



Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
Doctorado en Energía Renovable

Seguidor del punto de máxima potencia de un sistema fotovoltaico monofásico, optimizado para el estado de Yucatán

Presenta
Carlos Morcillo Herrera

Director de tesis
Dr. Fernando Hernández Sánchez
Co-director
Dr. Manuel Flota Bañuelos

Contenido

1. Panorama mundial del las Energías Renovables
2. La energía solar fotovoltaica
3. La celda solar fotovoltaica
4. Sistemas Fotovoltaicos (SFV)
5. Problemática
6. Descripción del proyecto
7. Objetivos
8. Aportación principal
9. Referencias

1. Panorama mundial del las Energías Renovables

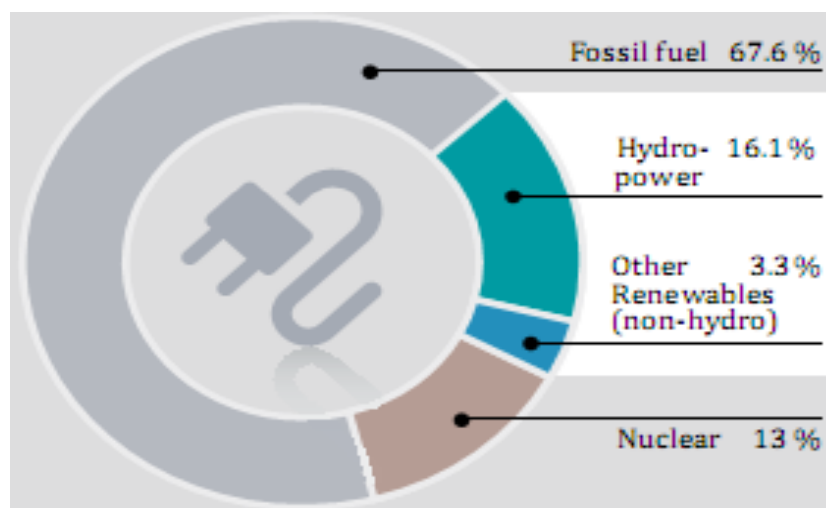
La demanda mundial de energía primaria creció un 5% en 2010 [1]

Los combustibles fósiles superaron los \$400 mil millones [1]

Las emisiones de CO₂ alcanzaron nuevo récord mas de 392 ppm [www.el mundo.es]

1,500 millones de personas sin energía eléctrica, 25% de la población mundial [ONUD]

Generación eléctrica



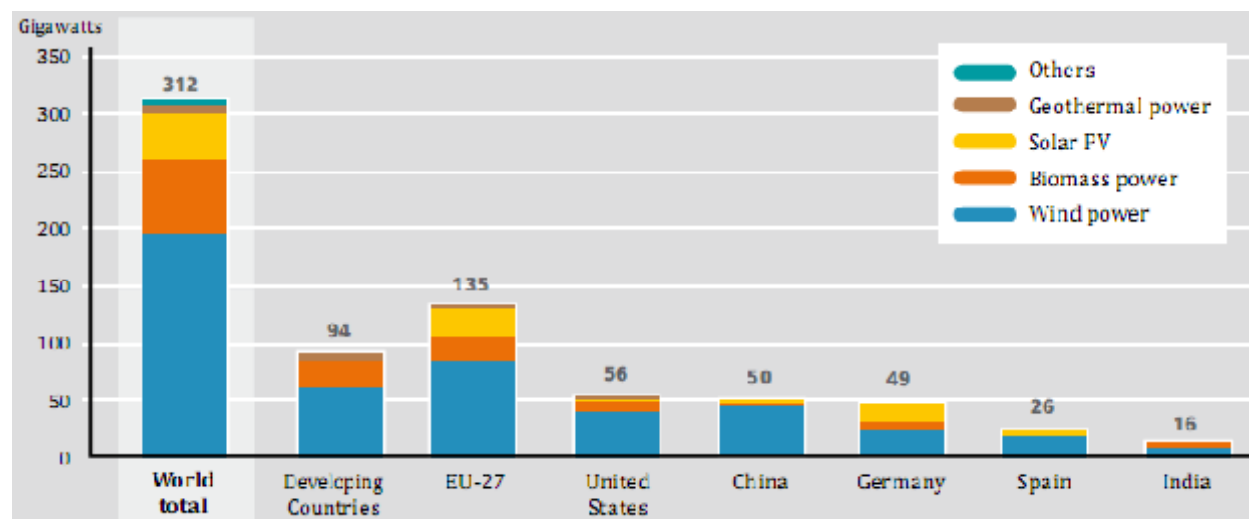
En 2011, las energías renovables eran el 19.4% (1,320GW) de la generación eléctrica y un 25% del suministro térmico [2]

La generación de energía eléctrica en **México**, es 75.3% del petróleo, 19% hidroeléctricas, 3.3% renovables y un 2.4% nuclear. [3]

Inversión

En 2010, se invirtieron \$211 millones a nivel global
China \$42 millones, Estados Unidos \$25 millones, países de la OCDE 4 millones [2]

Potencia instalada



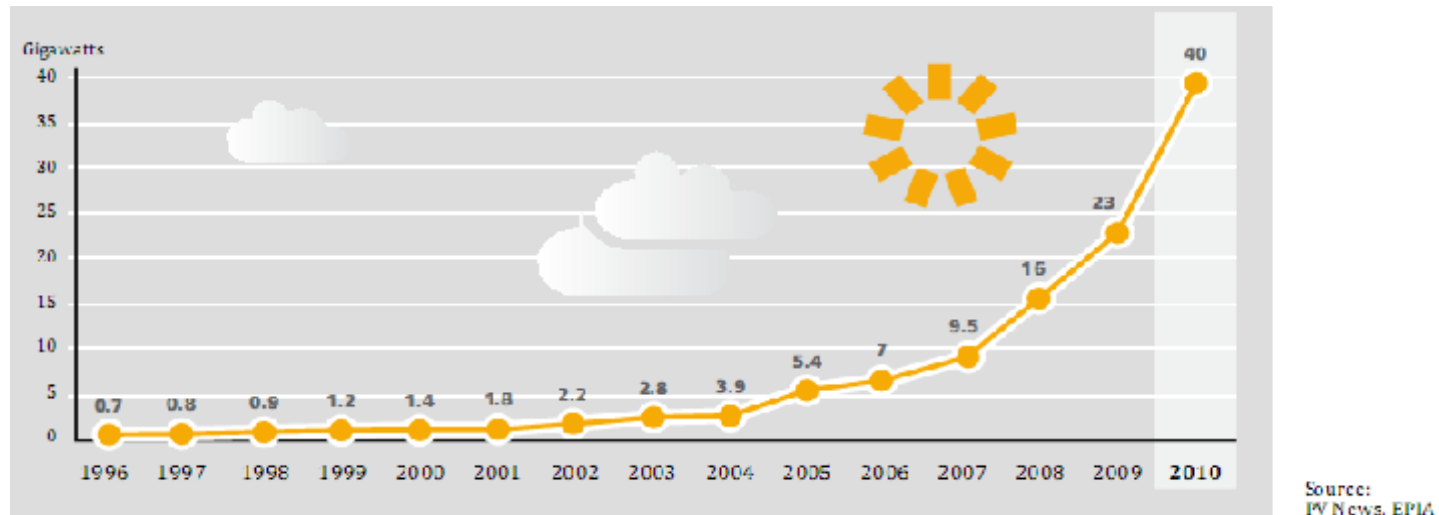
Costo

La tecnología mas barata: eólica \$1,915 /KW; la más cara : la solar FV \$5,266/KW
En 2030, todas las energía renovable bajaran un 20% .

La energía solar FV y la biomasa tendrán las mayores reducciones de costos y por ende el mayor crecimiento [2]

2. La energía solar fotovoltaica

En 2010, mayor crecimiento con 17GW y alcanzó los 40GW, el triple que en 2009



Los sistemas conectados a la red eléctrica creció un 81%, más que los últimos 5 años.

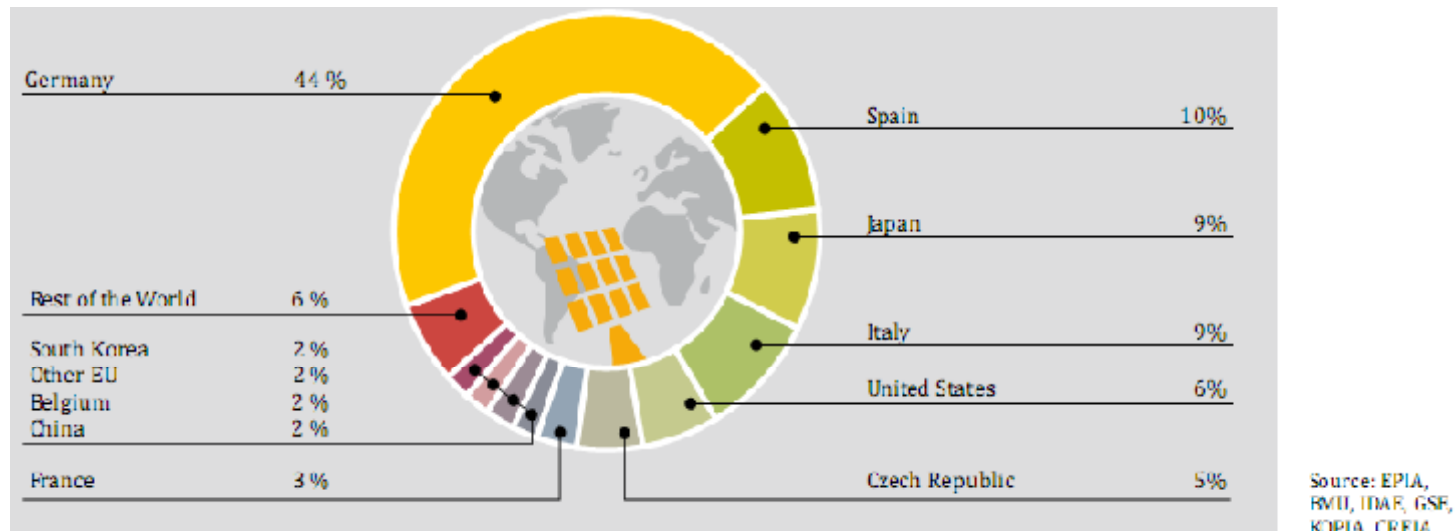
Creció un 50% las empresas que fabrican paneles y las prestan servicios.

Baja de los precios de los paneles fotovoltaicos

Mercado de muchos billones de dólares a nivel mundial [2].

Alemania es líder mundial en capacidad instalada de energía solar FV

Hace unos días, Alemania produjo el 50% de demanda diaria con energía FV [2]



En México, de 1993 a 2003, la capacidad instalada de sistemas FV se incremento de 7MW a 15MW

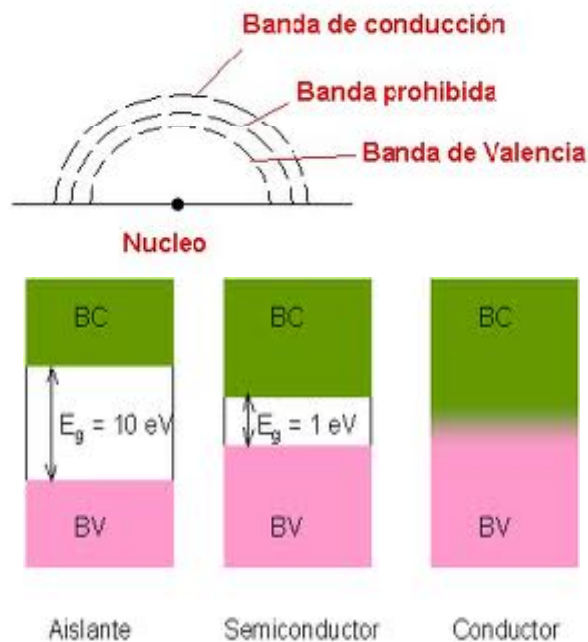
El 95% son sistemas aislados de la red eléctrica (bombeo, refrigeración, electrificación)

México figura entre los 15 países con mayor capacidad instalada [4]

3. La celda solar fotovoltaica

El **efecto fotovoltaico**, sucede cuando un material, generalmente un semiconductor, convierte la energía de los fotones de la luz solar en energía eléctrica. [5]

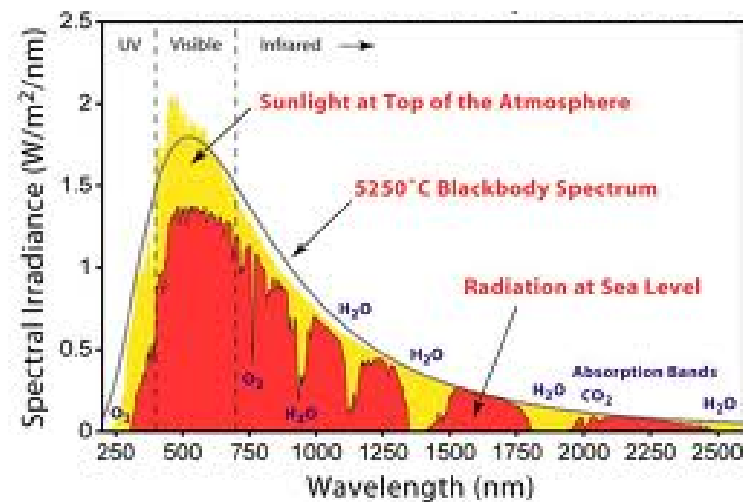
Física del material



Material tipo "p" y tipo "n"

Física de la luz.

$$E_f = h * \mu = h * \frac{c}{\lambda}$$



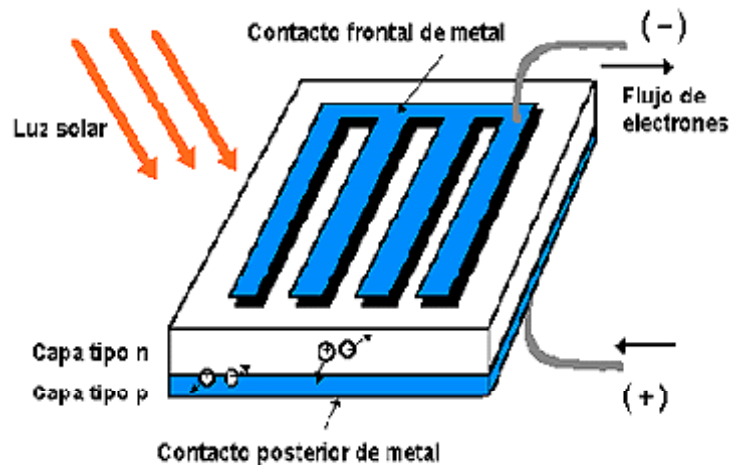
Si $E_f < E_v$ El fotón atraviesa el material y sigue su camino.

Si $E_f > E_v$ El fotón es reflejado por el material

Si $E_f \cong E_v$ El fotón es **absorbido** por el material

Generador de electricidad

La energía absorbida genera un par electrón-hueco que es dirigido con unas placas conductoras a una zona de recombinación para equilibrar la carga



El flujo de los electrones-hueco, en sentidos opuestos da lugar a la **corriente eléctrica**

El generador fotoeléctrico mas pequeño es la “**celda**”



Celda



Panel



Arreglo

Tipos de celdas

Generación	Material Celda solar	Eficiencia (η)	Tiempo de vida	Aplicaciones
1ª	Germanio	5%	15 años	Paneles multicapa IR
1ª	Silicio Amorfo	5% - 8%	10 años	Calculadoras, relojes, juguetes
1ª	Silicio Policristalino	10% - 15%	20 años	Paneles comerciales
1ª	Silicio Monocristalino	14% - 19%	25 años	Paneles comerciales
2ª	Multiunión	20% - 39%	X	Paneles militares – espaciales
2ª	Thin film	19%-20%	20 años	Paneles Comerciales
3ª	Close Space Sublimation	+20%	X	Laboratorio
3ª	Polímeros Orgánicos	+20%	X	Laboratorio
3ª	Puntos cuánticos	+20%	X	Laboratorio
3ª	Sensibilizado por tinte	+20%	X	Laboratorio

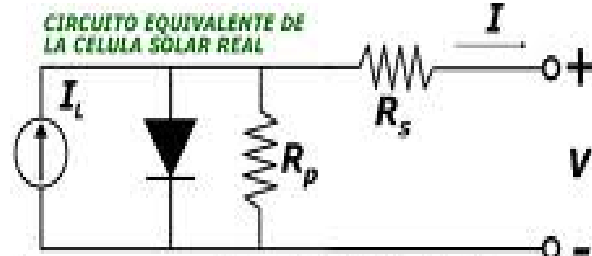
[6]

Eficiencia fotovoltaica

La **eficiencia fotovoltaica (η)** o rendimiento fotovoltaico, se refiere a la conversión de energía, indicando que porcentaje de la energía recibida de la luz solar incidente en la celda, se convierte en energía eléctrica.

$$\eta = \frac{P_{mpp}}{E * A_p}$$

Circuito eléctrico equivalente



$$I = I_L - I_D - I_{Rp}$$

$$I_D = I_o \left[\exp \frac{qV_D}{KT_c} - 1 \right] \quad I_{Rp} = \frac{V_{Rp}}{R_p}$$

$$I = I_L - I_o \left[\exp \frac{qV_D}{KT_c} - 1 \right] - \frac{V_{Rp}}{R_p}$$

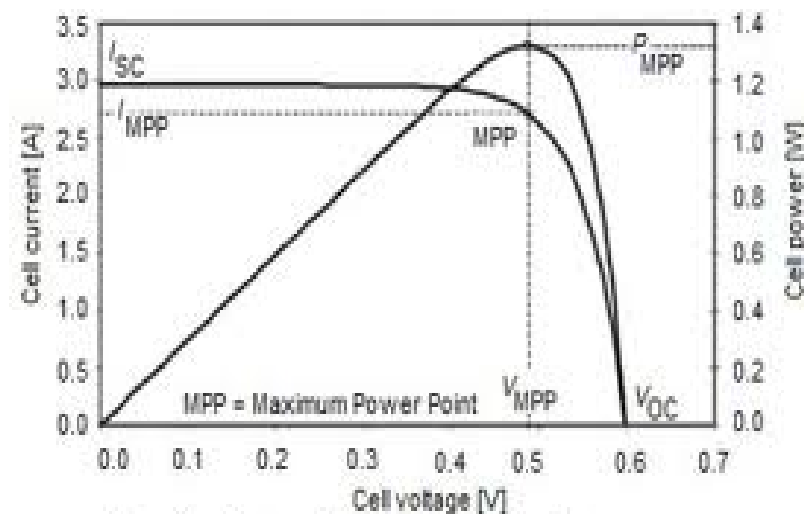
$$V_D = V_{Rp} = V + (I * R_s)$$

$$I = I_L - I_o \left[\exp \frac{q(V + IR_s)}{KT_c} - 1 \right] \quad [7]$$

Curvas características

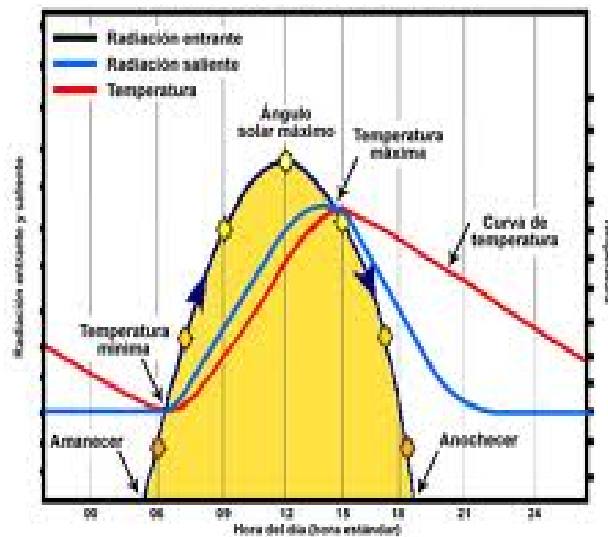
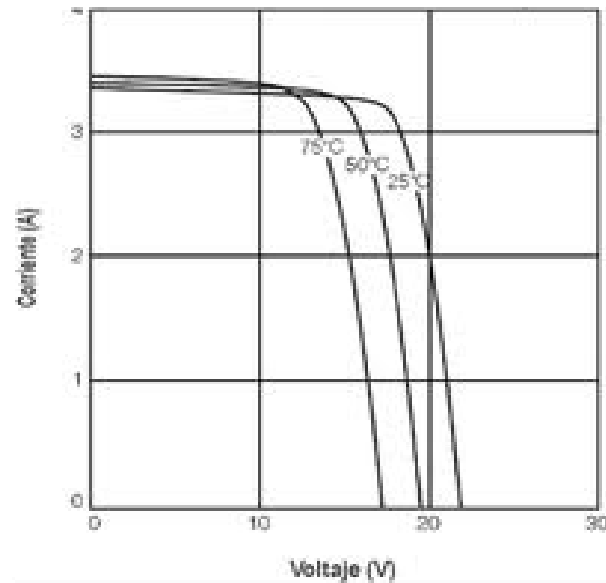
$$FF = \frac{P_{mpp}}{P_{ideal}} = \frac{V_{mpp} * I_{mpp}}{V_{oc} * I_{sc}}$$

[8]

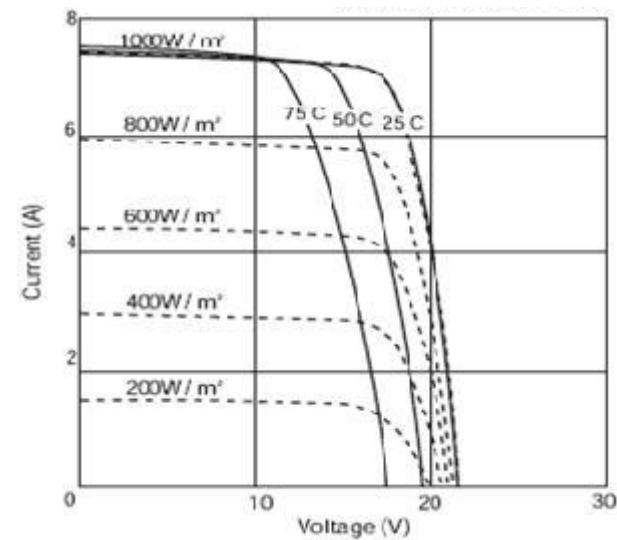
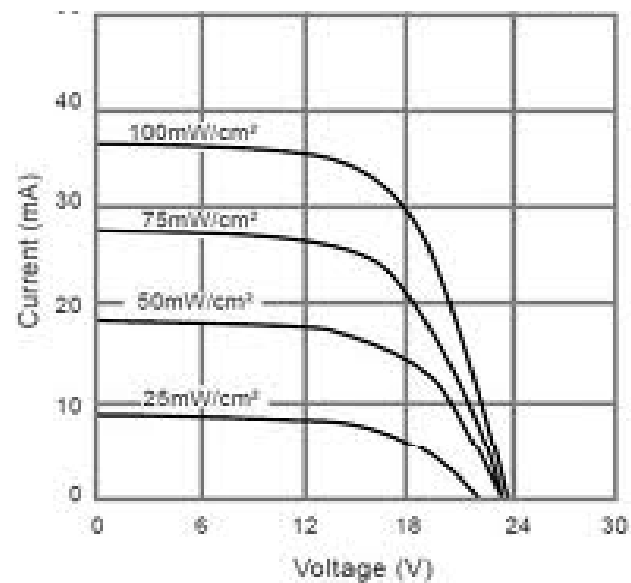


Variables que afectan la η de las celdas solares

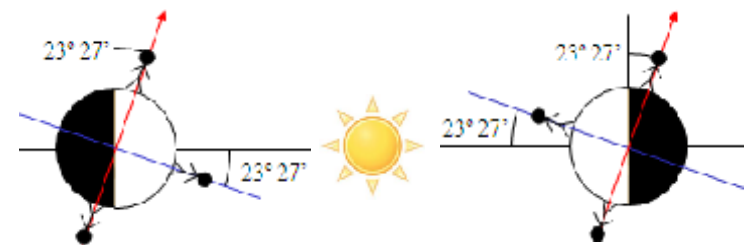
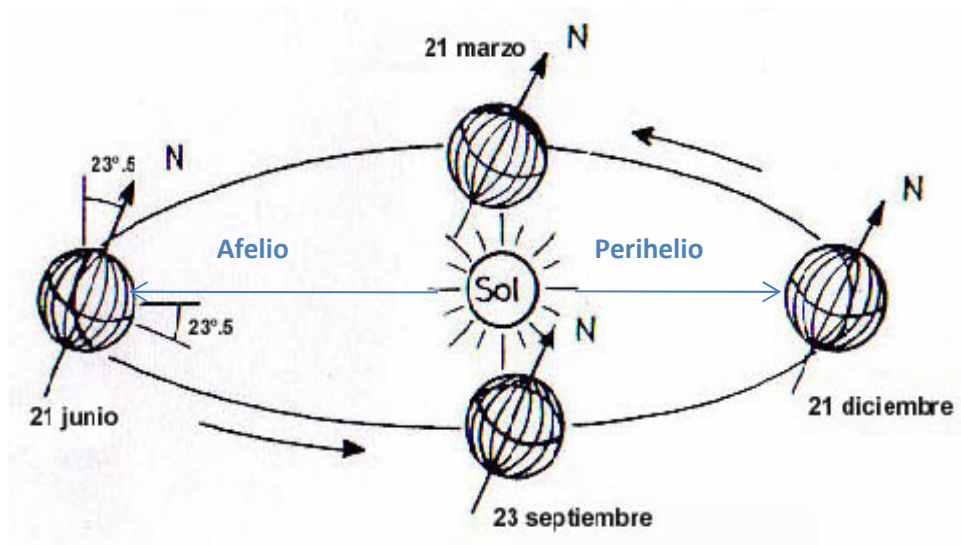
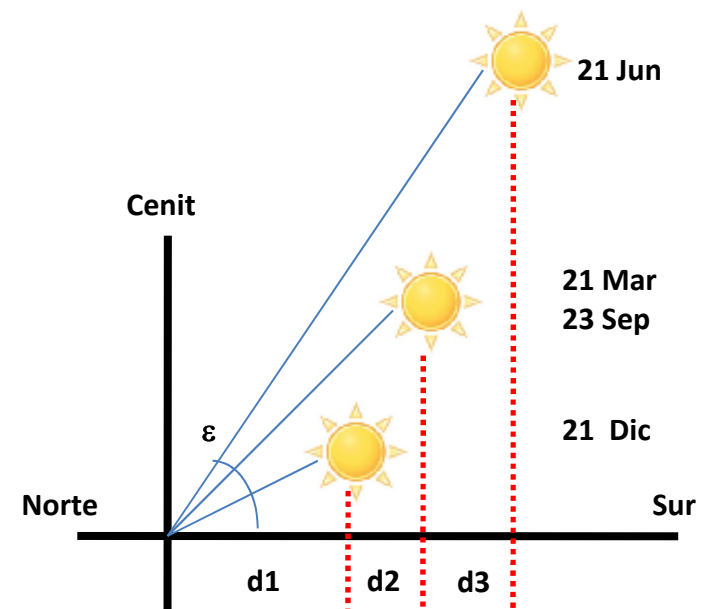
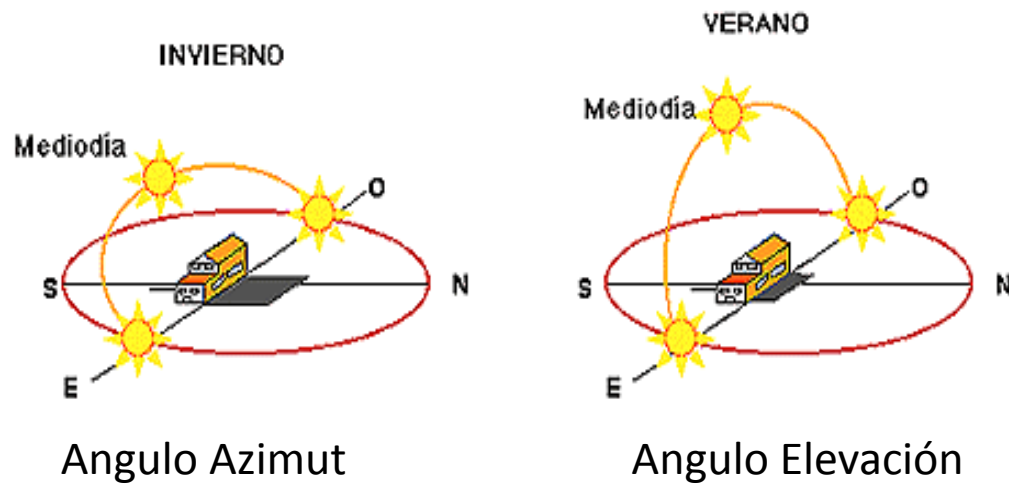
Efecto de la temperatura



Efecto de la radiación



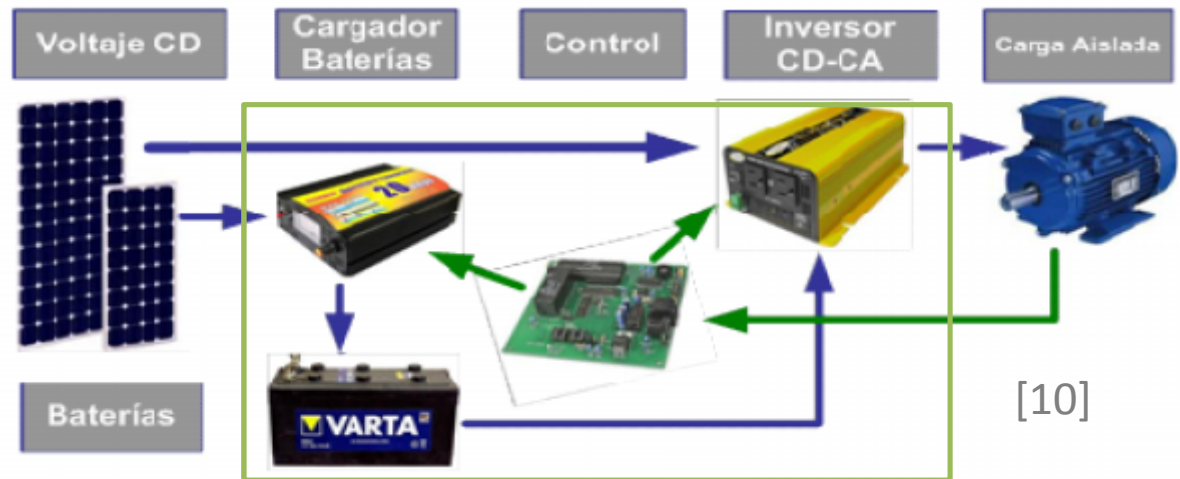
Efecto por la inclinación



4. Sistemas Fotovoltaicos

Existen dos tipos de sistemas fotovoltaicos (SFV), los aislados o autónomos, y los conectados a la red eléctrica. Ambos casos requieren de un convertidor electrónico que puede realizar diferentes funciones de acuerdo al tipo de SFV.

Aislados o Autónomos



Los SFV aislados o autónomos, alimentan cargas aisladas de la red eléctrica de suministro de forma autónoma de ahí su nombre. Esos SFV requieren de un sistema de respaldo, generalmente super-capacitores o baterías. El convertidor electrónico controla la recarga de la batería y acondiciona la salida de voltaje

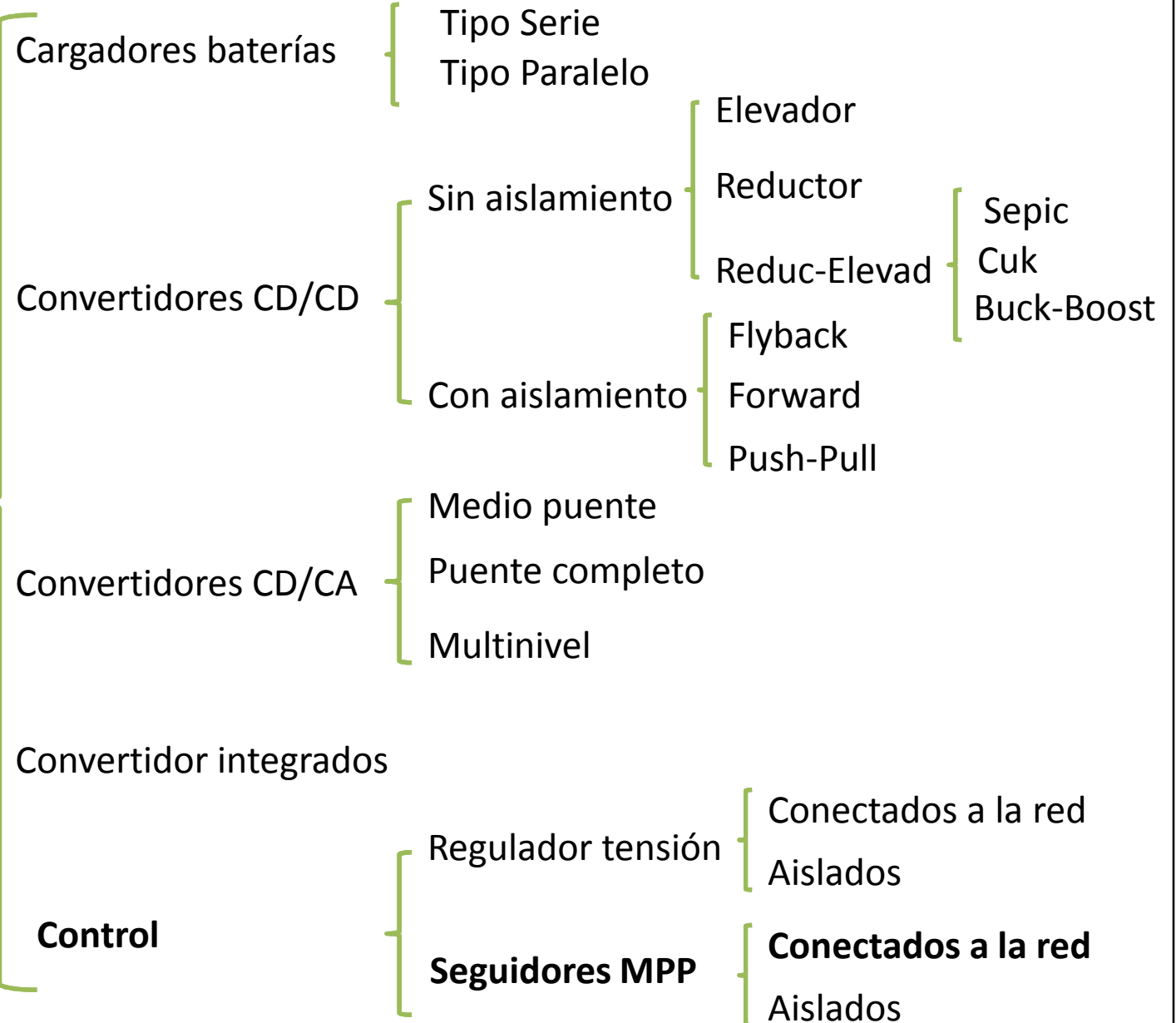
Conectados a la red



Los SFV conectados a la red eléctrica de suministro, devuelven la energía que producen a la red, de ahí su nombre. No requieren de sistema de respaldo. El convertidor electrónico controla y acondiciona la entrega de energía a la red.

Convertidor Electrónico

El convertidor electrónico es el alma del SFV, pues es el encargado de realizar el control, seguimiento, recarga y adecuación de la salida de voltaje para alimentar las cargas. Existen varios tipos y funciones



Control MPPT

El convertidor electrónico cuando opera como **control principal**, puede controlar el SFV y adicionalmente puede *localizar el punto de máxima potencia que puede dar el panel solar*, llamado **MPPT**, el cual requiere de un algoritmo de control y medio físico para su programación e implementación

Algoritmo

Indirectos

Bases datos + sensor variables

Bases datos + ciclo diurno

Directos

Diferenciación

Conductancia incremental (CI)

Perturbación - observación (P&O)

Inteligentes

Lógica Difusa

Redes neurales

Otros

Implementación

Microcontrolador

DSP

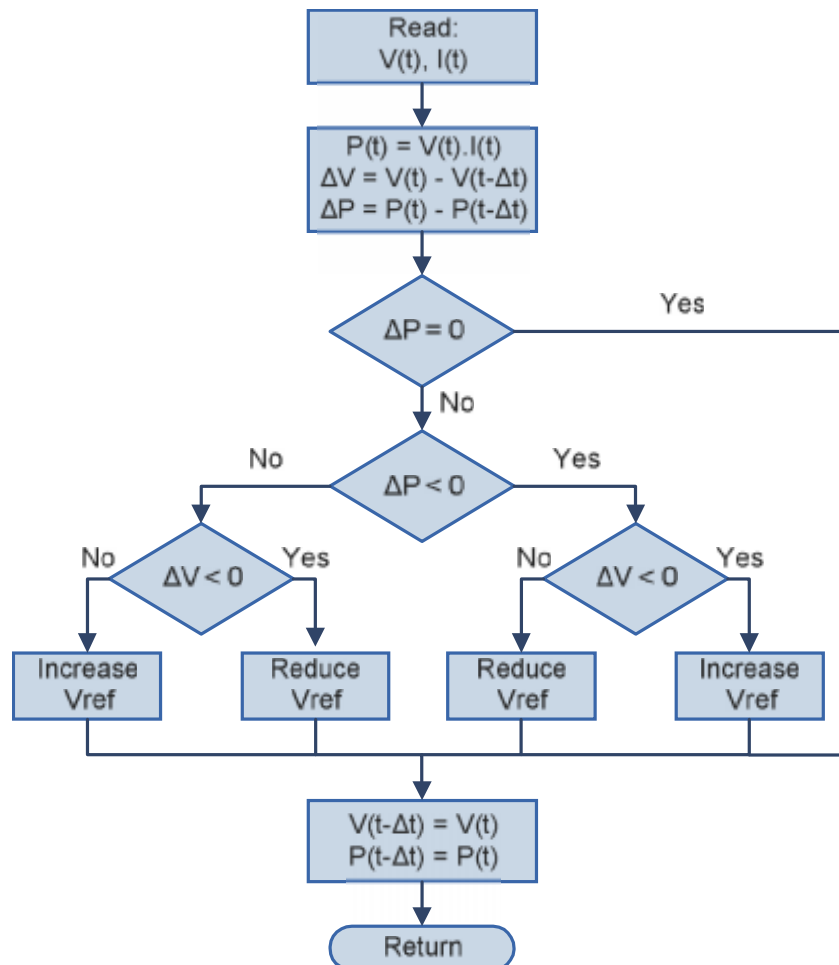
FPGA

Circuitos discretos

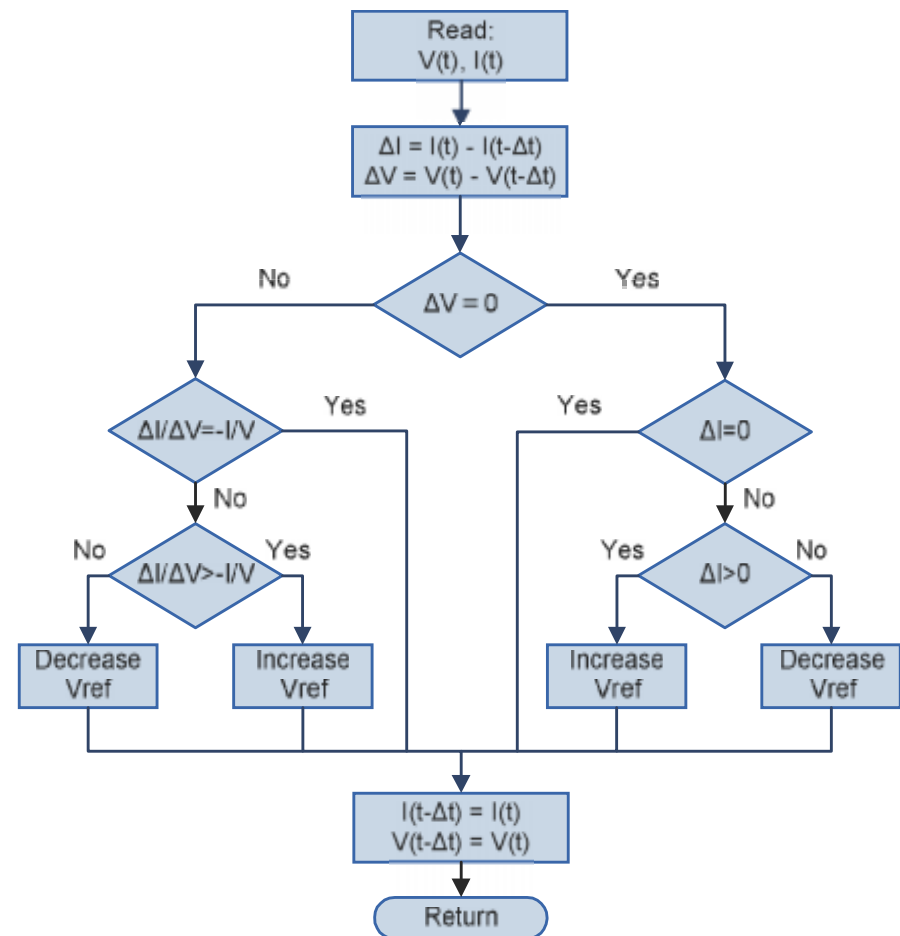
Computadora

Algunos de los algoritmos mas utilizados de forma comercial son: El perturbación observación (P&O) y el de inductancia incremental

Algoritmo P&O



Algoritmo CI



5. Problemática

Las variaciones de temperatura e irradiancia, nublados parciales o totales y los cambios en la carga eléctrica, ocasionan una reducción en la eficiencia de los paneles solares, al no operar en el MPP.

Estas afectaciones modifican el comportamiento de las curvas características en cada instante del día, y entre un día y otro. En consecuencia, el MPP cambia su ubicación denotando una condición no lineal e impredecible.

Cuando los MPPT tienen una rapidez de respuesta a variaciones del MPP, éstas son imprecisas e inestables (oscilan en el MPP); Si tienen estabilidad o precisión, su respuesta es lenta. No se informa sobre los intervalos de operación y la respuesta del MPPT en sus límites

Los MPPT son generalizados para cualquier ubicación geográfica, no se reporta cual técnica de control es más eficiente en diferentes ubicaciones y cual MPPT tendría un mejor intervalo de respuesta.

El microclima de Mérida no analiza las variables que afectan a los paneles solares. Se desconoce el potencial de energía solar y de energía eléctrica extraíble de un SFV.

6. Descripción del proyecto

Basado en el análisis y caracterización de las variables del microclima de Mérida Yucatán que afectan a los paneles solar y del análisis comparativo de las principales técnicas de control para los convertidores con MPPT en condiciones simultaneas, entonces se puede diseñar un algoritmo experto con una técnica de control no lineal para un convertidor con MPPT que ofrezca mayor eficiencia en intervalos de operación mas amplios de los sistemas fotovoltaicos en Mérida, Yucatán.

7. Objetivos

Diseñar un algoritmo de control no lineal de un convertidor electrónico con MPPT, a partir del conocimiento y análisis de la temperatura, irradiancia y nubosidad de Mérida para elevar su eficiencia en un intervalo de operación amplio.

Caracterizar las condiciones del microclima para la ciudad de Mérida, Yucatán que afectan la eficiencia de los paneles solares, para determinar el potencial de energía solar y de generación de electricidad en Mérida, Yucatán.

Analizar y simular en computadora, las condiciones del sistema experto con diferentes técnicas de control no lineal que permitan elevar la eficiencia convertidor electrónico con MPPT.

Implementar el nuevo algoritmo de control no lineal, en un convertidor electrónico para realizar la función de MPPT en un microcontrolador digital.

Contrastar y comparar los resultados del nuevo algoritmo de control no lineal para un MPPT respecto a las principales MPPT probados con anterioridad.

8. Aportaciones

Un algoritmo experto con una técnica de control no lineal para un convertidor con MPPT que ofrezca mayor eficiencia a los sistemas fotovoltaicos en Mérida, Yucatán.

Determinación de cual de las técnicas de MPPT incluyendo la propuesta tiene las mejores características de forma experimental y simultanea

Obtención del potencial de energía solar y de generación eléctrica fotovoltaica en Mérida Yucatán.

Obtención de una metodología para determinar el potencial de energía solar y de generación eléctrica fotovoltaica en Mérida Yucatán.

9. Referencias

- [1] International Energy Agency (IEA), World Energy Outlook 2011, Paris Cedex France.
- [2] Renewable energy policy network for the 21ST Century (REN21), Renewable 2011, Global status report, Paris France.
- [3] Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables, Secretaría de energía (SENER), Gobierno Federal México, 2009.
- [4] Programa sectorial de energía 2007-2012, Secretaría de Energía, Gobierno Federal México 2007
- [5] Héctor L. Gasquet, Conversión de la luz solar en energía eléctrica, Manual teórico práctico sobre los sistemas fotovoltaicos, El paso solar energy associations, Solartronic SA. de CV., Cuernavaca Morelos, Octubre 2004.
- [6] Bhubaneswari Parida, S. Iniyar, Ranko Goic, "A review of solar photovoltaic technologies", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 15, January 2011, pages 1625–1636
- [7] R. Chenni, M. Makhlouf, T. Kerbache, A. Bouzid, "A detailed modeling method for photovoltaic cells", Energy, volume 32, December 2005, pages 1724–1730.
- [8] Andujar Márquez, Enrique Gómez, Durán Aranda, Martínez Bohorquez, "Sistema para la generación automática de curvas V-I, V-P y monitorización de módulos fotovoltaicos", XXV Jornadas Automática, Ciudad Real, septiembre de 2004.
- [9] Mehmet Emin, Furkan Dincer, "A review of the factors affecting operation and efficiency of photovoltaic based electricity generation systems", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 15, January 2011, pages 2176-2184
- [10] G. Saravanan Lango, P. SrinivasaRao, A. Karthikeyan, C. Nagamani, "Single-stage sine-wave inverter for an autonomous operation of solar photovoltaic energy conversion system", Renewable Energy, Volume 35, Issue 1, January 2010, Pages 275-282
- [11] Andrés Escobar, Carlos Torres, Ricardo Hincapié, "Connecting photovoltaic systems to the power grid", Scientia et Technia, año XVI, No. 44, abril 2010. ISSN 012-1701

