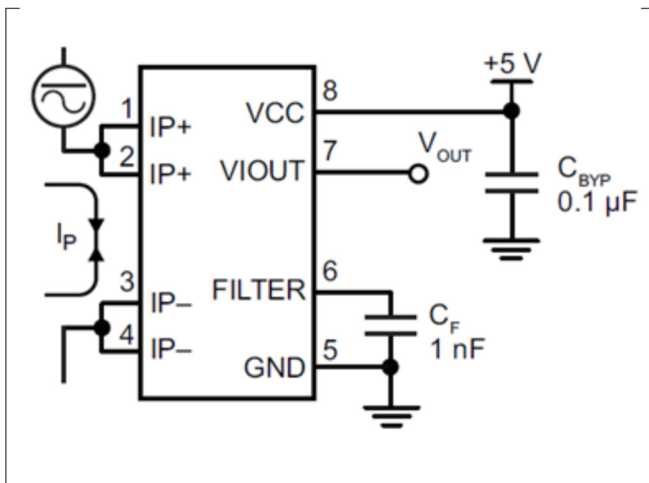


Figura 6. IC Sensor Fuente. (Allegro MicroSystems)

3.3.3.3. REGULADOR DE CARGA SOLAR

Se evaluaron diferentes reguladores y se realizaron pruebas técnicas. Se decide trabajar en este proyecto con un regulador de 12V y corriente 10A, que ofrece diferentes protecciones de manera integrada, evitando así el diseño e inversión en etapas individuales adicionales de protección para cada uno de los dispositivos conectados al sistema fotovoltaico. (Colegio Humboldt Alemania, 2009) (SUNSET, 2006). Entre las funciones ofrecidas se destacan:

- Protección contra sobrecarga
- Protección contra descarga total
- Protección contra polaridad inversa de los módulos, la carga y la batería
- Fusible electrónico automático
- Protección contra cortocircuito de la carga y los módulos solares
- Protección contra sobretensión en la entrada del módulo

- Protección contra corriente inversa por la noche
- Desconexión por sobretensión en la batería

3.3.3.4. PANEL SOLAR

Entre las diferentes opciones de paneles solares existentes en el mercado, se optó por uno del tipo monocristalino, cubierto por una superficie en vidrio, que permite una máxima transmisión de luz y una resistencia a golpes de hasta 5 pie-libra. Además, posee una caja de conexiones resistente a condiciones de humedad, con conectores eléctricos especiales para factores de climas húmedos, donde incluye dos diodos de bypass para asegurar una operación confiable. El fabricante garantiza una vida útil superior a 30 años conservando una potencia de salida hasta del 80%.

3.3.3.5. BATERÍA

Es una batería de 12V, 160Ah y ciclo profundo³. Tiene conectores tipo automotriz, sistema caja-tapa termosellado y fabricado en polipropileno de alto impacto, Tapones con dispositivo antinflama y Separadores de fibra de vidrio.

3.3.3.6. DISPOSITIVO DE RECTIFICACIÓN

Se evaluaron las condiciones para el diseño y ejecución de un sistema de rectificación para casos de falla en el panel, encontrando que el costo es mucho más alto quea compra de un equipo de iguales condiciones. Por tal motivo se decide trabajar con una fuente regulada con una tensión de salida de 14 VDC y una corriente de 8.5A. Las especificaciones técnicas de este dispositivo se encuentran en la Tabla 4.

Referencia	Entrada	Salida
NES-100-12	110 VAC / 2.5 A	12 VDC / 8.5 A
Ruido (máx.)	120 mVp-p	
Protecciones	* Cortocircuito * Sobrecarga 110 - 150 % * Sobretensión 14,2 16,2 V	
Tolerancia de voltaje	+/- 1%	
Eficiencia	92%	

Tabla 4. Datos Técnicos Dispositivo de Rectificación

3.3.3.7. BOMBILLAS

Para verificar el funcionamiento del SAED se utilizan bombillas fluorescentes a 12V DC, de la empresa Phocos, que proporcionan buenos niveles de iluminación con un bajo consumo de energía. Estos bombillos cuentan con una protección de sobrecalentamiento y están diseñados para socket estándar de iluminación E27. En la Figura 7 se muestra una foto de la bombilla utilizada para realizar las pruebas de operación y en la Tabla 5 se detalla las especificaciones técnicas de la misma.



Figura 7. bombilla PHOCOS CLD12.

Tipo	CLD 1207W
Rango de Voltaje	11 - 15 V
Potencia Nominal	7 W
Corriente Nominal	560 mA
Intensidad de Iluminación	380 lm
Vida Útil	> 8.000 horas

Tabla 5. Características Técnicas Luminaria PHOCOS CLD12.

Fuente: (PHOCOS AG)

4. Resultados

4.1. OPERACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSFERENCIA ELÉCTRICA

Para validación del sistema de transferencia se realizaron pruebas de activación simulando los niveles de Corriente del panel y niveles de tensión de batería y del circuito de rectificación. A continuación se detallan dichas pruebas, las cuales arrojaron resultados satisfactorios.

- Se realizó el corte de alimentación del Panel mientras la batería se encontraba cargada y como resultado, el sistema indica mediante el display que hay una falla de Panel y activa una alerta auditiva y visual, la cual fue reconocida y silenciada mediante el respectivo pulsador.
- Se realizó el corte de alimentación del Panel mientras la batería se encontraba descargada y el resultado fue la activación del relé de habilitación del dispositivo de rectificación y la carga de la batería mediante este dispositivo. Adicionalmente se genera una alerta auditiva y visual, la cual fue reconocida y silenciada mediante el respectivo pulsador.
- Se realizó la reconexión de alimentación mediante Panel y la del dispositivo de rectificación, mientras la batería mantenía descargada y el sistema realiza alimentación mediante Panel e indica este estado en el display.
- Se realizó el corte de alimentación del Panel y del dispositivo de rectificación, mientras la batería se encontraba descargada y el resultado fue una indicación mediante display de falla de fuentes y una alarma auditiva y visual, la cual fue reconocida y silenciada mediante el respectivo pulsador.
- Mientras la tensión de Panel se encontraba conectada y con el nivel de suministro de corriente adecuado (Superior a 5A), el sistema indica mediante display "Estado OK" e indica el nivel de tensión de la batería.

En la Tabla 6 (Ver p. 246) se pueden observar los estados de control del sistema de transferencia.

4.2. PRUEBAS OPERACIONALES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Como se mencionó anteriormente, se realizaron pruebas con resultados satisfactorios a cada uno de los equipos que componen el sistema fotovoltaico, posteriormente se procedió a realizar una serie de pruebas operacionales a todo el sistema fotovoltaico interconectado.

Estas pruebas fueron realizadas con el fin de determinar las condiciones de operación del prototipo desarrollado,

Entrada Panel (ADC1)	Entrada Rectificador (ADC2)	Entrada Batería (ADC3)	Relé Control de Alimentación		Tensión de Salida	Relé Habilitación Rectificador	Señal Alarma
			Panel	Rectificador			
ADC1 > 5 A	-	ADC3 > 5 V	ON	OFF	Panel	OFF	OFF
ADC1 > 5 A	-	ADC3 < 5 V	ON	OFF	Panel	OFF	OFF
ADC1 < 5 A	-	ADC3 > 5 V	ON	OFF	Panel	OFF	Alerta
ADC1 < 5 A	ADC2 > 5 V	ADC3 < 5 V	OFF	ON	Rectificador	ON	Alerta
ADC1 < 5 A	ADC2 < 5 V	ADC3 < 5 V	ON	OFF	-	ON	Alarma

Tabla 6. Estados de Control Sistema de Transferencia.

evaluando los tiempos de carga y descarga, duración de la batería, control por parte del sistema de transferencia, protecciones, entre otras, que permitieron validar el correcto funcionamiento.

El sistema se interconecta y se pone en funcionamiento con 8 luminarias con las características técnicas descritas en el capítulo anterior, obteniendo como resultado los tiempos de duración de la batería para alimentación de estas cargas que se exponen en la Tabla 7.

Luminarias Encendidas	Consumo de Corriente	Duración de Batería (Aprox.)
8	4,72 Ah	30 Horas
6	3,56 Ah	45 Horas
4	2,35 Ah	58 Horas

Tabla 7. Prueba operacional tiempo de descarga de batería.

En la Tabla 7 se puede observar que la batería a carga completa, tiene una capacidad para mantener encendida la iluminación completa (8 Luminarias) por aproximadamente 30 horas, parcialmente (6 Luminarias) por 40 horas o con carga mínima (4 Luminarias) por 58 Horas.

De lo anterior se puede determinar que el resultado en cuanto a la duración de la batería a carga completa, en caso de presentarse fallas en los sistemas de carga (Panel – Red Eléctrica), según las condiciones de diseño (8 luminarias con usos de aprox. 6 horas/día), es muy

satisfactorio ya que el sistema se mantendría en correcto funcionamiento por aproximadamente 5 días.

En cuanto a los tiempos de carga de la batería utilizando el panel solar, se obtuvieron como resultados tiempos entre 28 y 52 horas con variaciones de corriente del Panel de 5A - 7.2 A, considerando que la eficiencia de carga se ve reducida por las pérdidas generadas por variaciones en la intensidad de radiación solar y los horarios de no radiación.

Durante la operación del sistema se realizaron pruebas de funcionamiento del sistema regulador y del sistema de transferencia, realizando conexiones con polaridad invertida, cortocircuitos, sobretensiones en el sistema de carga, supresiones de las fuentes de alimentación, las cuales generaron respuestas positivas por parte de los sistemas de protección y regulación.

El sistema de transferencia diseñado presenta: un correcto funcionamiento del control de selección de la fuente de alimentación, la indicación de funcionamiento a través del display de los estados del sistema, y la indicación luminaria y sonora de los estados de falla y alarma.

5. Conclusiones

- Colombia es un país que cuenta con el privilegio de tener una geografía característica que brinda la disponibilidad de diferentes tipos de energía alternativa. Como se presentó en este proyecto, la principal tarea para la utilización de estos recursos

consiste en la evaluación de la disponibilidad de estas energías según las condiciones geográficas, lo que permite llevar a la elección de una de ellas y dar comienzo al aprovechamiento de estos recursos que son de accesibilidad gratuita.

- En el Valle del Cauca se cuenta principalmente y con mayores beneficios con dos tipos de energías alternativas, que son la energía eólica y la solar, quizás las más importantes y con más implementaciones dentro de los desarrollos realizados a nivel mundial. Pero para este caso se decide trabajar con la energía solar, ya que la energía eólica requiere unos periodos de mantenimiento con mayor frecuencia, se presentan desgastes en sus piezas mecánicas, afecta el ecosistema en su ambiente biótico directamente a las aves y en el ambiente abiótico se ve afectado por la inconsistencia en las corrientes de viento.
- Para desarrollar este proyecto se plantearon una serie de objetivos que encaminaron el correcto desenlace, tanto en organización como puesta en marcha y operación de un sistema fotovoltaico, encontrando en este camino la necesidad de cubrir otros aspectos no considerados en la problemática que dio vida al proyecto, como lo fue la necesidad de reducir costos en la implementación de este tipo de sistemas, lo cual permitió el planteamiento de otro objetivo encaminado a este requerimiento, el cual se cumplió satisfactoriamente al plantear una estructura de sistema fotovoltaico muy diferente a la estructura convencional, suprimiendo etapas y trabajando con otras tecnologías (luminarias), que brindan el mismo servicio, beneficio y menor costo de implementación.
- El desarrollo de este proyecto se plantea como una subetapa de la electrificación de una vivienda mediante el uso de una fuente de energía alternativa, buscando disminuir los costos pagados por este recurso para la iluminación y la alimentación de uno o dos electrodomésticos. Se presenta como una buena opción de migración a estos sistemas, al brindar un mayor acceso gracias a la posibilidad de una inversión económica por etapas, el cual no se ve afectado mientras se realice un correcto diseño y dimensionamiento.
- En todo el documento se ha mencionado la importancia de buscar una independencia de las fuentes de energía convencionales y además, la

utilización de recursos gratuitos para la generación propia del recurso energético, para la iluminación de una vivienda o de un laboratorio de Energías Alternativas como fue el caso de implementación de este proyecto; por lo cual puede surgir la duda de por qué se utiliza un sistema de transferencia en donde una de las fuentes de alimentación es la red eléctrica, a lo cual damos como respuesta que este recurso posiblemente no se utilice nunca, ya que será activado únicamente cuando el sistema presente fallas que no puedan ser solucionadas durante el tiempo de reserva de la batería, situación que tiene muy poca probabilidad de ocurrencia según las investigaciones realizadas, pero a pesar de esto, se buscó cubrir un aspecto de seguridad en la operación del sistema permitiendo que en momento de presentarse alguna falla de la fuente de alimentación primaria (Panel Solar), el usuario no se vea afectado y pueda seguir utilizando el sistema mientras esta sea corregida.

- Aunque por motivos externos al desarrollo de este proyecto, no fue posible la implementación del sistema fotovoltaico en la vivienda propuesta, se logró la implementación de este en el laboratorio de energías alternativas de la facultad de arquitectura de nuestra universidad, lo que permite comprobar su correcto funcionamiento y además se presenta como una adecuada herramienta para la interacción de los estudiantes con este tipo de sistemas.
- Este desarrollo permite también el planteamiento de un trabajo futuro, consistente en el dimensionado e implementación de un sistema fotovoltaico para cubrir las necesidades de suministro de energía eléctrica para una vivienda, contando con una base importantísima tanto con la parte teórica como con el prototipo desarrollado en este trabajo. ≡

NOTAS

1. Este artículo hace parte del trabajo de investigación desarrollado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Buenaventura-Cali, por el grupo de investigación Laboratorio de Electrónica Aplicada (LEA), que tiene por título: Construcción de un prototipo para una casa de carácter sostenible. Avalado por la Universidad de San Buenaventura-Cali, inició en 2012 y termina en 2014.
2. Su principal objetivo es desarrollar acciones que permitan, con ayuda del WEC (Comité Mundial de Energía), el estudio y ejecución de proyectos

encaminados principalmente al uso racional de los recursos energéticos en todos sus aspectos, promover el desarrollo energético sostenible, considerando los aspectos de producción, transporte, distribución, comercialización y utilización de la energía para conseguir un máximo beneficio general, tomando en consideración las tendencias mundiales en materia de regulación y la minimización de impactos sobre el medio ambiente.

3. Las baterías de ciclo profundo guardan energía de modo que las fuentes de la corriente eléctrica las recarguen por medio de los alternadores, paneles solares, molinos de viento, entre otros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALLEGRO MICROSYSTEMS [en línea]. Allegro in the Commonwealth of Massachusetts [USA]. [citado el 10 de 01 de 2013]. Disponible en el sitio Web: <<http://www.allegromicro.com/Products/Current-Sensor-ICs/Zero-To-Fifty-Amp-Integrated-Conductor-SensorICs.aspx>>.
2. ALTA INGENIERIA [en línea]. Electrodomesticos solares Colombia. [citado el 08 de 02 de 2013]. Disponible en el sitio Web: www.altaingenieriaxxi.com/index.php?option=com_content&view=article&id=9&Itemid=37>.
3. ARIAS NAVARRO, A. Casa Rural Sostenible. Proyecto final de Carrera de la especialización en electricidad. Barcelona. Universidad de Cataluña. 2009.
4. ATMOSPHER Ltda [en línea]. Electrodomesticos Solares. [citado el 08 de 02 de 2013]. Disponible en el sitio Web: <<http://atmosphertltda.com/sitio/neveras-y-congeladores-solares/>>.
5. BETANCUR, L. I. Energías Renovables: Marco Jurídico en Colombia. En: Perspectiva.No.2. (2009); p. 69-71.
6. COLEGIO HUMBOLDT ALEMANIA [en línea]. Techo Solar. [Citado el 29 de 01 de 2013]. disponible en el sitio Web: <http://www.exportinitiative.de/fileadmin/auslandsprojekte/solardachprogramm/Dokumente/Costa_Rica_Flyer_esp_01.pdf>.
7. DIAZ N. Hedier, y DIEZ C. Fabián. Analisis, Modelado, Simulación y Validacion de un sistema de generacion de energia solar autónomo. Trabajo de grado para Ingeniero Electricista. Universidad Autónoma. Facultad de Ingeniería. 2007. Cali. 121p. Disponible en el sitio Web: <<http://bdigital.uao.edu.co/handle/10614/322>>.
8. eRENOVABLE [en línea]. Historia de Energías Renovables. 2011. [citado el 19 de Enero de 2012]. Disponible en el sitio Web: <<http://erenovable.com/2011/04/11/historia-energia-renovable/>>.
9. JOFRA, M. Energía Solar Fotovoltaica. En: Energías renovables para todos. Fundación de Energía de la comunidad de Madrid. 2010. p.2-19
10. LÓPEZ, Yuri Ulianov. Análisis de recurso solar y eólico en Colombia: caso Valle del Cauca. En: El hombre y la máquina. No. 37(jul-dic 2011); p. 34-42.
11. MARKVART, T. Solar Electricity. En: West Sussex, Inglaterra: British Library. (2001); p. 51-65.
12. MCNELIS, Bernard. Renewable Energy Powered Water Services. En: International Energy Agency. Hampshire.(2007); p.1-4
13. MURCIA, H. R. Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus Perspectivas. En: Revista de Ingeniería. Universidad de los Andes. Bogotá. No.28 (2008); p. 83-89.
14. PHOCOS AG [en línea]. Phocos Electric. [citado el 12 de 06 de 2012]. Disponible en el sitio Web:< <http://www.phocos.com/products/cl-12-7-11w>>.
15. ROJO G. Carlos. Proyecto de instalaciones para el ahorro de energía y agua en una vivienda unifamiliar situada en Sant Gregori (Girona). Tesis de Grado en Ingeniería Eléctrica Industrial. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. 2010. p.146
16. SANCHEZ P. Carlos. Sistemas de Energía Solar Fotovoltaica Aplicados a Viviendas Residenciales en Entorno Urbano. Universidad Internacional de Andalucía. Andalucía. España. 2010. p.1-65. Disponible en el sitio Web: < <http://dspace.unia.es/handle/10334/503>>.
17. SCHEUERMANN, K. Just How Big Is a 2 kW Photovoltaic System? En: Home Energy. (Ene - Jun. de 2003); p. 24-29.
18. SUNSET [en línea]. Sunset Solar. [Citado el 29 de 01 de 2013], de Auslandsreferenzen - Internationale Schulprojekte. 2006. Disponible en el sitio Web:<<http://www.sunset-solar.de/index.php?lang=en/>>.
19. TUSWITCH [en línea]. Electro Solar. [Citado el 08 de 02 de 2013]. 2013. Disponible en el sitio Web: <<http://tuswitch.com/productos/10/Electrodom%C3%A9sticos-Solares>>.
20. UPME, & Energía, M. d [en línea]. Sistema de Información de Eficiencia Energética y Energías Alternativas. [Citado el 19 de 10 de 2011]. 2005. Disponible del sitio Web: <<http://www.si3ea.gov.co/>>.