



Sistema de Refrigeración Autónomo Alimentado con Energía Solar

Autonomous cooling system with Solar Energy

Jhorman J. Gutiérrez Valderrama

Ing. Electrónico. Facilitador e investigador Grupo CIDEINNOVA
jjgutierrezv@misena.edu.co

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
Regional Cundinamarca
Centro Industrial y de Desarrollo
Empresarial de Soacha
Tecnoacademia Cazucá

Oscar Daniel Colorado Yara María José Espinosa Ballesteros

Aprendices Electrónica Básica
Investigadores Grupo CIDEINNOVA



Resumen

Dentro de las fuentes de energías renovables, la energía solar fotovoltaica representa una alternativa a fuentes convencionales tales como la hidráulica o eólica, las cuales implican altos costos en los procesos de generación y distribución de la energía producida, sobrecosto por mantenimiento de las redes eléctricas y mayor impacto ambiental en todo el proceso. (Tobajas, 2012).

En ocasiones, los sistemas fotovoltaicos resultan poco eficientes debido a errores de cálculo en la potencia requerida y a una inapropiada selección de los elementos eléctricos que generan dicha potencia. Generalmente se trabaja con un porcentaje de potencia mayor al requerido por el sistema, considerando la variación existente en factores ambientales del sitio de operación, tales como Temperatura y Luminosidad. Este rango de potencia de seguridad, representa un sobrecosto que debe asumirse para garantizar el buen funcionamiento del sistema.

El presente trabajo de investigación plantea el diseño y construcción de un sistema de refrigeración autónomo y portátil dedicado a la preservación y aseguramiento de la cadena de frío en alimentos perecederos.

Para ello será diseñado un control de carga que monitorea de manera permanente el nivel de tensión y de corriente tanto en la batería como en los paneles. En el momento en que el nivel de energía que llega a la batería desde los paneles no es suficiente, automáticamente se conecta a la red comercial garantizando el correcto funcionamiento. Este

sistema permite trabajar con la potencia nominal requerida, lo cual evita exceso de potencia y por tanto una disminución en los costos.

Palabras Clave:

Panel solar, regulador de carga, eficiencia, potencia de consumo, inversor de corriente.

Abstract

Among the renewable energy sources, solar photovoltaic (PV) systems represent an alternative to conventional sources, such as hydro or wind which involve high costs in the processes of generation and distribution of energy produced, and also cost overrun for maintenance of electrical networks and a greater environmental impact throughout the process. (Tobajas, 2012).

Sometimes, Photovoltaic systems are inefficient because of miscalculations in the power required and improper selection of the electrical components that generate this power. Usually it is working with a higher percentage of the power required by the system, considering the existing variation in environmental factors in the operating place such as temperature and brightness. This range of safety power represents a cost overrun which must be assumed to ensure the proper functioning of the system.

This research raises the design and construction of a system of autonomous and portable cooling dedicated to the preservation and securing of the cold chain in perishable foods. It will be designed a load control which permanently monitors the level of voltage and current in both the battery and on the panels. By the time the energy level reaches the battery from the panels is not enough, it automatically connects to the commercial network guaranteeing the proper operation. This system allows to work with the rated power required avoiding excessive power and therefore a decrease in costs.

Keywords:

Solar panel, charge controller, efficiency, power consumption, power inverter.

Introducción

La sociedad industrial actual presenta una gran dependencia de las fuentes de energía: electricidad, petróleo, nuclear, gas natural, carbón, etc. Teniendo en cuenta que algunas de ellas (nuclear, petróleo, gas) se utilizan para la producción de energía eléctrica, no es absurdo decir que la energía eléctrica es la más importante de todas, por ser la más utilizada para el funcionamiento de los equipos electrónicos que se usan actualmente para aumentar el confort y la calidad de vida de la población. (Sales, 2011).

La energía solar, es decir la energía radiante del sol recibida en la tierra, es una fuente de energía con diversas ventajas sobre otras aunque para su aprovechamiento presenta también varias dificultades. Entre sus ventajas se destacan, principalmente, su naturaleza inagotable, renovable y su

utilización libre de polución. Pero, es necesario tener en cuenta su naturaleza intermitente, su variabilidad fuera del control del hombre y su baja densidad de potencia. (Rodríguez, 2009)

Es esta variabilidad fuera del control humano lo que ocasiona tener un rango de potencia de seguridad el cual genera costos adicionales, es por ello que el objetivo de la presente investigación en curso, es diseñar un sistema de refrigeración autónomo con un circuito de control que permita la conexión a la red de energía comercial con el fin de trabajar con potencias límite y así, garantizar el funcionamiento del refrigerador las 24 horas. Para el estudio se escogió un refrigerador promedio de 12 VDC con una Potencia de 75W, fue necesario la instalación de un conversor AC (Corriente análoga) – DC (Corriente Directa) dando la posibilidad de alimentar el refrigerador con cualquiera de las dos corrientes

dependiendo las señales de control que disparan un circuito de relees.

El cálculo del tipo de panel y potencia a utilizar se realizó inicialmente de manera tradicional teniendo en cuenta pérdidas de conexiones y pérdidas por rendimiento del inversor = 10%, Potencia total = Potencia instalada + potencia perdida en el conexionado y potencia de seguridad = 20% (Tobajas, 2012), factores que determinan un rango de potencia superior al nominal del refrigerador, esto para evitar fallas en el sistema debido a diferentes factores que influyen en la cantidad de energía suministrada por el panel, luego se hizo un re-cálculo dejando de lado estos porcentajes de seguridad, trabajando con las potencias al límite necesaria de funcionamiento y se hizo una comparación entre estos. Para el sistema de visualización de las tensiones de entrada y de batería se utilizó un LCD 16X2

conectada a un Arduino Mega, el cual, también hace el procesamiento de información e indica al sistema las señales de control que activan el funcionamiento del refrigerador con corriente AC.

1. Marco Teórico

1.1 Desarrollo de la energía fotovoltaica en Colombia

La generación de electricidad con energía solar empleando sistemas fotovoltaicos ha estado siempre dirigida al sector rural, en donde los altos costos de generación originados principalmente en el precio de los combustibles, y los costos de operación y mantenimiento en las distantes zonas remotas, hacen que la generación solar resulte más confiable y económica en el largo plazo.

Estas actividades surgieron con el programa de Telecomunicaciones Rurales de

Telecom a comienzos de los años 80 con la asistencia técnica de la Universidad Nacional. En este programa se instalaron pequeños generadores fotovoltaicos de 60 Wp (Wp: vatio pico) para radioteléfonos rurales, en 1983 habían instalados 2.950 de estos sistemas. El programa continuó instalándolos y pronto se escaló a sistemas de 3 a 4 kWp para las antenas satelitales terrenas. Muchas empresas comenzaron a colocar sistemas para sus servicios de telecomunicaciones y actualmente se emplean sistemas solares en repetidoras de microondas, boyas, estaciones remotas, bases militares, entre otras aplicaciones. Estos sistemas son hoy esenciales para las telecomunicaciones rurales del país. Según un estudio realizado, entre 1985 y 1994 se importaron 48.499 módulos solares para una potencia de 2.05 MWp [2]. De estos 21238 módulos con una potencia de 843.6 kW en proyectos de telecomunicaciones y 20829 módulos con 953.5 kWp en electrificación rural. El estudio

anterior también indicó, sobre una muestra de 248 sistemas (con 419 módulos), que 56% de los sistemas funcionaban sin problemas, 37% funcionaban con algunos problemas y 8% estaban fuera de servicio. Como principal fuente de problemas se encontraron la falta de mínimo mantenimiento, suministro de partes de reemplazo (reguladores y lámparas) y sistemas subdimensionados. (Rodríguez, 2009).

1.2 Regulador de fotovoltaico

La misión fundamental de un regulador es evitar las sobrecargas y descargas excesivas en los acumuladores, que producirían daños irreversibles, también asegura que el sistema trabaja con máxima eficacia. La tensión que nos proporcionan los módulos solares fotovoltaicos ha de ser siempre mayor que la tensión nominal de las baterías, debido a que:

- Con mayor temperatura, la tensión decrece.
- La tensión en la batería debe ser mayor para que ésta pueda ser cargada correctamente.

Para poder regular la carga y descarga de las baterías es necesaria la utilización de un regulador que como resultado de la simplicidad del equipo, reduce sustancialmente el mantenimiento y hace que las averías en el sistema fotovoltaico sean muy escasas.

Tipos de regulador

Esencialmente existen dos tipos de reguladores:

- Regulador shunt o paralelo.
- Regulador serie.

Aunque la misión de los dos es la misma, se diferencian en la forma de trabajo, en el funcionamiento y, por supuesto, en el precio. El regulador shunt se utiliza para instalaciones pequeñas, y el regulador serie

para instalaciones donde se aplican intensidades más elevadas. (Tobajas, 2015).

1.3 Niveles de Radiación

El sol es una fuente constante de energía, con una antigüedad de aproximadamente 6000 millones de años, se prevé que su vida solar de unos 5000 millones de años más. El sol es una fuente de vida, que durante este tiempo nos ha surtido de energía solar radiante. La radiación solar no es uniforme en toda la tierra y varía según la región, por ejemplo, en Europa la radiación solar oscila bastante entre la zona sur y la zona norte; la zona norte tiene una radiación entre 700 y 1.200 kWh/ (m² x año) y en la zona sur entre 1.700 y 1.900 kWh/(m² x año). En las regiones desérticas, cerca de los trópicos, la irradiación anual puede alcanzar un valor total de 2.300 kWh/(m² x año). Como norma se toma una radiación solar llamada Constante Solar, se denomina así a la energía que por unidad de tiempo se recibe

fuera de la atmósfera terrestre sobre la unidad de superficie perpendicular a la dirección de los rayos solares en su distancia media. El valor que se admite actualmente es una irradiación de 1.353 W/m^2 , que corresponde a un valor máximo en el perihelio de 1.395 W/m^2 y un valor mínimo en el afelio de 1.308 W/m^2 . (Tobajas, 2015).

2. Metodología e Implementación

Para el desarrollo de la investigación se trabajó con un refrigerador promedio de 12 VDC a 75 W, se calculó el número necesario de paneles y su potencia, trabajando sin márgenes de potencia de seguridad y con una Radiación promedio anual para la ciudad de Bogotá, en caso tal que la potencia de los paneles no sea la suficiente, el sistema automáticamente se conecta a la red comercial de energía AC, garantizando el funcionamiento del refrigerador por 24 horas.

Tabla 1. Consumo energético diario del refrigerador

Un.	Carga	Potencia (Watt)	Horas del funcionamiento al día	Total energía necesaria Wh	Total energía necesaria Wh + Margen de seguridad 20%
1	Refrigerador DC	75	24	1800	2160

2.1 Cálculo de potencia de paneles solares con margen de seguridad del 20% y una radiación de $3,20 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$

Normalmente, en los cálculos de sistemas fotovoltaicos se deben tener rangos de potencia mayores a los requeridos por el sistema a alimentar, esto debido a tener la certeza de que el sistema no va a presentar fallas en los meses donde la radiación solar es baja.

A continuación se muestran los cálculos que determinan el número de paneles necesarios para suplir 75W de consumo de un refrigerador promedio encendido 24 horas.

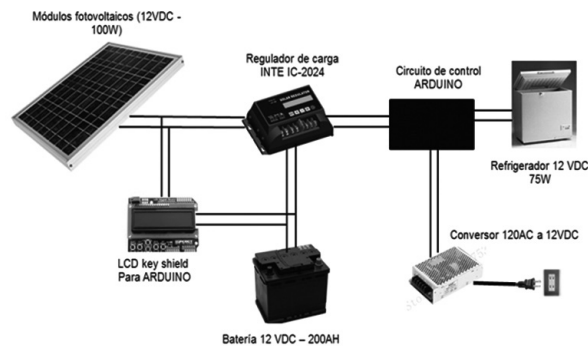


Figura 1. Diagrama general sistema

2.1.1 Consumo Medio Diario

$$Lmd = \frac{Lmd, DC}{Nbat * Rbat}$$

$$Lmd = \frac{2160}{1 * 0.95}$$

$$Lmd = 2273.26 \text{ Wh / día}$$

Siendo (Lmd) el consumo medio de energía diario, (Lmd, DC), el consumo medio de energía diario de las cargas en DC, (Nbat) el número de baterías a utilizar y (Rbat) el Porcentaje de rendimiento de la batería.

2.1.2 Radiación Wh/m2/día y energías diaria generada por cada panel

Los datos de radiación solar global en Bogotá arrojaron que el peor de los casos, se registra en el mes de diciembre con una radiación de 3.32Wh/m2/día, con los cuales se realizaron los cálculos de la energía diaria generada por cada panel que para esta investigación serán de 12 VDC con 100 W.

$$Ep = Pmpp * HPS * PR$$

$$Ep = 100 * 3.32 * 0.9$$

$$Ep = 298.8 \text{ Wdía}$$

Siendo, (Ep) Energías diaria generada por cada panel (Pmpp), potencia pico del módulo en condiciones estándar, (HPS) horas de sol pico de mes crítico (3.32 Wh/m²/día) para el mes de diciembre y (PR) el factor global de funcionamiento (90%).

2.1.3 Número total de módulos necesarios

$$Nt = \frac{Lmd}{Ep} = \frac{2273,68}{289.8}$$

$$Nt = 7.6 \approx 8 \text{ Paneles}$$

Siendo (Nt) número total de paneles necesarios, (Lmd) el consumo medio de energía diario y (Ep) energías diaria generada por cada panel.

2.2 Cálculo número de paneles sin margen del 20% de seguridad y con una radiación promedio de los 12 meses del año

Para este cálculo se pretende bajar el número de paneles necesarios para el sistema, dejando de lado el 20% de margen de seguridad, un promedio de radiación anual y no la radiación, más baja del año, se trabajara con el 95% de rendimiento de baterías y un 90% como factor global de funcionamiento de los paneles.

Tabla 2. Datos para cálculo de número de paneles sin margen de seguridad y con una radiación promedio anual

Un.	Carga	Potencia (Watt)	Horas de funcionamiento al día	Total energía necesaria Wh	Radiación promedio anual para Bogotá Wh/m ² /día
1	Refrigerador DC	75	24	1800	4,445

2.3 Regulador de carga, batería y conversor

Con estos tres elementos (Regulador de carga, batería y conversor) se optó por no fabricarlos ni alterar su diseño, pero se escogieron bajo criterios técnicos que permitieran suplir las necesidades del sistema.

Tabla 3. Características de regulador de carga, batería y conversor AC-DC

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS
Regulador de carga	Regulador de carga fotovoltaico INTE IC-2024, múltiples entradas de paneles, 16 funciones diferentes de carga, conector para batería y salida 12 VDC regulada
Batería	Batería 12 VDC con una corriente de 200AH, suficiente para almacenar energía necesaria para el refrigerador
Conversor	Conversor de corriente 120 VAC con 60Hz a 12 VDC

2.4 Medidor de tensión y visualización

Debido a que la tarjeta Arduino mediante sus entradas análogas puede leer valores de tensión no superiores a 4 voltios, fue necesario hacer una tarjeta con divisores de tensión para tomar muestras de las mismas, ya con la medición de panel como de batería el circuito de control puede empezar a procesar información.

2.4.1 Diseño y Simulación

Se calculó un divisor de corriente con una entrada de 24 V como máxima en los paneles solares y una de 12 V en la batería, ambos divisores poniendo sobre la carga 4 VDC cuando se alcanzan estos rangos. La simulación y modelado 3D de la tarjeta se realizó en el Software ISIS Profesional y su aplicativo ARES.

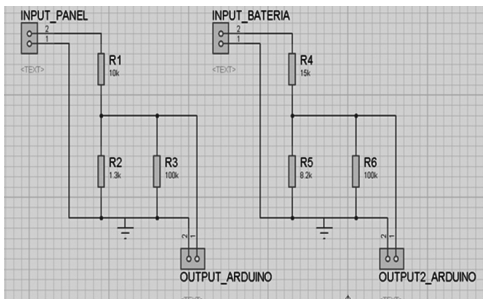


Figura 2. Simulación circuito medidor de tensión

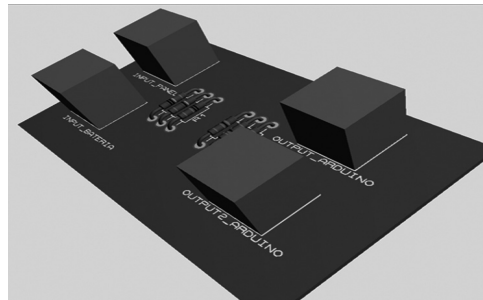


Figura 3. Modelo 3D del circuito impreso

2.4.2 Visualización

La visualización de estos voltajes medidos se hizo mediante el uso de un LCD 16x2 key shield y una tarjeta Arduino el cual trae la librería necesaria para hacerlo.

2.5 Tarjeta de control

Esta tarjeta está diseñada con dos relé los cuales dependiendo la señal de control que envía la tarjeta Arduino al testear las tensiones de batería y panel, permite que la nevera sea alimentada con la carga almacenada en la batería o si esta no es suficiente

se conecte automáticamente a la red comercial, garantizando el funcionamiento del refrigerador las 24 horas del día. La simulación y modelado 3D de la tarjeta se realizó en el Software ISIS Profesional y su aplicativo ARES.

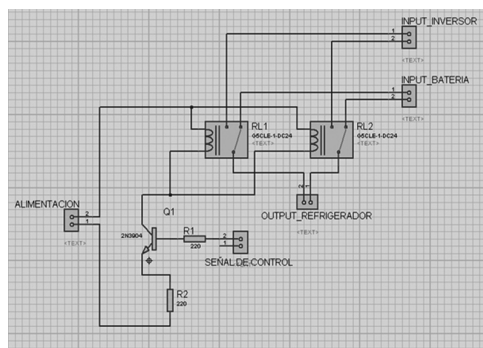


Figura 4. Simulación circuito de control

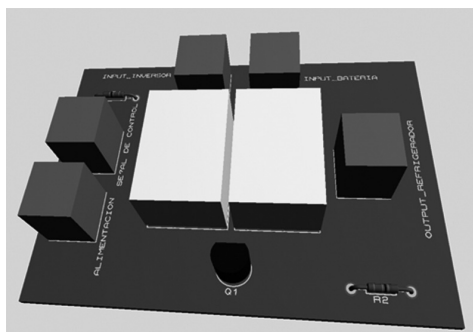


Figura 5. Modelo 3D del circuito de control impreso

Se realizó medición de tensiones durante un mes, para comprobar que porcentaje de tiempo el sistema era alimentado por los paneles solares y cuanto por la red comercial, arrojando el siguiente resultado.

Sistema de Alimentación	Horas a la Semana	Porcentaje
Sistema fotovoltaico	158	94.047%
Red comercial AC	10	5.952%

2. Resultados y Análisis

El número necesario de paneles para suplir la potencia requerida por el sistema, haciendo el cálculo con un 20% de potencia de seguridad y una radiación de 3.23 Wh/m²/día sería de 8 paneles de 100W a 12 VDC, mientras que si se calcula con Índice de Radiación Promedio Anual (4.445 Wh/m²/día) y sin margen de potencia de seguridad, es de cinco paneles, mostrando una diferencia significativa de paneles lo que representa costos para el usuario.

Como se observa en la Tabla 4, el 94.047% del sistema estuvo alimentando el sistema fotovoltaico y tan solo un 5.952% de la red comercial, esto debido a que las condiciones de radiación para el mes en que se realizó la prueba, están bajo el promedio con el que se hizo el cálculo del sistema.

El sistema de control está inicialmente basado en la tarjeta Arduino que resulta costosa a comparación de otros microcontroladores, pero permite la facilidad de emigrar a

otros sistemas, debido a que la programación es en lenguaje C, similar al usado por PIC o atmega por ejemplo.

Los elementos electrónicos necesarios para hacer la etapa de potencia del circuito de control y el divisor de tensiones para visualización y lectura son de bajo costo y consumo.

4. Conclusiones

Un sistema de refrigeración autónomo alimentado por paneles solares que trabaje con potencias justas y que tenga la capacidad de conectarse a la red comercial en caso de no ser suficiente la fotovoltaica, resulta más eficiente que los sistemas fotovoltaicos tradicionales con un rango de potencia de seguridad igual o superior al 20%.

Con un sistema como el presentado en esta investigación, no necesariamente se deben calcular el número y potencia

de paneles con la radiación más baja del año, si no que se pueden hacer con el promedio anual, lo cual contribuye a disminuir la potencia requerida por parte del sistema en los cálculos.

Debido a que el control y visualización están programados en lenguaje de programación C, es posible emigrar este control y visualización a un microcontrolador PIC lo cual disminuirá el costo de estos dos sistemas.

Es necesario seguir estudiando el tiempo en el que el refrigerador funciona con el sistema fotovoltaico versus tiempo que está conectado a la red comercial AC, debido a que el estudio solo se hizo en un mes específico del año, con un rango de radiación específico y es necesario hacer el estudio en un año para tener la total certeza que el sistema es más eficiente que un sistema fotovoltaico convencional.

Bibliografía

Tobajas, Manuel Carlos. Instalaciones solares fotovoltaicas. España: Cano Pina, 2012. ProQuestebruary. Web. 3 July 2015. Copyright © 2012. Cano Pina. All rights reserved.

Rodríguez Murcia, Humberto. Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. Colombia: B - Universidad de Los Andes Colombia, 2009. ProQuestebruary. Web. 3 July 2015. Copyright © 2009. B - Universidad de los Andes Colombia. All rights reserved.

Gimeno Sales, Francisco J., Seguí Chilet, Salvador, and Orts

Grau, Salvador. Convertidores electrónicos: energía solar fotovoltaica, aplicaciones y diseño. España: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2011. ProQuestebruary. Web. 3 July 2015.

Copyright © 2011. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. All rights reserved.

Innovación y Cualificación, S.L. Guía para el docente y solucionarios: montaje y mantenimiento de instalaciones solares fotovoltaicas. España: IC Editorial, 2012. ProQuestebruary. Web. 3 July 2015. Copyright © 2012. IC Editorial. All rights reserved.

Elías Castells, Xavier. Energías renovables. España: Ediciones Díaz de Santos, 2012. ProQuestebruary. Web. 3 July 2015. Copyright © 2012. Ediciones Díaz de Santos. All rights reserved.