



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA DE CONEXIÓN A RED, PARA EL LABORATORIO DE FUENTES ALTERNATIVAS**

**AUTORES:**

**JUAN CARLOS ECHEVER BÁEZ  
CÉSAR LUIS NARANJO BARRERA**

**TUTOR: ING. MARIO JIMÉNEZ LEÓN**

# Objetivos:

## Objetivo General:

Realizar el diseño e implementación de un sistema didáctico de generación fotovoltaica de conexión a la red, en el laboratorio de Fuentes Alternativas.

## Objetivos Específicos:

- ▶ Evaluar el recurso solar que se disponible.
- ▶ Realizar el estudio de los diferentes componentes del sistema.
- ▶ Seleccionar y adquirir los componentes del sistema didáctico.
- ▶ Implementar el modulo didáctico y realizar las pruebas de funcionamiento.
- ▶ Monitorear las magnitudes eléctricas en el sistema.
- ▶ Realizar un estudio de la energía producida por el sistema.
- ▶ Elaborar las guías de laboratorio.

# Introducción

- ▶ Energías:
- ▶ Hidráulica
- ▶ Eólica
- ▶ Biomasa
- ▶ Combustibles fósiles
- ▶ Entre otros

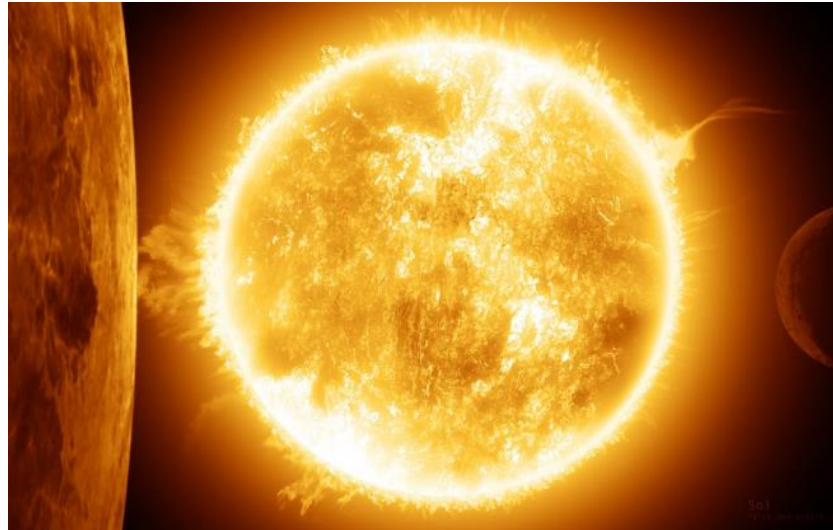


# Energía Solar

Radiación Solar:

Tipos:

- ▶ Directa
- ▶ Difusa
- ▶ Reflejada
- ▶ Global



# Instalaciones fotovoltaicas de conexión a red

- ▶ Generador Fotovoltaico
- ▶ Inversor
- ▶ Protección
- ▶ Contador de energía

# Diseño

$$\text{Para Latacunga} \begin{cases} T_{a\text{m}\acute{a}\text{x}} = 25^{\circ}\text{C} \\ T_{a\text{m}\acute{i}\text{n}} = 5^{\circ}\text{C} \end{cases}$$

$$\text{Temp. Panel} = T_p = T_a + \frac{(TONC - 20) I}{800}$$

$$T_{p\text{m}\acute{a}\text{x}} = 25 + \frac{45 - 20}{800} (1100) = 59.37^{\circ}\text{C}$$

$$T_{p\text{m}\acute{i}\text{n}} = 5 + \frac{45 - 20}{800} (100) = 8.12^{\circ}\text{C}$$

$$\frac{\delta V_{oc}}{\delta T} = \frac{\delta V_{mp}}{\delta T} = 30V * 0.34\%/^{\circ}C * 1/100\% = 0.102V/^{\circ}C$$

$$\begin{array}{cc} 25^{\circ}C & 29.5V \\ 8.12^{\circ}C & X \end{array}$$

$$\Delta T = 16.88^{\circ}C$$

$$\Delta V = \frac{\delta V_{oc}}{\delta T} * \Delta T$$

$$\Delta V = \frac{0.102 V}{^{\circ}C} * 16.88^{\circ}C = 1.722 V$$

$$V_{m\acute{a}x_{mp}} = V_{mp} + \Delta V$$

$$V_{m\acute{a}x_{mp}} = 30 V + 1.722 V = 31.722 V$$

$$\begin{array}{cc} 25^{\circ}\text{C} & 29.5\text{ V} \\ 59.37^{\circ}\text{C} & X \end{array}$$

$$\Delta T = 34.37^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta V = \frac{\delta V_{oc}}{\delta T} * \Delta T$$

$$\Delta V = \frac{0.102\text{V}}{^{\circ}\text{C}} * 34.37^{\circ}\text{C} = 3.506\text{ V}$$

$$V_{min_{mp}} = 30\text{ V} - 3.506\text{ V} = 26.49\text{ V}$$



$$N_{ps} * V_{m\acute{a}x_{mp}} \leq V_{m\acute{a}x_{inversor}}$$

$$N_{ps} * 31.722 V \leq 32 V$$

$$N_{ps} \leq 1.009$$

$$N_{ps} * V_{m\acute{i}n_{mp}} \geq V_{m\acute{i}n_{inversor}}$$

$$N_{ps} * 26.49 V \geq 23 V$$

$$N_{ps} \geq 0.87 = 1$$

$$N_{hp} = \frac{N_{Tp}}{N_{ps}}$$

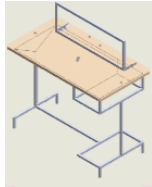
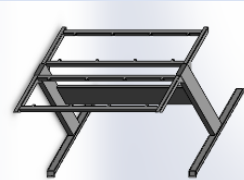
$$N_{hp} = \frac{1}{1} = 1$$

Potencia del Microinversor:

$$P_I \geq 0,9P_{CS}$$

$$P_I \geq 0,9 * 230 W$$

$$P_I \geq 207 W$$

Alternativas para el diseño			
Estación de Trabajo		Estructura Soporte	
A		A	
B		B	

Condiciones de Diseño			
Estación de Trabajo		Estructura soporte	
Calculado	Simulado	Calculado	Simulado
$[\sigma] = 165 \text{ MPa}$	$\sigma_r = 2,935 \text{ MPa}$	$[\sigma] = 165 \text{ MPa}$	$\sigma_r = 0,1015 \text{ MPa}$
Primera Condición $\sigma_r \leq [\sigma]$			
$2,935 \text{ MPa} \leq 165 \text{ MPa}$		$0,1015 \text{ MPa} \leq 165 \text{ MPa}$	
Diseño satisfactorio		Diseño satisfactorio	
$[\delta] = 1,25 \text{ mm}$	$\delta_r = 1,6 \times 10^{-4} \text{ mm}$	$[\delta] = 1,5 \text{ mm}$	$\delta_r = 5,0759 \times 10^{-7} \text{ mm}$
Segunda Condición $\delta_r \leq [\delta]$			
$1,6 \times 10^{-4} \text{ mm} \leq 1,25 \text{ mm}$			
Diseño satisfactorio		Diseño satisfactorio	

# Selección

Parámetro	Valor
<b>Mecánicos</b>	
Máximo peso que soportara la estructura soporte del generador fotovoltaico.	18Kg
Máximo peso que soportara la estación de trabajo.	30 Kg
Material para la estructura soporte y la estación de trabajo.	Acero de construcción tubería cuadrada.
Material para recubrimiento de la estación de trabajo.	Acero laminado.
Tipo de acabado superficial	Pintura electrostática
Dimensiones de la estructura soporte.	120cm*100cm*50cm
Dimensiones de la estación de trabajo.	80cm*100cm*50cm
<b>Eléctricos</b>	
Voltaje nominal de operación del sistema	One-phase it no neutral
Frecuencia de Operación del Sistema	60Hz
Tipo de acometida a la red	Monofásico 220V
Tipo de protección	Disyuntor bifásico
Adquisición de datos de la Planta Fotovoltaica	Tiempo Real
Monitoreo de la Planta Fotovoltaica	Mediante PC
Evaluación del recurso Solar	Mediante piranómetro
Cuantificación de la energía producida por la planta Fotovoltaica	Medidor bidireccional

# Generador fotovoltaico



Especificaciones	
Modelo	SIMAX (Suzhou) Green New Energy Co. Ltd-Model: SP660-230
Potencia máxima (Pm)	230 W
Tolerancia	±3%
Eficiencia	14.3%
Voltaje de Pmáx (Vmp)	30 V
Corriente de Pmáx (Imp)	7.67 A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	36.5 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	8.56 A
Coeficientes de temperatura	
Temperatura nominal de operación (TONC)	45±2 °C
Temperatura de operación	-40 °C a 85 °C
Coeficiente de temperatura de (Pm)	-0.39% / °C
Coeficiente de temperatura de (Voc)	-0.34% / °C
Coeficiente de temperatura de (Isc)	0.035% / °C

# Microinversor



	SUN BOY 240-US-99-10
<b>Entrada DC</b>	
Máxima entrada de Potencia	300 W
Potencia nominal de entrada	240 W
Rango de seguimiento de potencia máxima	23.0 - 32.0 V
Rango de operación	23.0 - 32.0 V
Máxima corriente de DC en corto circuito	9.5 A
Máxima corriente de entrada	8.5 A
<b>Salida AC</b>	
Potencia recomendada de salida	240 W
Corriente nominal de salida	1 A
Rango de operación de voltaje	211/240/264 [V]
Rango de operación de frecuencia	59.3/60.0/60.5 Hz
Factor de potencia	1
Distorsión armónica total	<3%
<b>Eficiencia</b>	
CEC eficiencia ponderada	95.9%
Eficiencia del inversor	96%

# Sunny Multigate



Sunny Multigate			
Parámetro en [Ac]	Máxima	Nominal	Mínima
Frecuencia [Hz]	59.5	60	60.5
Voltaje [V]	211	240	264
Corriente [A]		12	
Potencia [W]	2880		
Temperatura de operación	+45 °C		-40 °C
Factor de potencia		1	

# Contador de energía



	<b>CDP-0</b>
<b>Tensión Nominal</b>	230VAC $\pm$ 10%
<b>Frecuencia</b>	50-60 Hz
<b>Consumo</b>	6 W
<b>Aplicable para instalaciones fotovoltaicas con inyección a la red</b>	Si
<b>Monitorización y registro del balance energético</b>	Si
<b>Bidireccional</b>	Si
<b>Comunicación</b>	Ethernet, RS-485, RS-232, RS-422.
<b>Clase de protección</b>	IP 54
<b>°T de operación</b>	-20°C a +70°C
<b>Peso</b>	250g



# Transformadores de corriente



	TC CAMSCO
Relación de transformación	100/5 A
Voltaje Máximo	0.613 KV
Frecuencia	60 Hz
Máxima potencia Aparente	2.6 VA

# Sensor de radiación

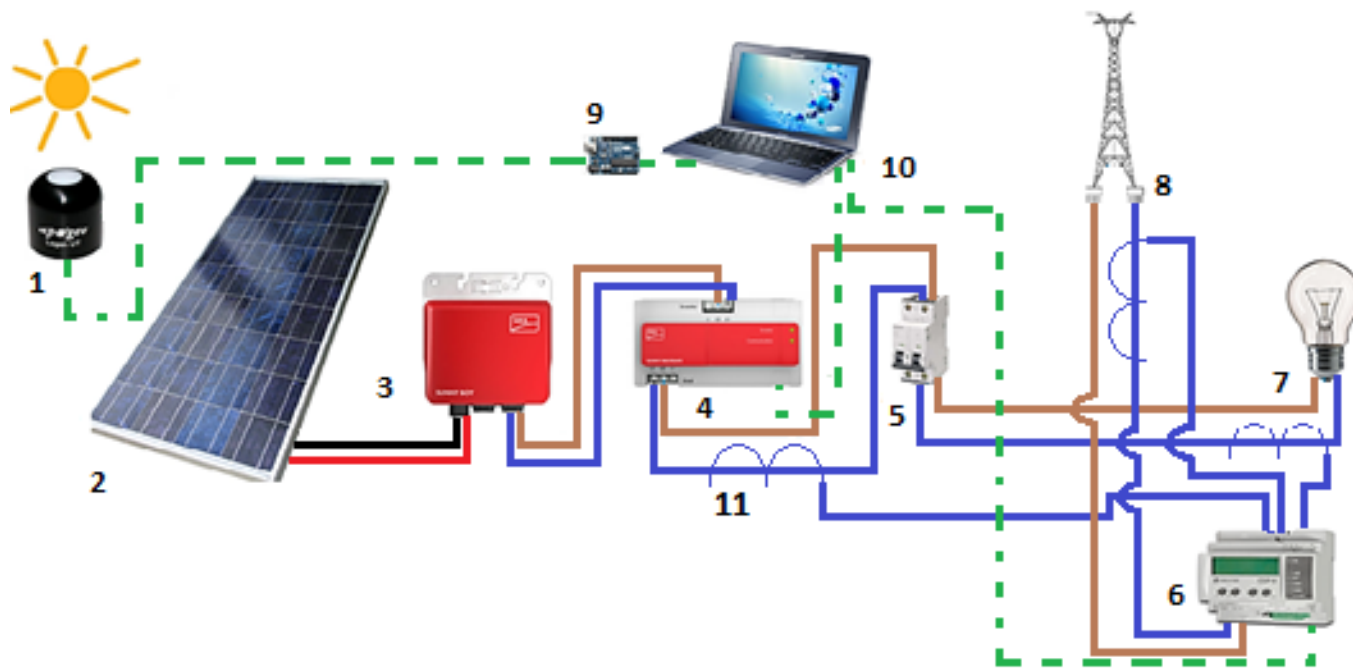


	<b>SP-110</b>
<b>Fuente de alimentación</b>	5-36 V DC
<b>Sensibilidad</b>	0,2 mV por $m^2$
<b>Factor de Calibración</b>	5 $Wm^2$ por Mv
<b>Incertidumbre de calibración</b>	$\pm 5\%$
<b>Respetabilidad de la medida</b>	<1%
<b>Sin estabilidad (deriva a largo plazo)</b>	<2% por año
<b>No Linealidad</b>	<1% superior de 1750 $Wm^2$
<b>Tiempo de respuesta</b>	<1 ms
<b>Campo de visión</b>	180°
<b>Rango espectral</b>	360 nm a 1200 nm

# Ensamblaje del módulo didáctico



# Configuración de módulo didáctico



# Resultados:

Tipo de carga	Horas-Día	Potencia de entrada [W]	Potencia de Salida [W]	Rendimiento %
Lámpara incandescente	23/6/2016 8:00	103,4064	6	5,802348791
	23/6/2016 9:00	252,6624	18	7,124130856
	23/6/2016 10:00	333,6624	22	6,593490906
	23/6/2016 11:00	594,6624	36	6,053855095
	23/6/2016 12:00	701,7696	39	5,557379516
	23/6/2016 13:00	385,6464	29	7,519842011
Carga RL	28/6/2016 12:00	1446,624	124	8,571681377
	28/6/2016 13:00	1569,7152	161	10,25663764

# Conclusiones:

- ▶ Se implementó el módulo didáctico de un sistema de generación fotovoltaica de conexión a red, el mismo que consta de la estación de trabajo y la estructura soporte del panel fotovoltaico. La potencia del sistema didáctico es 230 W, 220 V one-phase it no neutral y consta de un generador fotovoltaico de 230 Wp, un microinversor de 240 W, un módulo de interconexión a red, el módulo contador de energía bidireccional CDP-0 y equipos de medición de corriente.
- ▶ La evaluación del recurso solar se realizó empleando el sensor de radiación SP-110 cuya señal fue acondicionada para ser leída por el arduino UNO y finalmente adquirir los datos mediante el programa LabVIEW a través del puerto USB.

- ▶ La comunicación entre los equipos del sistema se realizó mediante la implementación de una mini red de comunicación ethernet para la cual se designan las direcciones IP en el router para los equipos Sunny Multigate, contador bidireccional CDP-0 y PC.
- ▶ Se realizaron las guías para las pruebas con los equipos del sistema de generación fotovoltaica de conexión a la red en el laboratorio de Fuentes Alternativas de Energía.
- ▶ De la prueba realizada se obtuvo que con una irradiancia de  $1090.08 \text{ w/m}^2$  el módulo didáctico genera una potencia de 161 W y posee un rendimiento global del 10.25%.
- ▶ Si existe un óptimo recurso solar, y la potencia consumida por la carga es menor a la potencia generada por el panel fotovoltaico; el excedente de energía se inyecta a la red pública por medio del gestor de energía CDP-0.

# GRACIAS...!

