



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA

TECNOLOGÍA SUPERIOR EN ELECTROMECAÁNICA

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE TEJADOS
FOTOVOLTAICOS PARA DISMINUIR EL CONSUMO DE ENERGÍA
SUMINISTRADA POR LA EMPRESA ELÉCTRICA MEDIANTE
DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS ELECTRÓNICOS Y MECÁNICOS.

Autor: Chicaiza Jami, Christian Santiago

Tutor: Ing. Lara Jácome, Oscar Rodrigo

Latacunga, febrero del
2023





Agenda

- ✓ Justificación
- ✓ Objetivos
- ✓ Desarrollo
- ✓ Implementación
- ✓ Ensamblaje
- ✓ Análisis y Resultados
- ✓ Conclusiones
- ✓ Recomendaciones





JUSTIFICACIÓN

La importancia de los sistemas fotovoltaicos está, en la fortaleza que posee el país en la radiación solar que recibe al encontrarse en la zona ecuatorial del planeta, permitiendo que alcance un potencial en la generación de energía durante las horas de mayor actividad solar al medio día. Este prototipo puede ser usado como modelo de referencia a futuras implementaciones de sistemas fotovoltaicos y futuras investigaciones de energías renovables, así como también a ayudar en el ahorro energético de residencias.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Los habitantes de una vivienda promedio serían beneficiados a largo plazo pues se lograría generar un ahorro en la facturación del consumo eléctrico, así como reducir el impacto negativo al medio ambiente por el uso de recursos no renovables para la obtención de energía como la quema de combustibles fósiles.





OBJETIVOS

Objetivo General

Implementar un prototipo de tejados fotovoltaicos para disminuir el consumo de energía suministrada por la empresa eléctrica mediante dispositivos eléctricos electrónicos y mecánicos.





Objetivos Específicos

Investigar sobre los sistemas fotovoltaicos

Seleccionar los elementos necesarios para la implementación del prototipo del sistema fotovoltaico

Realizar la construcción del sistema fotovoltaico.

Realizar pruebas de funcionamiento del prototipo para verificar que el trabajo sea el deseado.



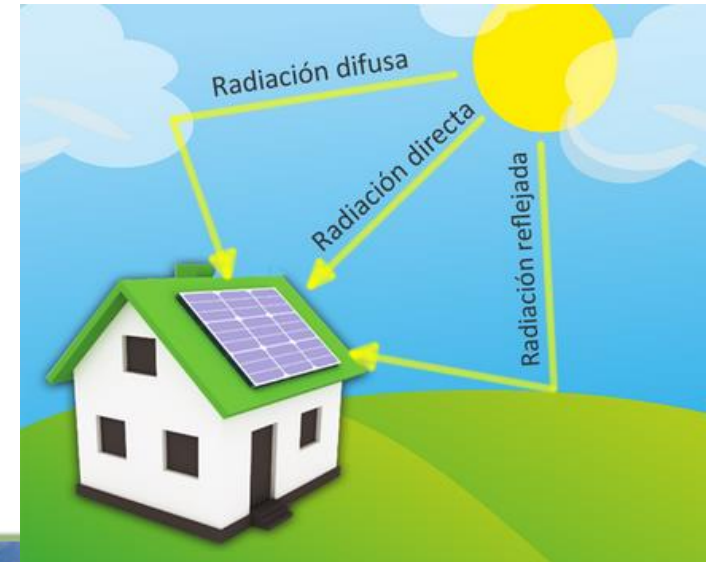


Energía solar

La energía solar es aquella que proviene del sol y llega a la tierra en forma de radiación electromagnética como luz, rayos ultravioletas y calor principalmente las cual ha sido generada a través de la fusión nuclear generada en el sol, para el aprovechamiento de esta energía se emplea dos formas: por conversión fotovoltaica (Sistemas fotovoltaicos) y por conversión térmica de alta temperatura

Tipos de radiación

- Radiación directa
- Radiación difusa o indirecta
- Radiación reflejada o albedo





Elementos de un sistema fotovoltaico

Paneles Solares

Están formados por muchas celdas solares las cuales son células hechas de silicio cristalino y/o arseniuro de galio materiales semiconductores que poseen la capacidad de comportarse como conductores.



Regulador de carga

Es el aparato encargado de balancear la carga y descarga del banco de baterías además de proteger en caso de sobrecargas y de descargas, esta monitorea constantemente la tensión de la batería o el banco de baterías





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

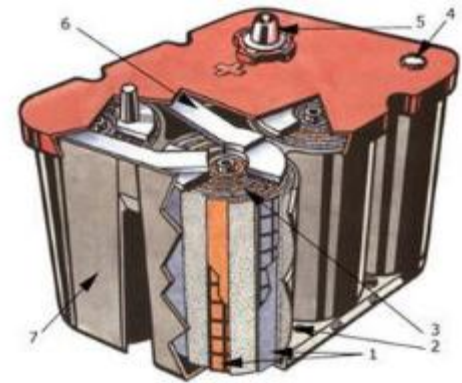
Inversor

Es un aparato convertidor de voltaje que transforma la corriente continua suministrada por los paneles en corriente alterna para el uso de la vivienda



Batería

Las baterías se encargan de mantener una energía constante en el sistema pese a que los paneles solo captan la energía a intervalos estas son acumuladores de energía mientras el sistema está en sus picos de producción de energía,

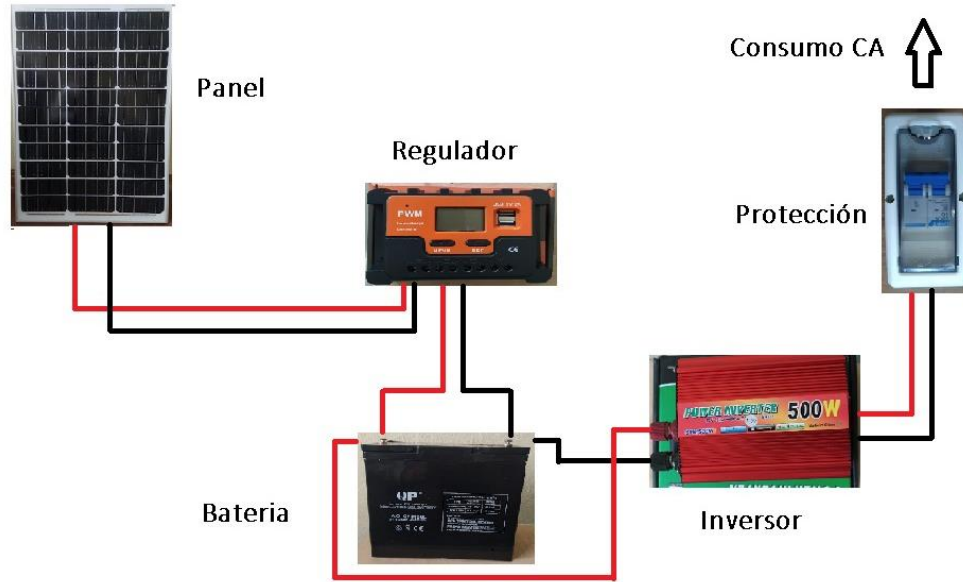




ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ESQUEMA DE CONEXIÓN



Implementación

Elementos eléctricos

Panel solar



| Descripción | Unidad |
|-----------------------------|---------|
| Potencia máxima | 50 W |
| Voltaje de operación | 17.6 V |
| Corriente de operación | 2.86 A |
| Tensión en circuito abierto | 21 V |
| Corriente en corto | 3.2 A |
| Vida útil | 25 años |

Batería



| Descripción | Unidad |
|------------------|---------------|
| Corriente máxima | 15 A |
| Ciclo de uso | 14.4 – 14.7 V |
| En descarga | 13.5 – 13.8 V |

Protección



$$I = \frac{500W}{110V} = 4.54 A$$



Cables para conexión



$$S = \frac{2L * I_{cc}}{\Delta V\% * k}$$

Donde:

L : longitud del cableado

I_{cc} : Corriente máxima que va a circular por el cableado

$\Delta V\%$: Caída de tensión para el panel-regulador se recomienda 3 %

k : Conductibilidad del cable eléctrico, en este caso vamos a elegir el cobre con una conductividad de 56 m/(\(\Omega \cdot mm^2\))

$$S = \frac{2 * 5 * 3.2}{0.36 * 56} = 1.58 \text{ mm}^2$$

Siempre es recomendable escoger una sección de cable superior en este caso sería de

2.5mm² según tablas el cual es equivalente al conductor AWG#14.

| Número AWG | Diámetro (mm) | Sección (mm ²) | Numero de espiras por cm | Kg. por Km. | Resistencia (O/Km) | Capacidad (A) |
|------------|---------------|----------------------------|--------------------------|-------------|--------------------|---------------|
| 0000 | 11.86 | 107.2 | | | 0.158 | 319 |
| 000 | 10.40 | 85.3 | | | 0.197 | 240 |
| 00 | 9.266 | 67.43 | | | 0.252 | 190 |
| 0 | 8.252 | 53.48 | | | 0.317 | 150 |
| 1 | 7.348 | 42.41 | | 375 | 1.40 | 120 |
| 2 | 6.544 | 33.63 | | 295 | 1.50 | 96 |
| 3 | 5.827 | 26.67 | | 237 | 1.63 | 78 |
| 4 | 5.189 | 21.15 | | 188 | 0.80 | 60 |
| 5 | 4.621 | 16.77 | | 149 | 1.01 | 48 |
| 6 | 4.115 | 13.30 | | 118 | 1.27 | 38 |
| 7 | 3.665 | 10.55 | | 94 | 1.70 | 30 |
| 8 | 3.264 | 8.36 | | 74 | 2.03 | 24 |
| 9 | 2.906 | 6.63 | | 58.9 | 2.56 | 19 |
| 10 | 2.588 | 5.26 | | 46.8 | 3.23 | 15 |
| 11 | 2.305 | 4.17 | | 32.1 | 4.07 | 12 |
| 12 | 2.053 | 3.31 | | 29.4 | 5.13 | 9.5 |
| 13 | 1.828 | 2.63 | | 23.3 | 6.49 | 7.5 |
| 14 | 1.628 | 2.08 | 5.8 | 18.5 | 8.17 | 6.0 |





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Elementos electrónicos

Regulador



| Descripción | Unidad |
|--|---------|
| Voltaje del sistema | 12/24 V |
| Entrada máxima de voltaje | 55 V |
| Corriente máxima de carga | 20 A |
| Voltaje de carga | 14.4 V |
| Protección de sobrecarga de la batería | 16.5V |

Inversor



| Descripción | Unidad |
|-------------------------|---|
| Potencia | 500 W |
| Salida de voltaje | 110/220 V AC |
| Frecuencia de salida | 50/60 Hz +/- 2 Hz |
| Salida USB | 5 V DC/0.5 A máx. |
| Forma de onda de salida | Sinusoidal pura / Sinusoidal modificada |
| Voltaje de entrada | 10 – 15 V DC |
| Alarma de batería baja | 10.4 – 11 V |
| Corte de batería baja | 9.7 – 10.3 V |
| Corte de batería alta | 14.5 – 15.5 V |





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Elementos mecánicos



| Descripción | Unidad |
|-------------|------------------------------|
| Dimensión | 70x54x80 cm |
| Material | Acero |
| Angulo | 3/4 pulgada x 2mm de espesor |

Gabinete Eléctrico





Ensamblaje



Colocación del panel en la base



Conexión de la batería y panel



Elementos eléctricos y electrónicos dentro del gabinete





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Ensamble del prototipo



Ajuste del panel a un ángulo de inclinación de 23.45° grados en con relación a la línea ecuatorial



Análisis y Resultados

Potencia de los aparatos eléctricos para este prototipo de 500W

| Cantidad | Artefactos | Potencia Individual (W) | Potencia total (W) | Horas de Uso (h) | Energía (W/h) |
|----------|----------------|-------------------------|--------------------|------------------|---------------------|
| 5 | Focos led | 12 W | 60 W | 2 horas al día | 120 W Wh |
| 2 | Laptop | 65 W | 130 W | 2 horas al día | 260 W Wh |
| 3 | Cargador Móvil | 10 W | 30 W | 2 horas al día | 60 W Wh |
| 1 | Televisor Led | 150 W | 150 W | 2 horas al día | 300 W Wh |

Potencia total de todos los artefactos: 370 W

Energía total en el día por 2 horas: 740 ~~W~~Wh

La potencia total de los artefactos fue de 370 W estaría en el rango ya que el inversor su potencia máxima es de 500W y tiene una eficiencia del 90% que sería 450 W que funciona sin ningún problema.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Potencia medida en un día totalmente soleado.

| Hora | Voltaje (V) | Corriente (I) | Potencia (W) |
|-------|-------------|---------------|--------------|
| 06:00 | 19.1 | 0.82 | 15.66 |
| 07:00 | 20.5 | 0.95 | 19.04 |
| 08:00 | 20.8 | 1.43 | 29.74 |
| 09:00 | 20.9 | 2.15 | 44.93 |
| 10:00 | 21.3 | 2.53 | 53.88 |
| 11:00 | 21.5 | 3.24 | 69.66 |
| 12:00 | 21.7 | 3.46 | 75.29 |
| 13:00 | 20.1 | 3.19 | 64.11 |
| 14:00 | 20.1 | 3.11 | 62.51 |
| 15:00 | 21.7 | 3.10 | 67.27 |
| 16:00 | 20.2 | 2.56 | 51.71 |
| 17:00 | 19.6 | 2.28 | 44.68 |
| 18:00 | 19.2 | 1.78 | 34.17 |

Mediciones de voltaje en la entrada del controlador (MÁXIMO)

| | |
|--------------------------------|--------|
| Desde paneles solares | 21.7 V |
| Regulado | 13.8 |
| Salida hacia la batería | 13.8 |
| Salida al inversor | 13.8 |





Cálculo del tiempo de carga de la batería

$$T = \frac{Wh \text{ batería}}{W \text{ del panel}}$$

$$T = \frac{635 \text{ Wh}}{75.29 \text{ W}}$$

$$T = 8.43 \text{ h}$$

La batería estará completamente cargada en el tiempo calculado teniendo en cuenta que este cálculo es cuando haya quedado totalmente descargada y tengamos una radiación solar óptima. Al ser una batería de gel de ciclo profundo para garantizar su vida útil, el fabricante recomienda no pasar el 80 % de descarga de la batería que sería 10.16 V. Por lo cual los 2.54 V que correspondería el 20% de carga, por lo tanto, la batería estaría cargada al 100% en 1 hora y 68 minutos teóricamente realizando los cálculos correspondientes.]

Realizando la prueba de carga de la batería dejándola en un 80 %, esta se cargó en aproximadamente 2 horas con una radiación solar óptima.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Cálculo del tiempo de descarga de la batería

$$\text{Tiempo máximo} = \frac{\text{Capacidad de la batería} \times \text{tensión de la batería} \times \text{eficiencia del inversor}}{\text{Potencia del dispositivo}}$$

$$\text{Tiempo máximo} = \frac{50 \text{ Ah} \times 12.7 \text{ V} \times 0.9}{370 \text{ W}}$$

$$\text{Tiempo máximo} = 1.54 \text{ h}$$

Cálculo de la duración de la batería conectada a cada artefacto

| Equipos Eléctricos | Potencia de consumo (W) | Tiempo máximo de uso (h) |
|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| Foco led | 12 W | 48h |
| Laptop | 65 W | 9h |
| Cargador Móvil | 10 W | 54.15h |
| Televisor Led | 200 W | 3h |

Según el INEC 2012 consumo promedio mensual de energía eléctrica de los hogares ecuatorianos a nivel nacional es mayor a 138 Kwh con lo cual calculamos los Kwh que produciría nuestro sistema multiplicando 740 Wh por 0.2 horas que lo vamos a utilizar y por 30 días el resultado es 4.44 Kwh lo cual representa un ahorro del 3.18 % de reducción de energía mensual.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Análisis de la aplicación para la implementación de una casa tipo, del sistema fotovoltaico deseado

$$HSP = \frac{\text{Insolación en el Ecuador } (Wh/m^2)}{1000 (Wh/m^2)}$$

$$HSP = \frac{4575 (Wh/m^2)}{1000 (Wh/m^2)}$$

$$HSP = 4.57 h$$





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Ejemplo de cálculo de la potencia total de los artefactos para una casa tipo: Básico

| Cantidad | Artefactos | Potencia Individual (W) | Potencia total (W) | Horas de Uso (h) | Energía (Wh) |
|----------|----------------|-------------------------|--------------------|------------------|--------------|
| 5 | Focos led | 12 W | 60 W | 5 horas al día | 300 Wh |
| 1 | Laptop | 65 W | 65 W | 3 horas al día | 195 Wh |
| 2 | Cargador Móvil | 10 W | 20 W | 3 horas al día | 50 Wh |
| 1 | Televisor Led | 150 W | 150 W | 5 horas al día | 750 Wh |
| 1 | Refrigeradora | 500 W | 500 W | 14 horas al día | 7000 Wh |
| 1 | Radio | 30 W | 30 W | 10 horas al día | 300 Wh |
| 1 | Router | 5 W | 5 W | 24 horas al día | 120 Wh |

Potencia total de todos los artefactos: 830 W

Energía total en el día: 8715 Wh

Cálculo numero de paneles

$$\text{Energía total} = 8715 \text{ Wh} / 400 \text{ W} = 21.78 / 4.57 \text{ HSP} = 4.76$$

Numero de paneles 5





Ejemplo del dimensionamiento del regulador de carga

La corriente media producida por un panel solar de 400 W es de entre 9 y 10 amperios, por lo que un regulador de carga solar con una potencia de 15 amperios es suficiente.

Ejemplo del cálculo de las baterías



Batería de Gel

12 x 250 Wh = 3000 Wh

Energía Disponible

3000 Wh x 0.8 = 2400 Wh

**Una batería otorga:
2400 Wh**

Requerimiento: 8715 Wh

5229 Wh / 2400 Wh = 3.63

4 baterías





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Comparación de consumo eléctricos y elementos a necesitar para una instalación solar fotovoltaica aislada para una casa tipo: Básica, media, alta

| Tipo de casa | Consumo de todos los artefactos | Consumo al día | Número de paneles | Regulador | Baterías | Inversor | Costo |
|---------------------|--|-----------------------|--------------------------|------------------|-----------------|-----------------|--------------|
| Básica | 830 W | 8715 Wh | 5 | 15 Δ | 4 | 1000 W | 2310 \$ |
| Medio | 4885 W | 13140 Wh | 8 | 15 Δ | 6 | 6000 W | 3750 \$ |
| Alta | 7595 W | 16690 Wh | 10 | 15 Δ | 7 | 8000 W | 4550 \$ |





Conclusiones

Se investigó diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos que pueden implementarse y de las diferentes formas de ensamblarlos utilizando las partes necesarias del sistema fotovoltaico para aprovechar el gran potencial energético que posee el Ecuador mostrado en la insolación global medida por el CONELEC obteniendo un resultado favorable para la implementación de estos sistemas.

Para la realización del prototipo se obtuvo las características técnicas de los elementos que lo integran como el tipo de panel usa de 50 W, la potencia del inversor que se utilizó en este caso de 500 W, la batería de gel de ciclo profundo para garantizar una mayor vida útil, así como los elementos de protección e indicadores usados en el panel de control del prototipo y el tipo de cable que cumpla con los cálculos obtenidos de calibre AWG #14 para garantizar el correcto desempeño del prototipo en favor de poder reducir el consumo de una vivienda.

Se realizó la construcción con el ensamblaje de los elementos seleccionados fijándolos en una base de acero de $\frac{3}{4}$ pulgada x 2mm de espesor que soportara el panel solar, la batería y el gabinete metálico con las conexiones del inversor y regulador de carga para protegerlos además de la conexiones de seguridad como breaker y los indicadores luminosos de funcionamiento que forman parte del prototipo permitiendo el ajustar la orientación del panel al ángulo de 23.45° en dirección a la línea ecuatorial.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Finalmente tras la implementación las pruebas de funcionamiento del prototipo se tiene la capacidad máxima que podía suministrar sería de 450 W. para los equipos conectados a la red del prototipo, además el tiempo de carga de la batería en días con una radiación óptima sería de 2 horas aproximadamente y tras las mediciones realizadas en el panel se determinó que en un día con radiación solar optima se consigue un voltaje máximo 21.7 V los cuales son regulados a 13.8V para la carga de la batería sea la adecuada mediante el regulador.





Recomendaciones

Realizar un mantenimiento del panel cada seis meses mediante una limpieza del panel para asegurar el óptimo aprovechamiento de la radiación solar.

Revisar por lo menos cada tres meses el estado de las baterías y si se ha detectado algún cambio físico en el exterior de la misma como hinchamiento o goteo del electrolito reemplazar lo más pronto posible.

Evitar instalar el prototipo en lugares donde las sombras de estructuras aledañas puedan cubrir el panel solar impidiendo que la radiación solar llegue de forma directa.

Antes de cualquier implementación de un sistema fotovoltaico se debe primero recabar estudios previos de la radiación solar para el área donde se vayan a instalar.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Se recomienda siempre realizar primero un análisis de la potencia que se va a necesitar para el hogar en donde se vaya a instalar un tejado fotovoltaico determinando así la potencia del inversor a usarse y la cantidad de baterías necesarias para el sistema.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Gracias

