



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

*"Enseñar la explotación de la
Tierra, no la del hombre"*

**POSGRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA
Y USO INTEGRAL DEL AGUA**

METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS A INVERNADEROS

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA
Y USO INTEGRAL DEL AGUA**

PRESENTA:

TELÉSFORO MARTÍNEZ CASTELLANOS

Enero 2014, Chapingo Estado de México



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
UNIDAD DE EXAMENES PROFESIONALES





METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS A INVERNADEROS

Tesis realizada por el C. Telésforo Martínez Castellanos bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA,
ORIENTACIÓN MECANIZACIÓN AGRÍCOLA**

DR. EUGENIO ROMANTCHIK KRIUCHKOVA

DIRECTOR

DR. EFRAÍN CONTRERAS MAGAÑA
ASESOR
M.I. FRANCISCO BETANZOS CASTILLO
ASESOR



DEDICATORIA

A mis padres, Juan Francisco y María Guadalupe, por sus consejos, apoyo incondicional para seguir siempre adelante y por ser una fuente de motivación. Los amo.

A mi hermana Rita, Sofía, Paula, María Luisa, Blanca y a mis hermanos, Juan Cutberto y Jaime Gonzalo. Son los mejores hermanos que pude tener.

A Emma al ser parte importante en mi vida, motivarme en momentos difíciles y estar en los momentos justos. ¡Eres genia! ¡Te quiero”

A mis amigas y amigos; Miriam, Teresa, Norma, Imelda, Virgilio, Ricardo, Beto,...por la amistad que me brindan.

A mis compañeros de la maestría; Benito, Nadia, Jesús, Yaneli, Ruth, Mulmaro y Ricardo (†), por los grandes momentos vividos y compartidos.



AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico para realizar y culminar con éxito la maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo por la oportunidad brindada para realizar mis estudios de Maestría.

Al Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua por matricularme y formarme como Maestro en Ingeniería.

Al Dr. Eugenio Romantchik Kriuchkova por su constante apoyo y motivación en la realización de este trabajo y haber confiado en mí.

Al Dr. Efraín Contreras Magaña, por sus acertados comentarios e indicaciones para el mejoramiento del trabajo.

Al M.I. Francisco Betanzos Castillo por sus aportaciones y asesoramiento en la tesis.

Al M.C. René Martínez Elizondo y al Ing. Ignacio Ramírez, por su apoyo y autorización en el desarrollo de la investigación.

A Rosy por ser parte durante mi formación y su apoyo incondicional.

A L.I.A. Maricela R., Ing. Oscar Moreno, Ing. Bonifacio P., Juan Antonio, C. Roberto y cada una de las personas que intervinieron de manera directa e indirecta en el trabajo.

A ti DIOS ¡Gracias!



DATOS BIOGRÁFICOS

Telésforo Martínez Castellanos originario del municipio de San Juan Quiotepec, del distrito de Ixtlán de Juárez de la sierra norte del Estado de Oaxaca. Con fecha de nacimiento el 5 de enero de 1987. Realizó estudios básicos en la escuela primaria “Revolución” y la secundaria técnica # 134 en la misma comunidad de nacimiento. Los estudios a nivel medio superior los realizó en la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada en Texcoco Estado de México. La licenciatura lo cursó en la misma casa de estudios, se graduó en el 2010 como Ingeniero Mecánico Agrícola con la tesis “Análisis de calidad de energía eléctrica en preparatoria agrícola de la UACH”. En el año 2011, fue seleccionado por el programa de Maestría en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua de la Universidad Autónoma Chapingo.



METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS A INVERNADEROS

Telésforo Martínez Castellanos¹; Eugenio Romantchik Kriuchkova²; Francisco Betanzos Castillo³; Efraín Contreras Magaña³

RESUMEN

La alta contaminación que emana la producción de energía eléctrica por medio de los combustibles fósiles, ha conducido a la búsqueda de nuevas alternativas energéticas, entre ellos los sistemas fotovoltaicos (SFV). El trabajo se hizo en dos partes, la primera fue el desarrollo de una metodología de selección de componentes fotovoltaicos para suministrar energía a invernaderos y la segunda parte fue la aplicación en los invernaderos del campo experimental "Tlapeaxco" de la Universidad Autónoma Chapingo. Las cuales tienen una superficie de 6,165 m². Se seleccionó e instaló un SFV de 3.68 kWp, 2 controladores de 80 A., un banco de baterías de 1200 Ah a 24 V y un inversor/cargador de 4 kW, para generar y suministrar 13 kWh/día a una motobomba de 3 hp y un motor de agitador de 1.5 hp, del sistema de riego, con un caudal $1.15 \pm 0.35 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ y presión de $2.8 \pm 0.2 \text{ kg cm}^{-2}$. Del análisis del sistema eléctrico se detectó un factor de potencia de 0.7 por lo que se instaló un banco de capacitor de 2kVAR y se aumentó a 0.94 el factor de potencia. Se monitoreó el SFV y se afirmó que la producción de energía $14 \pm 1.5 \text{ kWh}$ garantiza el suministro de energía al sistema de riego.

Palabra clave: Energías renovables, Factor de potencia, software

1 Tesista
2 Director
3 Asesores

METHODOLOGY FOR SELECTION AND APPLICATION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS TO GREENHOUSE

Telésforo Martínez Castellanos¹; Eugenio Romantchik Kriuchkova²; Francisco Betanzos Castillo³; Efraín Contreras Magaña³

ABSTRACT

High pollution emanating from electrical energy production through fossil fuels has led to search for new alternative energy ways, including photovoltaic systems (PVS). The work was done in two parts; the first part was the development of a methodology for the selection of photovoltaic elements for powering greenhouses, and the second one was the application in the experimental field greenhouses of the Chapingo Autonomus University "Tlapeaxco" greenhouse, which has an area of 6,165 m². A PVS of 3.68 kWp, two controllers of 80 A, a battery bank of 1200 Ah to 24 V and an inverter/charger for 4 kW were selected and installed for generating and supplying 13 kWh/day to a pump of 3 hp and one agitator engine of 1.5 hp, for the irrigation system at a rate $1.15 \pm 0.35 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ and $2.8 \pm 0.2 \text{ pressure kg cm}^{-2}$. From the electrical system a power factor of 0.7 was detected so a capacitor bank of 2kVAR was installed and the power factor to 0.94 was increased. The PVS has been monitored and it was stated that energy production $14 \pm 1.5 \text{ kWh}$ guarantees the energy supply to the irrigation system

Keyword: Renewable energy, power factor, software



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
DATOS BIOGRÁFICOS.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	3
2.1. Sistemas fotovoltaicos en la agricultura.....	3
2.1.1. Metodologías desarrolladas para sistemas fotovoltaicos	4
2.2. Sistema fotovoltaico.....	8
2.2.1. Tipos de sistemas fotovoltaicos y aplicaciones	10
2.2.2. Aplicaciones del sistema fotovoltaico autónomo	11
2.3. Componentes de los sistemas fotovoltaicos.....	12
2.3.1. Subsistema de generación.....	13
2.3.2. Subsistema de acumulación	15
2.3.3. Subsistema de regulación	16
2.3.4. Subsistema de adaptación	18
2.4. Consideraciones para instalaciones fotovoltaicas	19
2.4.1. Horas solar pico	20
2.4.2. Orientación e inclinación	21
2.4.3. Efecto de sombras	22
2.5. Sistemas de invernaderos	22
2.5.1. Sistema de riego	23
2.5.2. Sistema de calefacción	24
2.5.3. Sistema de ventilación	25
2.5.4. Sistema de sombreado	27



2.5.5.	Sistema de Iluminación	28
2.5.6.	Sistema de humidificación.....	28
2.6.	La electricidad en los invernaderos	30
2.6.1.	Relación del tipo de potencias	31
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	33
3.1.	Determinación de la necesidad energética	33
3.2.	Determinación de la radiación solar disponible.....	35
3.3.	Metodología de cálculo y dimensionado del sistema fotovoltaico	36
3.3.1.	Cálculo del subsistema de captación o generación	36
3.3.2.	Cálculo del subsistema de acumulación	40
3.3.3.	Cálculo del subsistema de regulación	43
3.3.4.	Cálculo del subsistema de adaptación del suministro eléctrico. 45	
3.3.5.	Selección de calibre de conductores.....	46
3.4.	Elementos necesarios para desarrollo de un software de selección de equipos fotovoltaicos	47
3.4.1.	Catálogo de elementos eléctricos de los sistemas de invernadero	47
3.4.2.	Catálogo de horas solar pico.....	48
3.4.3.	Catálogos de equipos fotovoltaicos.....	49
3.4.4.	Algoritmos de Selección.....	50
3.4.5.	Formato de presentación de los resultados de selección.....	51
3.5.	Aplicación a invernaderos de Tlapeaxco	53
3.5.1.	Localización y descripción del sitio.....	53
3.5.2.	Caracterización de los Invernaderos de Tlapeaxco.....	54
3.5.3.	Caracterización del sistema de riego	55
3.5.4.	Caracterización de los parámetros eléctricos.....	58
3.5.5.	Subsistema de monitoreo y registro	59
3.5.6.	Adquisición de datos de radiación solar	60



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
4.1. Catálogo para software de selección	62
4.1.1. Catálogo de equipos de invernadero.....	62
4.1.2. Catálogo de sitios.....	62
4.1.3. Catálogo de equipos fotovoltaicos.....	63
4.1.4. Algoritmos de selección de equipos fotovoltaicos	65
4.2. Aplicación de la metodología para desarrollo de software.....	70
4.2.1. Determinación de costos de sistemas fotovoltaicos	71
4.2.2. Análisis del uso de baterías	73
4.3. Aplicación del sistema fotovoltaico a invernaderos de Tlapeaxco ...	75
4.3.1. Análisis de las horas solar pico	75
4.3.2. Análisis de los parámetros eléctricos medidos.....	80
4.3.3. Mejoramiento del sistema eléctrico con banco de capacitores .	84
4.3.4. Acondicionamiento para conexión del sistema fotovoltaico al riego	89
4.3.5. Selección del sistema fotovoltaico.....	91
4.3.6. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico	92
4.3.7. Costo del sistema Fotovoltaico	93
4.3.8. Diseño de la instalación fotovoltaica	95
4.3.9. Instalación y conexión del sistema fotovoltaico	96
4.3.10. Monitoreo de funcionamiento del sistema fotovoltaico.....	101
CONCLUSIONES	104
LITERATURA CITADA	106
ANEXOS.....	112
1) Valores para corrección de Factor de potencia.....	112
2) Diagrama eléctrico modificado del control del sistema de riego	113
3) Diagrama eléctrico del sistema fotovoltaico de Tlapeaxco.....	114
4) Bitácora de mantenimiento del Sistema fotovoltaico	115



5) Especificaciones eléctricas del módulo solar fotovoltaico	117
6) Especificaciones eléctricas y mecánicas de la batería.....	118
7) Especificaciones eléctricas y mecánicas del regulador.....	119
8) Especificaciones eléctricas del inversor	120
9) Especificaciones mecánicas del inversor	121
10) Tablas para selección de calibre Condumex	122
11) Resultado general de selección del software.....	123



ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Actividades agrícolas con energía fotovoltaica en el sector agrícola	4
Cuadro 2. Tipos de módulos fotovoltaicos y su eficiencia	14
Cuadro 3. Límites de voltajes de regulación	17
Cuadro 4. Clasificación del tipo de inversores	18
Cuadro 5. Reducción de potencia por sombreado en el módulo fotovoltaico	22
Cuadro 6. Formato para registrar los equipos de consumos	34
Cuadro 7. Cálculo del cociente entre dos valores durante un año	35
Cuadro 8. Datos iniciales para dimensionado de baterías	40
Cuadro 9. Energía consumida por día y capacidad de acumulación necesaria.....	40
Cuadro 10. Baterías en paralelo, según voltaje y días autónomos.....	41
Cuadro 11. Baterías necesarias para determinado días autónomos.....	42
Cuadro 12. Costo de baterías según el tipo y determinado días autónomos.....	42
Cuadro 13. Reporte general de los resultados de selección	51
Cuadro 14. Reporte resumido de los resultados de selección	52
Cuadro 15. Área de los invernaderos de Tlapeaxco	54
Cuadro 16. Información técnica de las bombas del sistema de riego.....	57
Cuadro 17. Equipos y horas de funcionamiento del sistema de riego	57
Cuadro 18. Datos de referencia de la estación meteorológica automática.....	60
Cuadro 19. Catálogo de marcas de marca de módulos fotovoltaicos.....	63
Cuadro 20. Catálogo de marcas de controladores	63
Cuadro 21. Catálogo de marcas de baterías.....	64
Cuadro 22. Catálogo de marcas de inversores	64
Cuadro 23. Parámetros eléctricos medidos de las bombas	89
Cuadro 24. Datos técnicos de la bomba de sustitución.....	90
Cuadro 25. Resultado de cálculos del dimensionamiento del sistema fotovoltaico .	92
Cuadro 26. Costo real del sistema fotovoltaico de Tlapeaxco	93
Cuadro 27. Costos de producción del sistema fotovoltaico de Tlapeaxco	94



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de un sistema fotovoltaico.....	12
Figura 2. Proceso y efecto de la radiación solar.....	19
Figura 3. Distribución de la irradiación solar en un día sin nubes.....	20
Figura 4. Componentes básicos de un sistema de fertirriego automático	24
Figura 5. Automatización de ventanas por acción de motor eléctrico.....	26
Figura 6. Malla sombra dentro del invernadero	27
Figura 7. Ventiladores para recirculación de aire	29
Figura 8. Triángulo de potencias.....	31
Figura 9. Fases del desarrollo del trabajo de investigación	33
Figura 10. Irradiación solar global en México	48
Figura 11. Ubicación de Tlapeaxco y Texcoco.....	53
Figura 12. Superficie de los invernaderos de Tlapeaxco.....	55
Figura 13. A) Esquema hidráulico de riego B) Control de riego nimbos	56
Figura 14. Comportamiento del ciclo de riego durante un día normal	56
Figura 15. Medición de los parámetros eléctricos con el FLUKE 450.....	58
Figura 16. Estación Meteorológica Automática- Chapingo.....	61
Figura 17. Diagrama de funcionamiento general del sistema de selección	65
Figura 18. Diagrama de selección de módulos fotovoltaicos.....	66
Figura 19. Diagrama de selección de baterías.....	67
Figura 20. Diagrama de selección de controladores	68
Figura 21. Diagrama de selección del inversor	69
Figura 22. Pantalla de inicio del software de selección de sistema fotovoltaico	70
Figura 23. Costo de sistemas fotovoltaicos para diferentes horas de uso de 1, 2 y 3 bombas de 1,2 y 3 HP	72
Figura 24. Costo de uso de 3 tipos de baterías para 3 diferentes consumos	73
Figura 25. Horas solar pico 2011 a 2013	75
Figura 26. Radiación solar semanal de Mayo 2012	76
Figura 27. Comparación de radiación diaria de una semana en mayo 2012	77



Figura 28. Radiación solar semanal de enero 2013	77
Figura 29. Comparación de radiación diaria de una semana en enero 2013.....	78
Figura 30. Radiación diaria de una semana en Junio 2013.....	79
Figura 31. Radiación solar, precipitación y velocidad de viento en verano.....	79
Figura 32. Comportamiento de la corriente durante el riego	80
Figura 33. Comportamiento del voltaje durante el riego	81
Figura 34. Comportamiento de las potencias durante el riego	82
Figura 35. Comportamiento de corriente y voltaje durante un riego	83
Figura 36. Banco de capacitor conectado a sistema de riego	84
Figura 37. Diagrama eléctrico de la medición del banco de capacitor	85
Figura 38. Comportamiento de la corriente con y sin banco de capacitores.....	86
Figura 39. Comportamiento de la potencia real con y sin banco de capacitores ...	86
Figura 40. Comportamiento de la potencia reactiva con y sin banco de capacitores	87
Figura 41. Comportamiento del factor de potencia con y sin banco de capacitores	87
Figura 42. Arreglo fotovoltaico de ocho módulos fotovoltaicos.....	95
Figura 43. Componentes del sistema fotovoltaico.....	96
Figura 44. A) Caja de conexiones en paralelo B) Fachada posterior del montaje de los módulos fotovoltaicos.....	97
Figura 45. Conexiones en paralelo de módulos fotovoltaicos.....	97
Figura 46. Conexión de baterías en serie-paralelo.....	98
Figura 47. Conexiones del sistema de regulación.....	99
Figura 48. Conexiones del sistema de inversión.....	99
Figura 49. Conexiones del sistema de conducción y seguridad	100
Figura 50. Diagrama de conexión de los equipos de monitoreo.....	101
Figura 51. Producción y consumo de energía en el mes de Abril 2012.....	102
Figura 52. Monitoreo del sistema fotovoltaico conectado al sistema de riego	103



1. INTRODUCCIÓN

Desde hace unos años se ha empezado a buscar alternativas para el suministro de energía eléctrica. El uso de los sistemas fotovoltaicos a nivel doméstico, exclusivamente para la tarifa DAC (de alto consumo) ya se están utilizando en México, incluso ya existe financiamiento por parte del Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE) y el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) que impulsan el uso de esta tecnología como una medida para reducir las altas tarifas de facturación.

La aplicación de sistemas fotovoltaicos en la agricultura ha sido extensamente usado en el bombeo de agua (Sánchez, 2006). La electricidad en los invernaderos, tiene una aplicación muy importante en el funcionamiento de los equipos eléctricos, tales como motores de bombas de sistemas de riego, electroválvulas, sensores y actuadores para el control climático, temporizadores, moto reductores para el movimiento de mallas, motores eléctricos de ventiladores, extractores, calentadores y lámparas.

El suministro eléctrico de los invernaderos es por medio de la red eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), aunado al auge de la instalación de invernaderos que es cada vez más popular, la demanda energética también está en aumento. Esto conlleva a un aumento en la contaminación por la generación de electricidad por medio de los combustibles fósiles. Es por ello la



importancia de buscar e implementar el uso de energías renovables como una alternativa para la generación de electricidad amigable con el ambiente.

Objetivos

El objetivo general de la investigación fue el desarrollo de la metodología de selección de los componentes del sistema fotovoltaico en función de los equipos, horas de uso y consumo de los sistemas de un invernadero.

Objetivos particulares

- 1) Desarrollo del algoritmo que sea capaz de calcular y proponer de manera óptima componentes fotovoltaicos.
- 2) Formación de la base de datos en forma de catálogos de los componentes fotovoltaicos, motores y la irradiación de lugares.
- 3) Aplicación del sistema de selección de componentes fotovoltaicos a invernaderos de la Universidad Autónoma Chapingo.
- 4) Diseño, construcción y monitoreo de funcionamiento del sistema fotovoltaico.



2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Sistemas fotovoltaicos en la agricultura

Bermejillo (2007) estudió sobre el accionamiento de cuatro motores (tres cenital y un latera) con energía eléctrica convencional, y 4 motores (tres cenital y un lateral) con energía solar fotovoltaica y respaldo de red eléctrica convencional. El consumo energético de los motores mediante energía eléctrica convencional fue de 0.33 kWh ligeramente superior al consumo de las accionadas por energía solar –red eléctrica, que fue de 0.26 kWh. Sus resultados mostraron que la energía solar por sí sola es suficiente para el accionamiento de los motores. Su trabajo solamente hace uso de sistema de ventilación no contemplando los otros sistemas del invernadero.

Para tener las condiciones óptimas de clima (temperatura, humedad y CO₂) y de producción dentro de un invernadero es necesario equipar los siguientes sistemas: riego, ventilación, calefacción, humidificación, sombreado principalmente. Los motores de las bombas trabajan con energía eléctrica de instalaciones cercanas. Sin energía eléctrica se complica obtener las condiciones óptimas de producción (Romanchik, 2008 y Sánchez, 2009).

Sánchez (2004) analizó la aplicación de la energía fotovoltaica a diferentes sistemas del invernadero (ventilación, riego, humificación, pantalla térmica principalmente) con un consumo de 11.490 kWh. Concluyó que no es viable



económicamente suministrar toda la energía necesaria para el invernadero instalar sistemas fotovoltaicos y propone utilizar sistemas mixtos de generación de energía eléctrica para no elevar los costos de los Sistemas fotovoltaicos (SFV). En su trabajo no contempló la selección de componentes fotovoltaicos económicos.

Cuadro 1. Actividades agrícolas con energía fotovoltaica en el sector agrícola

Sector agrícola-pecuario	Porcentaje
Irrigación	23
Refrigeración de cultivos, carne, pescado, lácteos, otros	2
Iluminación (aves de corral, ganado)	9
Bombeo de agua para piscicultura	5
Bombeo de agua para	19
Control de plagas	2
Cercas eléctricas para control del pastoreo	14
Iluminación para procesar pescado	2
Iluminación para pesca	5

Fuente: Encuesta de la FAO (2007)

El cuadro 1 muestra un panorama general de los usos de SFV en los proyectos o empresas en el sector agrícola, en lo que refiere a invernaderos aun no aparece en el rubro por su poca difusión

2.1.1. Metodologías desarrolladas para sistemas fotovoltaicos

Las investigaciones de las aplicaciones de SFV son extensas (Sánchez, 2004; Bermejillo, 2007; Pérez *et al.*, 2011; Escobar, 2010) y lo que refiere en la selección de los componentes FV existe poca información o herramientas, una de ellas es el programa de evaluación técnica y económica para sistemas



fotovoltaicos domésticos desarrollado por la CONAE, actualmente CONUEE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía) que pusieron en su página de internet el software FV2.0 (CONAE, 2002) para uso público y gratuita. Este sistema es una herramienta eficiente que permite seleccionar la carga que se conectaría y además calcula parámetros eléctricos y al mismo tiempo ofrece una propuesta y el costo de adquisición de un sistema fotovoltaico. La desventaja de este sistema es sobre los catálogos de los equipos, éstos son obsoletos y los precios no son los actuales.

PVsyst es el software más usado en el ámbito fotovoltaico que estudia y analiza proyectos definidos, cálculos de producción, estudios de sombra y pérdidas principalmente (Mermoud y Wittmer, 2013). Las desventajas son que su base de datos es exclusivamente para Europa, no hay selección de componentes fotovoltaicos, y por tanto no es aplicable de manera confiable en México además su licencia de uso no es libre.

HOGA (Hybrid Optimization by Genetic Algorithms) es una herramienta informática que simula, evalúa y optimiza la combinación sistemas híbridos de energías renovables (eólica, hidráulica, fotovoltaica) para la generación de energía eléctrica en zonas aisladas (Dulfo y Bernal, 2011). Aunque el sistema da una propuesta de un sistema óptimo para la generación de energía eléctrica, no ofrece selección de componentes fotovoltaicos.



Pérez *et al.*, (2011) utilizaron el software HOGA obtuvieron que el sistema más económico para satisfacer una demanda de 14.946 kWh/día es un sistema híbrido (fotovoltaica-eólica) incluso baterías, cuya energía cuesta 0.23 €/kWh es decir, alrededor de 4 \$/kWh.

HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) es un software que evalúa la viabilidad técnica y económica de un gran número de opciones de generación de energía eléctrica, las variaciones en los costos de la tecnología y la disponibilidad de los recursos energéticos (Homer Energy, 2005). Este software tampoco ofrece una solución específica en la selección de componentes fotovoltaicos.

Rodríguez *et al.*, (2010) utilizaron el software “HOMER para la simulación dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para electrificación rural, Obtuvo información que el costo de la electricidad fuera de 0.292 \$/kWh para un sistema con dos a tres días de autonomía, hubo 70% de descarga profunda de baterías, la tasa de fallos fue menor o igual a 1, mientras para un sistema de 1.5 a dos días de autonomía y una tasa de fallos de 1 a 3%, el costo de electricidad fue de 0.298 \$/kWh.

Álvarez (2010) desarrolló un software “Fotocal” que calcula el área del panel solar y su costo, tomando en cuenta la demanda energética determinada por una problemática dada. Este sistema solamente hace énfasis en el subsistema de generación fotovoltaica, omitiendo los demás componentes fotovoltaicos.



Una herramienta para la enseñanza de la energía solar fotovoltaica la desarrolló Peña (2012). Entre las importantes aplicaciones de dicho desarrollo es la evaluación de la radiación solar disponible, la selección y configuración de los componentes del sistema, y también la estimación del rendimiento global y la energía total producida.

Valiente (2009) diseñó e implementó una aplicación informática capaz de calcular una instalación de energía solar fotovoltaica y generar un informe exhaustivo a partir de la especificación de variables conocidas, como son la potencia demandada, la tensión y la localización donde se desea realizar una instalación eléctrica.

En la actualidad, ya existen paquetes de sistemas fotovoltaicos con opciones de bombeo e iluminación principalmente, tal es el caso del modelo SAE-BR-2088-120, Saecsa (2010). Pero son principalmente de uso residencial, hay poca información de uso de energía fotovoltaico en la agricultura y menos para invernaderos (Romantchik, 2007; Bermejillo, 2007; Sánchez, 2004).

Amtmann (2009) presentó un estudio donde esperan una reducción considerable en los precios de los sistemas fotovoltaicos durante los próximos años lo que permitirá usar más ampliamente los sistemas fotovoltaicos en la agricultura en México.



2.2. Sistema fotovoltaico

El sistema fotovoltaico es el conjunto de elementos necesarios para realizar el suministro de electricidad para satisfacer las necesidades de una instalación, a partir de la energía procedente del sol (Ibáñez, 2004).

Los recursos solares en México son en promedio 60 % más altos que en Alemania y España quienes son los líderes con un total de 8.7 GW instalados, representando 67 % de la capacidad fotovoltaica instalada a nivel mundial (FUMEC, 2010). México tiene en promedio 5 Hsp (Horas solar pico), lo cual es muy propicio para la utilización de celdas fotovoltaicas (CONAE, 2008).

La importancia de energía solar fotovoltaico para México se refleja a través de resolución de la Secretaria de Energía (2007), que desarrolló el formato especial para un contrato de instalaciones de pequeña escala hasta 30 kW y su uso también para conexiones a la red eléctrica para su recuperación.

Los SFV suministran electricidad con excelentes resultados aunque no son siempre la mejor solución para todas las necesidades de energía. Es por ello la importancia de tomar en cuenta las ventajas y desventajas de esta tecnología.



Ventajas

Fiabilidad. Aún en las más severas condiciones, los SFV han probado su fiabilidad.

Durabilidad: La mayoría de los MFV están garantizados durante 25 a 30 años.

Disponibilidad. Los SFV sobrepasan el 95% de disponibilidad.

Mantenimiento. Los mantenimientos son 2 o 3 veces al año sin altos costos.

Impacto ambiental. Ningún sistema de generación eléctrica es inofensivo con el medio ambiente. Los sistemas fotovoltaicos son de muy bajo impacto medioambiental en comparación con otras alternativas.

Combustible. La energía solar realiza el papel de combustible, es gratuita y es inagotable.

Modularidad fotovoltaica. Su construcción modular facilita la ampliación de las instalaciones fotovoltaicas.

Desventajas

Costo inicial. Es relativamente más alto que otras alternativas de generación. Aunque hay que considerar que el costo de SFV decrece en tanto que aumenta el costo de CFE incrementa.

Uso de baterías. Las baterías necesitan mantenimiento y terminada su vida útil deben ser reemplazados y reciclados (contienen materiales tóxicos).

Variabilidad de la radiación solar. La constante variación del tiempo lo convierte en un inconveniente al no producir constantemente la misma energía.



2.2.1. Tipos de sistemas fotovoltaicos y aplicaciones

La configuración de los SFV es en función de la aplicación a la que están destinadas. Enseguida se hace mención de los diferentes tipos.

Sistema con cargador fotovoltaico de baterías integrado

Este arreglo puede resultar económico cuando complementa o reemplaza un sistema de baterías desechable tal como en las linternas.

Sistemas de uso diurno

Son los más simples y menos caros. Estos sistemas consisten en módulos FV conectados directamente a un aparato de CD (Corriente directa), omite las baterías, controlador y el inversor. Con una mayor insolación incrementa la potencia de salida.

Sistemas de corriente directa con batería

Son diseñados para operar cargas de CD durante la noche o días nublados. Las cargas reciben energía eléctrica directamente de las baterías en el momento que se requiera.

Sistemas con cargas de corriente alterna

En estos sistemas se requiere forzosamente de un inversor, el cual hace la función de convertir la CD a CA (Corriente alterna). Regularmente los equipos como motores trabajan con CA.



Sistemas híbridos

Un sistema híbrido se compone de dos o más fuentes de energía para el suministro eléctrico a las cargas. La forma más común es la incorporación de generadores diesel o gas y turbinas eólicas

Sistemas interconectados a la red

Este tipo de sistemas no usan baterías, pues la red actúa como una reserva de energía. Se suministra la energía a la red a través de un inversor especialmente diseñado. Una desventaja de este sistema es su dependencia con la red, es decir, si el servicio eléctrico falla también el sistema fotovoltaico fallaría.

Atendiendo la posibilidad de estar o no conectada a la red eléctrica pública, se considera dos tipos: SFV autónomos y SFV conectados a la red eléctrica.

2.2.2. Aplicaciones del sistema fotovoltaico autónomo

Los SFV son la opción renovable más generalizada para proveer electricidad a hogares rurales aislados, debido a la universalidad del recurso solar y su sencilla operación, frente a la eólica y micro hidráulica (Juanico y Rinalde 2010). La aplicación en el espacio es una de las más antiguas y en donde se tiene origen del uso de sistemas fotovoltaicos.

En México aun existe un 2.49 % de viviendas sin electricidad (CONAPO, 2005). Son lugares donde resulta difícil tener acceso por las condiciones geográficas,



además el coste de una instalación fotovoltaica suele ser menor que el de la prolongación de la línea eléctrica de la CFE (Poblano, 2013)

Las aplicaciones terrestres son principalmente para la electrificación rural, telecomunicaciones, señalización en carreteras, plataformas petroleras, iluminación de calles, vallas publicitarias, accesorios cotidianos y el bombeo de agua

2.3. Componentes de los sistemas fotovoltaicos

Un sistema solar fotovoltaica normalmente consta de los siguientes componentes o subsistemas. (Ibáñez, 2004)

- 1) Subsistema de generación
- 2) Subsistema de acumulación
- 3) Subsistema de regulación
- 4) Subsistema de adaptación

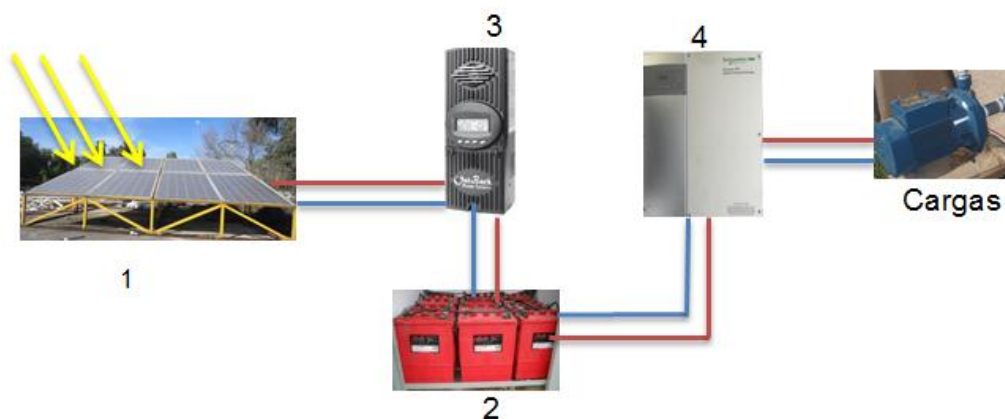


Figura 1. Componentes de un sistema fotovoltaico



2.3.1. Subsistema de generación

Está formado por un conjunto de módulos o paneles FV, conectados convenientemente, que realizan la captación de la energía procedente del sol y la transforman, directamente en energía eléctrica, en forma de voltaje y corriente continua. (Ibáñez, 2004).

La unidad básica de un sistema fotovoltaico es la celda fotovoltaica. Se trata de cuadros delgados, discos o película de materia semiconductor que genera voltaje y corriente cuando se expone a la luz solar.

Un modulo fotovoltaico (MFV) puede convertir alrededor del 10-30% de la radiación disponible en energía eléctrica. La eficiencia del módulo depende del materia que esta fabricado.

Como norma general de aplicación en las instalaciones de energía solar fotovoltaica, no se deben montar módulos de distintas características y potencias (Valera *et al.*, 2008).

Parámetros eléctricos de un módulo fotovoltaico

Los parámetros de funcionamiento eléctrico que deben aparecer en las hojas de datos son:

- **Potencia eléctrica máxima ($P_{\max}$):** potencia correspondiente al punto de la característica intensidad-voltaje ($i-v$), también se denomina **potencia pico** (Wp).



- **Voltaje en circuito abierto (V_{oc}):** Voltaje de salida de un MFV en circuito abierto (sin carga).
- **Corriente de cortocircuito (I_{sc}):** Intensidad de salida de módulo fotovoltaico en cortocircuito.
- **Voltaje a máxima potencia (V_{mp}):** Voltaje correspondiente a la potencia máxima.
- **Corriente a máxima potencia (I_{mp}):** Corriente correspondiente a la potencia máxima.

Estos parámetros se tienen que especificar en Condiciones Estándar de Medida (CEM) o Standard Test Conditions (STC) que corresponden a una irradiancia en el plano del módulo de 1000 W/m^2 , temperatura del módulo de $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Los MFV más comerciales se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Tipos de módulos fotovoltaicos y su eficiencia

Tipos de MFV	Eficiencia en laboratorio (%)	Eficiencia en campo
Monocristalino	24	15 – 18
Policristalino	19 – 20	12 – 14
Amorfo	16	< 10



2.3.2. Subsistema de acumulación

La electricidad generada, se puede utilizar de manera directa, se puede almacenar en acumuladores para un uso posterior, e incluso se puede introducir en la red de distribución eléctrica (Méndez, 2006).

Para el caso que se requiera almacenar la electricidad se usan los acumuladores, éste es una pila que puede regenerarse mediante el paso de una corriente eléctrica. La fuerza electromotriz que producen es pequeña, por lo que se asocian varios acumuladores para constituir una batería (Ibáñez, 2004).

La elección del sistema de acumulación debe considerarse factores tanto económico como ambiental y tener en cuenta los siguientes inconvenientes.

- Almacenar energía conlleva una pérdida energética.
- La vida útil se mide en ciclos. Un ciclo es el proceso completo de carga-descarga. Mientras mas se de uso, el ciclo de vida útil es mas corto.

Los siguientes tipos de baterías se usan en SFV

- Baterías de plomo ácido
 - De líquido ventilada (vaso abierto)
 - Sellado (plomo ácido de válvula regulada)
- Baterías alcalinas
 - Níquel cadmio
 - Níquel hierro



Más del 90% del mercado corresponde a las baterías de Plomo ácido que en general y siempre que puedan realizarse un mantenimiento, son las que mejor se adaptan a los subsistemas de generación fotovoltaica (Guerrero, 2011).

Especificaciones de las baterías

En las especificaciones técnicas y comerciales facilitadas por el fabricante, con frecuencia proporcionan los siguientes datos:

- Tipo de batería
- Voltaje nominal
- Capacidad en Ah para regímenes de descarga ya sea de: C_{20} , C_{50} y C_{100} .
- Rango de temperaturas de funcionamiento.
- Profundidad máxima de descarga.
- Temperatura de congelación del electrolito
- Dimensiones y peso

2.3.3. Subsistema de regulación

Para el correcto funcionamiento de una instalación solar FV, se debe disponer de un subsistema de regulación de carga entre el generador FV y la batería. El regulador consiste en evitar sobrecargas y sobre descargas en las baterías.

Algunos reguladores incorporan dispositivos de información que proporcionan datos de interés del sistema, permitiendo controlar parámetros como la temperatura, lectura de la intensidad de carga, de descarga, y la tensión de batería, incluso algunos modelos incorporan contadores de Ah.



Especificaciones de los reguladores

En las especificaciones técnicas y comerciales facilitadas por el fabricante, con frecuencia proporcionan los siguientes datos:

- Voltaje nominal de baterías
- Corriente máxima de salida
- Voltaje de circuito abierto del arreglo FV
- Potencia máxima de salida del arreglo FV
- Seguidor de punto máximo de potencia

Los límites de los voltajes empleados en los reguladores para su conexión y desconexión del sistema se reflejan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Límites de voltajes de regulación

Tipo de sistema a 25 °C (V)	Desconexión de paneles (V)	Desconexión de la carga (V)
12	13.7 - 14.4	11.1 - 11.4
24	28.7 – 29	22.2 – 22.8
48	57 – 58	44.4 – 45.6

Fuente: Ente de Vasco

Cuando se consume mucha energía o se consume durante mucho tiempo, los reguladores activan una alarma, visual o acústica y enseguida corta el suministro de corriente a la carga, cuando el voltaje de la batería desciende excesivamente.



2.3.4. Subsistema de adaptación

Consiste en hacer compatibles entre si las características eléctricas (voltaje, intensidad, frecuencia) de los diferentes subsistemas que componen una instalación solar fotovoltaica incluidos los receptores (Ibáñez, 2004).

Inversores y tipos de inversores

Se trata de un dispositivo electrónico, cuya finalidad es la de adaptar las propiedades de la corriente eléctrica generada o acumulada a las de la corriente eléctrica requerida.

Cuadro 4. Clasificación del tipo de inversores

Por su aplicación	Por su forma de onda	Por el tipo de cargas a usar
Inversor – Cargador: conectado a la red y a banco de baterías	Cuadrada	Resistivas: Produce calor o luz.
Autónomos: Transforma energía del banco de baterías	Sinusoidal	Inductivas: Generan movimiento
Red: Inyecta la energía a la red de CFE	Cuadrada modificada	

Características de los inversores

Las principales características que están incluidos en las hojas técnicas de los inversores son:

- Eficiencia
- El uso (autónomos, red o inversor- cargador)
- El voltaje de entrada y salida
- La frecuencia (60 Hz en México)
- El pico de arranque máximo
- Protecciones contra sobrecarga, contra cortocircuito, contra el aumento de temperatura en el inversor, y contra el bajo voltaje en el acumulador



2.4. Consideraciones para instalaciones fotovoltaicas

Una buena instalación fotovoltaica considera varios aspectos para una correcta instalación, pero dos son los aspectos más sobresalientes:

- La radiación solar
- Valores de consumo energético

La radiación solar es el parámetro principal dentro de una instalación fotovoltaica o térmica. Por ello su importancia de disponer de los datos históricos del sitio o en su caso medirlos, para conocer el comportamiento diario y mensual. El término usado para designar la radiación solar que incide en el sitio sobre una superficie es insolación o irradiación. En un día claro, la insolación total que llega a la tierra es alrededor de 1000 W/m^2 . Sin embargo son muchos los factores que determinan la cantidad de luz solar en un sitio específico (Figura 2).

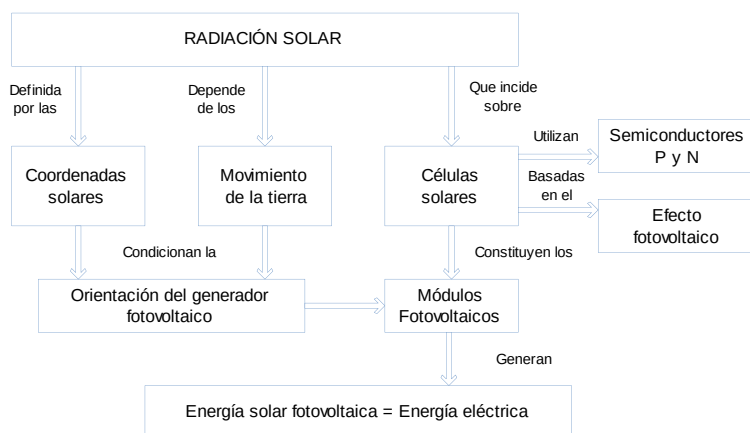


Figura 2. Proceso y efecto de la radiación solar
Fuente: Carrión, 2009



Para lograr que un SFV reciba la mayor cantidad de energía solar y al mismo tiempo la mayor producción de electricidad dependerá de:

- La orientación del arreglo FV
- La inclinación óptima del arreglo FV
- El tiempo que se va a usar a lo largo del año
- La aplicación (autónomo, conectado a la red)

2.4.1. Horas solar pico

Es el número de horas por día cuando la insolación es igual a 1000 W/m^2 . La irradiación solar sobre la superficie terrestre en un día cualquiera puede tener un comportamiento como el mostrado en la figura 3. La presencia de las nubes modifica esta distribución.

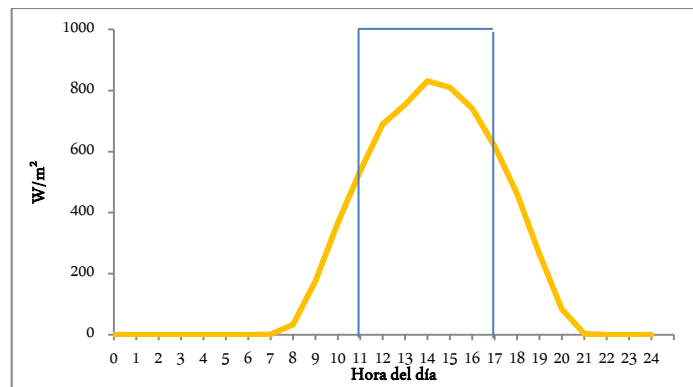


Figura 3. Distribución de la irradiación solar en un día sin nubes

El cálculo de la energía total recibida en un metro cuadrado de superficie terrestre horizontal, es representado por el área bajo la curva de la figura 3. Es decir es la suma o integración de la energía incidente en cada hora, tanto los menores valores de las horas tempranas o tardes del día, como los de mayores



valores del mediodía. Debe recordarse 6 Hsp (Horas solar pico) no significa que existan 6 horas de sol. En la figura 3 se puede observar que existen unas 12-13 horas de sol, las 6 horas se refieren a un sol hipotético de 1 000 W/m²(rectángulo azul) que logra en sólo 6 horas, producir la misma irradiación que logra el sol durante 14 horas

2.4.2. Orientación e inclinación

Bérriz (2004) hizo un estudio detallado de la inclinación óptima de los MFV y llegan la conclusión de instalar los módulos fotovoltaicos al valor de la latitud del lugar y 10°, más cuando se desee tener máximo rendimiento en invierno. Aunque debe considerarse que esta premisa no es definitiva, ya que dependerá de la forma en que se utilice la instalación durante el año, además de los procesos de producción en la agricultura.

Lo más avanzado en esta materia consiste en incorporar al generador de un dispositivo que haga que el conjunto de paneles siga continuamente la trayectoria del sol. De esta manera se puede obtener la máxima producción de energía eléctrica. Sin embargo, un seguidor solar también tiene sus limitaciones ya que requiere una inversión económica, mantenimiento y, además consume energía eléctrica.



2.4.3. Efecto de sombras

Cuando una instalación fotovoltaica se compone de gran cantidad de MFV y poco sitio para su instalación, se coloca varias filas de MFV unas detrás de otras para ello diseñar y tener cuidado en comprobar que a lo largo del año unas filas de paneles no proyecten su sombra sobre las otras. La producción de energía eléctrica de los paneles es afectada sustancialmente por las sombras ocasionadas por obstáculos (Cuadro 5)

Cuadro 5. Reducción de potencia por sombreado en el módulo fotovoltaico

Sombreado en una celda (%)	Reducción de potencia en el MFV (%)
25	25
50	50
75	66
100	75
3 celdas	93

(Fuente: Henríquez, 2007)

Es por ello la importancia de verificar y asegurar que el sitio de instalación de los paneles fotovoltaicos esté libre de obstáculos durante el día contemplando que durante invierno la proyección de sombras es mayor que en verano.

2.5. Sistemas de invernaderos

El uso de la electricidad en invernaderos está relacionado directamente con sistemas de riego y el control de clima. A su vez el control climático en invernaderos, se centra habitualmente en la regulación de los niveles de temperatura y humedad (Perales *et al.*, 2003). El control climático mejora el



confort de las plantas y ayuda a conseguir los objetivos productivos del invernadero (Valera *et al.*, 2008).

Los sistemas empleados para mantener una determinada temperatura en el interior de un invernadero son: sistemas de calefacción (aire o agua caliente), sistemas de pantallas térmicas (ahorro energético y sombreado), ventilación (natural y forzada) y refrigeración por evaporación de agua (Huertas, 2007).

Para sistemas de riego y control de clima se usan principalmente los motores para las bombas, ventiladores, calentadores, extractores así como las electroválvulas y controles.

2.5.1. Sistema de riego

El diseño, manejo, y operación de los sistemas de riego son factores cruciales para lograr un uso eficiente de los recursos hídricos, eléctricos y el éxito en la producción de cultivos y frutales (Holzapfel *et al.*, 2009).

Las principales ventajas del uso de este sistema de riego es el aumento de producción, adelantamiento de cosechas, ahorro de agua, humedad constante en el suelo y mejor calidad de los frutos. Esta ventaja se logra al tener a la planta satisfecha de sus necesidades de nutrición y de humedad.



El sistema de riego esta constituido por todos los elementos y dispositivos (figura 4) que sirve para conducir el agua que requiere el cultivo (Bastida, 2006).

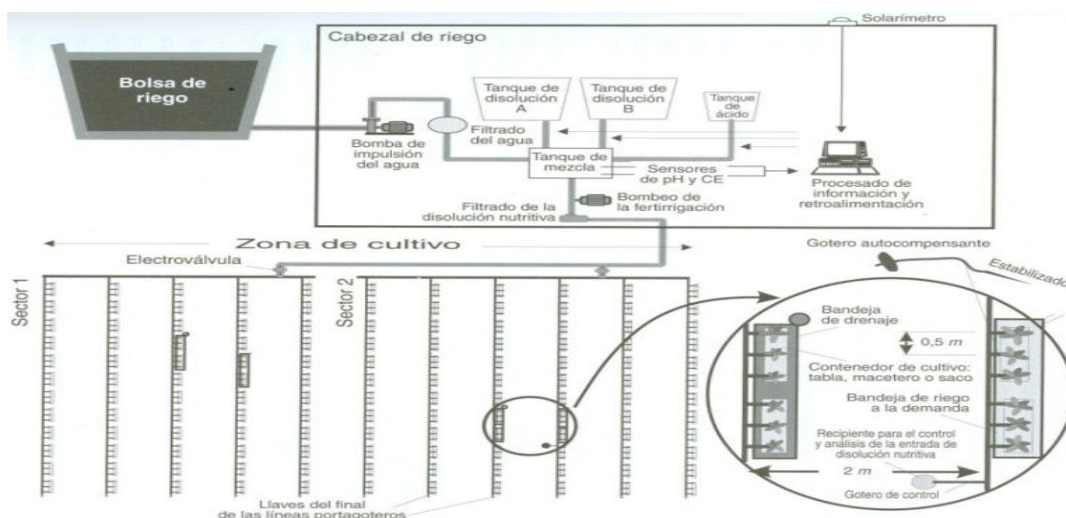


Figura 4. Componentes básicos de un sistema de fertirriego automático
Fuente: Urrestarazu, 2004

Con respecto al sistema de riego, las computadoras pueden recolectar y almacenar informaciones relevantes tales como temperatura, humedad, niveles de luz y radiación solar; con el fin de analizar la influencia de estos factores en los requerimientos de agua por parte del cultivo en su desarrollo y, finalmente, en la calidad del producto (Jensen, 1971).

2.5.2. Sistema de calefacción

Los sistemas de calentamiento de los invernaderos consisten de calentadores de diferentes tipos y fuentes de energía diversas, cuya finalidad es aumentar la temperatura interna del invernadero e impedir que esta descienda por debajo del mínimo letal para las plantas que se estén cultivando en el interior del mismo (Bastida, 2006).



Perales *et al.*, (2003) sugiere instalar potencias (del orden de 100 W m^{-2}) de calefacción por aire caliente, como generadores de aire caliente. En México lo más común es calefacción con calentadores de gas (Bastida, 2006).

Mediante sistemas de calefacción por aire caliente se consigue elevar la temperatura con un ventilador lanza la corriente de aire al interior de la cámara de combustión, y a su salida el aire ya caliente arrastra consigo gases de la combustión (Huertas, 2007).

En el sistema de calefacción radiante usualmente el agua es calentada por medio de calderas y posteriormente se transporta por medio de tubería en el suelo del invernadero, se consigue una mayor uniformidad que la calefacción por aire caliente, pero los costos son más altos que el otro sistema (Huertas, 2007).

2.5.3. Sistema de ventilación

Los sistemas de ventilación están integrados por las ventilas y los dispositivos de apoyo para la circulación del aire dentro del invernadero, como ventiladores y extractores. El objetivo es remover el aire con la finalidad de disminuir la temperatura interna del invernadero y aportar CO_2 necesario para la fotosíntesis de las plantas (Bastida, 2006)



Los tipos de ventilación usuales son la natural y la forzada. La ventilación natural consiste de ventanas cenitales y ventanas laterales principalmente, son accionadas manualmente, o de forma automática mediante motor eléctricos con reductores (Huertas, 2007 y Serrano 2008) (Figura 5)

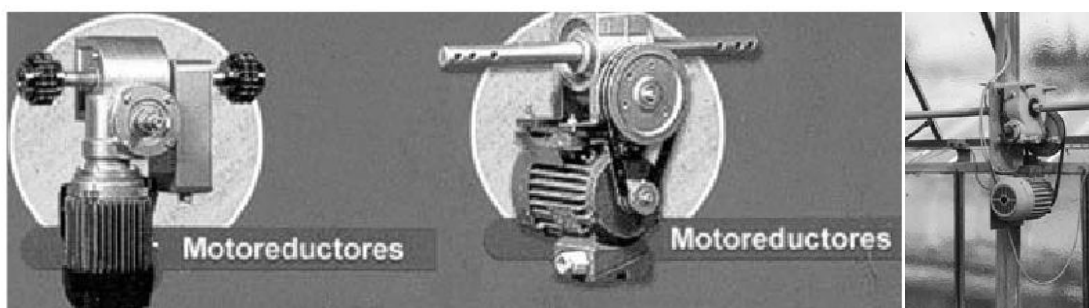


Figura 5. Automatización de ventanas por acción de motor eléctrico
Fuente (Serrano, 2008):

La ventilación forzada es aquella en la que se emplean ventiladores y extractores con motores eléctricos de diferentes potencias, para forzar el movimiento del aire para que circule dentro del invernadero, para finalmente obligarlo a salir (Bastida, 2006).

Yano (2007) presentó un sistema de control que utiliza fotoceldas de silicón-amorfo de 0.078m^2 con una potencia máxima de 32 W y una batería con capacidad de 28Ah a 12V. En Japón, se han instalado MFV de 24W con una inclinación de 20° sobre el techo de un invernadero, capaces de generar como máximo 33kWh al año (Yano A, 2009).



2.5.4. Sistema de sombreo

Se utilizan en invernaderos para variar el porcentaje de radiación solar que penetra dentro del invernadero (Serrano, 2008). Con pantallas o mallas sombras, el calor y la transpiración bajan evitando las quemaduras y daños en los cultivos dentro del invernadero (Albalajedo, 2002)



Figura 6. Malla sombra dentro del invernadero

Los sistemas de sombras (Figura 6) evitan cambios bruscos de temperatura y varían el balance radiactivo tanto desde el punto de vista fotosintético como calorífico. El uso de estos sistemas alcanza incrementos en la producción de hasta un 30%, gracias a la capacidad de gestionar el calor recogido durante el día y esparcirlo y mantenerlo durante la noche (Huertas, 2007).

La FAO (2002) recomienda considerar las siguientes características al momento de instalar una malla de sombra. No debe ser de color, debe reflejar más que absorbe, poder regular la intensidad de luz, ser móvil, instalarse fuera del invernadero y no debe reducir la ventilación. La movilidad de la malla necesariamente se ocupa de motor con reductores.



2.5.5. Sistema de Iluminación

Los sistemas de iluminación están constituidos por la iluminación natural que brinda el sol al pasar a través de la cubierta, así como lámparas eléctricas de diferentes tipos que se instalan para la iluminación artificial del invernadero durante las noches, cuando determinados cultivos requieran más horas luz (Bastida, 2006)

La luz interviene en el proceso de la fotosíntesis, es la fuente de energía que utilizan las plantas para poder crecer y desarrollarse, de ahí la su importancia para conseguir un buen rendimiento de los cultivos.

La iluminación en invernaderos varía dependiendo del uso que se le dé al invernadero. Cuando el fin es producir cultivos que requieren iluminación las 24 horas suele ser relevante su uso de energía eléctrica. Para ello será necesario contemplar cada una de las lámparas que se conecten al sistema contemplando sus horas de uso y su potencia.

2.5.6. Sistema de humidificación

Los sistemas más eficaces normalmente utilizados para humedecer el ambiente (subir la humedad relativa interior) son:

La pantalla evaporadora: Se hace pasar el aire a través de una pantalla porosa saturada de agua. El aire refrigerado por evaporación, cruza el interior



del invernadero y sale por el otro extremo con ayuda de ventiladores helicoidales eléctricos (FAO, 2002).

La nebulización o "fog": Consiste en distribuir en el aire un gran número de partículas de agua líquida de tamaño próximo a 10 micras. Debido al escaso tamaño de las partículas, su velocidad de caída es muy pequeña, de modo que permanecen suspendidas en el aire del invernadero el tiempo suficiente para evaporarse sin llegar a mojar los cultivos y reducir la temperatura del aire (Montero, 2002; Baille, 2000).



Figura 7. Ventiladores para recirculación de aire
Fuente: Teyme Aircool-Teyme

En la Figura 7 se muestra un sistema de humidificación, la cual cubre un área de 100 a 320 m² por unidad, la potencia del motor del ventilador es de 300 W, mientras que el consumo del conjunto (ventilador, disco y bomba) es de 620 W.

Contreras (2002) para mejorar el sistema de nebulizador y aplicar tratamientos fitosanitarios y abonos foliares propuso optimizar el uso del sistema en función de crecimiento de cultivo y aplicar solamente 5-10 min a presión de 5 bares. La apertura y cierre de ventanas también son instrumentos de control de humedad en el invernadero (Perales *et al.*, 2003).



2.6. La electricidad en los invernaderos

Después del cultivo y el agua, la electricidad y por lo tanto la automatización es fundamental para lograr rendimientos y control sobre los cultivos dentro de un invernadero (Bastida, 2005).

El sistema eléctrico es fundamental para la iluminación y operación de una serie de dispositivos, como motores y calentadores (Bastida, 2006). La tendencia de la producción en los invernaderos ya no es solamente tener buenos rendimientos, ahora también se busca tener productos de calidad y Para lograr una buena producción y con una buena calidad de frutos será necesario disponer de los sistemas de los invernaderos y un buen manejo del cultivo.

La electricidad influye de manera directa a los sistemas de mecanización y automatización en los invernaderos. Los sistemas mecánicos están integrados por una serie de aparatos como bombas eléctricas, bombas de combustión interna, ventiladores y motores de ambos tipos. (Bastida, 2006).

Los sistemas de automatización están integrados por sensores (temperatura, humedad, radiación), actuadores (motores para bombas, ventiladores, calentadores, abrir y cerrar ventanas, electroválvulas, lámparas) y sistemas de control (timer y programadores) que se realizan en forma cotidiana el manejo de los invernaderos (Bastida, 2006).



2.6.1. Relación del tipo de potencias

Los motores que se usan en sistemas de los invernaderos están consumiendo tres tipos de potencias:

Potencia activa: Es la potencia efectiva o real en el proceso de transformación de la energía eléctrica se aprovecha como trabajo (movimiento, luz) y se mide en kW.

Potencia Reactiva: es la potencia usada para crear y mantener los campos electromagnéticos de las cargas inductivas. Es medida en kVAR.

Potencia Aparente: es la suma vectorial de la potencia activa y la potencia reactiva representando la potencia total entregada por la CFE o la potencia total consumida por una carga/ sistema. Es medida en kVA.

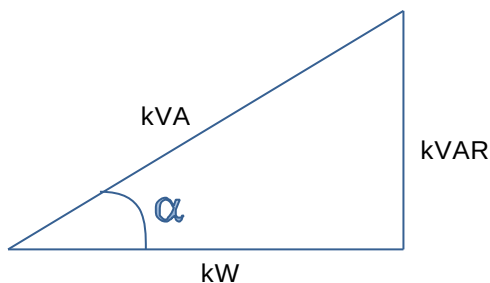


Figura 8. Triángulo de potencias

Estas tres potencias están relacionadas como lo muestra la figura 8. La relación entre la Potencia Activa y la Potencia Aparente se usa para indicar la “eficiencia” de la utilización de la energía en un sistema eléctrico a eso se le define Factor de Potencia y se representa de la siguiente manera.

$$FP = \frac{\text{Potencia activa (kW)}}{\text{Potencia aparente (kVA)}}$$



“Cuando el factor de potencia durante cualquier período tenga un promedio menor de noventa centésimos, el suministrador tendrá derecho a cobrar al usuario la cantidad que resulte de aplicar al monto de la facturación el porcentaje de recargo que se determine” fragmento del artículo 64 del Reglamento de la ley del servicio público de energía eléctrica (DOF, 1991 y 2012). Por eso el productor debe realizar las acciones para mejorar y mantener el FP arriba de 0.9, una forma más común es la instalación de banco de capacitores.



3. MATERIALES Y MÉTODOS

Las diferentes etapas y actividades de la investigación se plasmaron en el siguiente diagrama de flujo. Cada uno de los niveles se aborda a detalle en este capítulo.

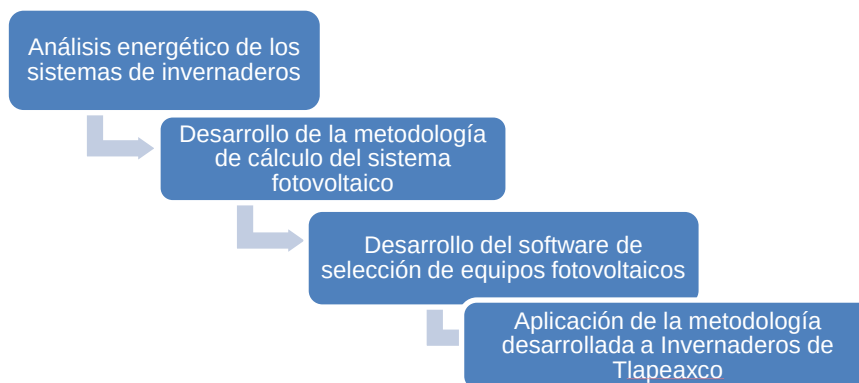


Figura 9. Fases del desarrollo del trabajo de investigación

El inicio de la investigación de la búsqueda de los sistemas y equipos más usuales en un invernadero. Para esto se realizó un análisis de cada uno de los sistemas, su funcionamiento, horas de uso, potencias y se formó una base de datos (catálogos) de los elementos y sus características que sirvieron como datos iniciales de la necesidad energética para cálculo y selección de elementos fotovoltaicos.

3.1. Determinación de la necesidad energética

Realizado un inventario de los equipos que usan la energía eléctrica en los invernaderos se tomaron en cuenta: Potencia (W), cantidad de los equipos y las horas de funcionamiento por día.



El consumo diario es la energía total que cada equipo de los sistemas del invernadero requiere y se calcula de la siguiente manera.

$$E_{diario} = \sum_1^n \frac{Equipo * N * Potencia * h}{1000} \quad (1)$$

Donde

$$E_{diario} = \text{Consumo diario (kWh/día)}$$

Con esta ecuación se obtiene el consumo diario por equipo y finalmente la el consumo diario de todos los sistemas y de igual manera se hace un inventario de cada uno de los equipos como aparece el cuadro 6.

Cuadro 6. Formato para registrar los equipos de consumos

Equipos del invernadero	Cantidad (N)	Potencia (W)	Horas de uso (h)	Consumo por día (kWh)
Equipo ₁	N ₁	W ₁	Horas ₁	kWh ₁
Equipo ₂	N ₂	W ₂	Horas ₂	kWh ₂
Equipo _n	N _n	W _n	Horas _n	kWh _n
				Total (E _{diario})

n: número de equipos de los sistemas del invernadero

El resultado de la energía diaria (E_{diario}) necesaria se sobredimensiona en un 25 % como un factor de seguridad (F_s) para tener en cuenta las pérdidas en las conexiones, conductores y sobredimensionamientos principalmente ($F_s = 1.25$) (Ibáñez, 2004; NOM-001-SEDE-2012).



3.2. Determinación de la radiación solar disponible

Como la radiación solar es un parámetro inicial para cálculo de SFV es importante contar con información confiable para los catálogos de los sitios. Es preferible contar con una estación meteorológica cercana al sitio con opción para medir la radiación solar. Cuando no existe información por medio de estaciones meteorológicas, habría que buscar métodos analíticos para determinar los datos.

Para tener la información de la radiación solar se hace lo siguiente:

- 1.- Se estima el promedio de la energía de la irradiación solar ($kWh/m^2/día$) en el lugar de la instalación, o bien las Hsp
- 2.- Para cada uno de los meses de un año, se calcula el cociente Y (m^2) entre el consumo promedio diario de energía eléctrica ($E_{p,diario}$) y las Hsp.

$$Y = \frac{E_{p,diario}}{Hsp} \quad (2)$$

Los valores de Y se ordenan para un año, como se muestra en el cuadro 7.

Cuadro 7. Cálculo del cociente entre dos valores durante un año

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
$E_{p,diario}$	E_{p1}	E_{p2}	E_{p3}	E_{p4}	E_{p5}	E_{p6}	E_{p7}	E_{p8}	E_{p9}	E_{p10}	E_{p11}	E_{p12}
Hsp	Hsp_1	Hsp_2	Hsp_3	Hsp_4	Hsp_5	Hsp_6	Hsp_7	Hsp_8	Hsp_9	Hsp_{10}	Hsp_{11}	Hsp_{12}
Y	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	Y_9	Y_{10}	Y_{11}	Y_{12}



Determinación del mes peor o mes crítico

La metodología usada para el cálculo de los sistemas fotovoltaicos es el método del “mes peor”. La cual consiste en determinar el valor máximo de Y ($Y_{\max}$) para calcular el sistema fotovoltaico. $Y_{\max}$ es el valor máximo de la relación cuando la radiación es mínima y el consumo es máximo durante un año. Con este método se garantiza que para cualquier otro mes se puede suministrar energía sin mayor problema.

3.3. Metodología de cálculo y dimensionado del sistema fotovoltaico

La cantidad y características de los elementos de subsistemas fotovoltaicos se calculan partiendo de las cargas que se pretenden conectar al sistema y de la radiación solar del lugar.

3.3.1. Cálculo del subsistema de captación o generación

Número de MFV

Para el inicio del cálculo del sistema de generación se escoge un tipo de MFV comercial, con el fin de disponer de sus características técnicas y realizar los cálculos necesarios. En nuestro caso se tomó del catálogo desarrollado.

Primeramente se calcula la energía producida por un MFV, durante un día del peor mes (determinado del cuadro 7), es decir:

$$E_{\text{producida}} = H_{sp} * P_{\text{mod}} \quad (3)$$



Donde

$E_{producida}$ = Energía producida en (Wh/día)

H_{sp} = Horas solar pico (h/día)

P_{mod} = Potencia pico del MFV (W_p)

A continuación se calcula el número de módulos fotovoltaicos (N_{mod}) necesarios con la siguiente ecuación.

$$N_{mod} = F_s \frac{E_{p,diario}}{E_{producida}} = F_s \frac{Y_{max}}{P_{mod}} \quad (4)$$

El resultado de la cantidad de módulos, hay que ajustar a un número entero.

Costo de MFV

El costo total de módulos fotovoltaicos ($\$MFV$) se calcula de la siguiente forma:

$$\$MFV = N_{mod} * P_{MFV} \quad (5)$$

Donde

P_{MFV} = Precio de un MFV

Parámetros eléctricos del subsistema de generación

Para el cálculo de los parámetros eléctricos, hay que tomar en cuenta el voltaje del MFV (V_{mod}) y establecer el voltaje del subsistema de acumulación ($V_{s,acu}$), de estos depende el arreglo y conexión de los módulos FV.



Módulos fotovoltaicos en serie

Con los voltajes establecidos anteriormente, se calcula mediante la siguiente ecuación los MFV que se conectan en serie (N_s).

$$N_{s,mod} = \frac{V_{s,acu}}{V_{mod}} \quad (6)$$

Módulos fotovoltaicos en paralelo

Los MFV en paralelo ($N_{p,mod}$), se calcula con la siguiente ecuación:

$$N_{p,mod} = \frac{N_{mod}}{N_{s,mod}} \quad (7)$$

Se ajustará el valor obtenido en función del diseño de los arreglos de los MFV y su disponibilidad en el mercado.

Cálculo de potencia total

$$P_{sistema} = \frac{N_{mod} * P_{mod}}{1000} \quad (8)$$

Donde

$$P_{sistema} = \text{Potencia total del sistema (kW}_p\text{)}$$

Cálculo de intensidad pico

$$I_{max,generación} = I_{mp} * N_{p,mod} \quad (9)$$

Donde

$$I_{max,generación} = \text{Intensidad máxima de generación (A)}$$

$$I_{mp} = \text{Corriente a la máxima potencia (A)}$$



Corriente de corto circuito

$$I_{sc,generación} = I_{sc,módulo} * N_{p,mod} \quad (10)$$

Donde

$I_{sc,generación}$ = Corriente de corto circuito del arreglo FV (A)

$I_{sc,módulo}$ = Corriente de corto circuito del MFV (A)

Cálculo de voltaje nominal

$$V_{gen} = V_{mod} * N_{S,mod} \quad (11)$$

Donde

V_{gen} = Voltaje del sistema del arreglo FV (V)

Cálculo del voltaje pico

$$V_{mp,gen} = V_{mod} * N_{S,mod} \quad (12)$$

Donde

$V_{mp,gen}$ = Voltaje máximo del arreglo FV (V)

Cálculo de voltaje total en circuito abierto

$$V_{oc,gen} = V_{oc,mod} * N_{S,mod} \quad (13)$$

Donde

$V_{oc,gen}$ = Voltaje de circuito abierto del arreglo FV (V)

$V_{oc,mod}$ = Voltaje de circuito abierto del MFV (V)



3.3.2. Cálculo del subsistema de acumulación

Debido al importante papel que juega el subsistema de acumulación en el SFV y el costo que representa en la inversión, se hace un análisis detallado para la selección de las baterías económicas.

Cálculo y selección de baterías

Primeramente se fijan los siguientes parámetros para realizar los cálculos referentes del subsistema de acumulación.

Cuadro 8. Datos iniciales para dimensionado de baterías

Símbolo	Unidad	Significado
P_d	%	Porcentaje de descarga profunda
V_s	V	Voltaje de trabajo del subsistema de acumulación
V_b	V	Voltaje nominal de cada batería
N_d	Días	Número de días autónomos

Conociendo la potencia instalada de los equipos y la frecuencia de uso, se calcula la capacidad (C') requerida en las baterías (Ah) para un día de trabajo:

$$C' = F_s \frac{N_d * E_{diaria}}{P_d * V_s} \quad (14)$$

Variando los parámetros de la ecuación 13 se obtienen valores y se hace un formato de los resultados (Cuadro 9)

Cuadro 9. Energía consumida por día y capacidad de acumulación necesaria

Días autónomos	Consumo kWh	Capacidad requerida (Ah)
1	kWh_1	C'_1
2	kWh_2	C'_2
n	kWh_n	C'_n



Se selecciona una batería con el voltaje fijado inicialmente y se toma como referencia para hacer los cálculos correspondientes.

Baterías en serie

El número de baterías en serie se obtiene de la siguiente forma:

$$N_{b,s} = \frac{V_s}{V_b} \quad (15)$$

Baterías en paralelo

$$N_{b,p} = \frac{c'}{c_b} \quad (16)$$

Donde

C_b = Capacidad de batería

El resultado que se obtiene se redondea al número entero consecutivo. Los cálculos para cada una de las baterías en paralelo se ordenaron como aparece en el cuadro 10.

Cuadro 10. Baterías en paralelo, según voltaje y días autónomos

Voltaje de batería	Modelo de Batería	Capacidad a 20 h	Baterías en serie	C' en 1 día	C' en 2 Días	C' en 3 días	C' en 4 días	C' en 5 días	C' en 6 días	C' en 7 días
V_{b1}	Modelo de batería 1	C Ah 1	$N_{b,s1}$	$N_{b,p1}$	$N_{b,p1}$	$N_{b,p1}$	$N_{b,p1}$	$N_{b,p1}$	$N_{b,p1}$	$N_{b,p1}$
V_{b2}	Modelo de batería 2	C Ah 2	$N_{b,s2}$	$N_{b,p2}$	$N_{b,p2}$	$N_{b,p2}$	$N_{b,p2}$	$N_{b,p2}$	$N_{b,p2}$	$N_{b,p2}$
V_{bn}	Modelo de batería n	C Ah n	$N_{b,sn}$	$N_{b,pn}$	$N_{b,pn}$	$N_{b,pn}$	$N_{b,pn}$	$N_{b,pn}$	$N_{b,pn}$	$N_{b,pn}$

Número de baterías

Con la ecuación 14 y 15 se calcula la cantidad de las baterías

$$N_b = N_{b,s} * N_{b,p} \quad (17)$$



El número de baterías necesarias se ordenaron en función del número de días y del voltaje de la batería cuadro 11.

Cuadro 11. Baterías necesarias para determinado días autónomos

Voltaje de la batería	Modelo de Batería	Capacidad a 20 h	1 Día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 Días
V_{b1}	Modelo de batería 1	C Ah 1	N_{b1}	N_{b1}	N_{b1}	N_{b1}	N_{b1}	N_{b1}	N_{b1}
V_{b2}	Modelo de batería 2	C Ah 2	N_{b2}	N_{b2}	N_{b2}	N_{b2}	N_{b2}	N_{b2}	N_{b2}
V_{bn}	Modelo de batería n	C Ah n	N_{bn}	N_{bn}	N_{bn}	N_{bn}	N_{bn}	N_{bn}	N_{bn}

Costo de baterías

El costo total de baterías ($\$b$) se calcula de la siguiente forma

$$\$b = N_b * P_b \quad (18)$$

Donde

P_b = Precio de una batería

Se calcula el costo total para cada una de las baterías y se acomoda como en el cuadro (12).

Cuadro 12. Costo de baterías según el tipo y determinado días autónomos

Voltaje de la batería	Modelo de batería	Precio de la batería	1 día	2 días	3 Días	4 días	5 días	6 días	7 días
V_{b1}	Modelo de batería 1	P_{b1}	$\$b_1$	$\$b_1$	$\$b_1$	$\$b_1$	$\$b_1$	$\$b_1$	$\$b_1$
V_{b2}	Modelo de batería 2	P_{b2}	$\$b_2$	$\$b_2$	$\$b_2$	$\$b_2$	$\$b_2$	$\$b_2$	$\$b_2$
V_{bn}	Modelo de batería n	P_{bn}	$\$b_n$	$\$b_n$	$\$b_n$	$\$b_n$	$\$b_n$	$\$b_n$	$\$b_n$

Los costos para el uso de algún tipo de batería y los días escogidos se ordenan siguiendo el formato del cuadro 12, y se selecciona la batería que tenga el menor costo.



Tiempo de carga de las baterías

Para cargar n cantidad de baterías, se considera el V_s , C' , N_b , N_{mod} y $P_{sistema}$.

Con esta información se aplica la siguiente fórmula para calcular la intensidad de corriente que se requería recargar.

$$I = \frac{P_{sistema}}{V_s} \quad (19)$$

Después se establece el porcentaje que la batería se descarga para determinar las horas necesarias para su carga completa.

$$Horas = \frac{C'}{I} \quad (20)$$

3.3.3. Cálculo del subsistema de regulación

El cálculo del subsistema de regulación se realiza posterior a los subsistemas de generación y acumulación. El orden de los cálculos es importante para llevar un orden en la metodología y la selección.

Desde el inicio de los cálculos de los subsistemas de generación y acumulación, se establece el voltaje nominal del sistema (V_s) que interviene en el cálculo del regulador de carga. El voltaje del subsistema de regulación (V_{reg}) debe ser igual a V_s y al voltaje del sistema de acumulación ($V_{s,acu}$).

Voltaje de regulación máxima

Además se debe cumplir que el voltaje de regulación máxima ($V_{reg,max}$) sea mayor al voltaje de circuito abierto del arreglo FV ($V_{oc,gen}$) junto con F_s , o bien:

$$V_{reg,max} \geq F_s * V_{oc,gen} \quad (21)$$



Intensidad nominal del interruptor, generador-acumulación

El cálculo de la Intensidad nominal del interruptor de conexión y desconexión de la corriente eléctrica desde el generador fotovoltaico hacia el subsistema de acumulación se determina de la siguiente manera.

$$I_{reg,gen-acu} = F_s * I_{sc,mod} * N_{p,mod} \quad (22)$$

El valor que se obtiene se utiliza para buscar en catálogo de los reguladores con la capacidad requerida.

Número de controladores o reguladores

$$N_R = \frac{I_{reg,gen-acu}}{I_{max,reg}} \quad (23)$$

La cantidad de reguladores (N_R) necesarios se conectan en paralelo para cumplir con las exigencias de regulación.

Costo de reguladores

El costo total reguladores (\$R) se calcula de la siguiente forma

$$\text{\$}R = N_R * P_R \quad (24)$$

Donde

P_b = Precio de un regulador



3.3.4. Cálculo del subsistema de adaptación del suministro eléctrico

El sistema de acondicionamiento de potencia, o llamado también como inversor, repercute significativamente en el la inversión inicial. Cuando la selección de un inversor es incorrecto, podría incluso fallar todo el sistema. La potencia necesaria del inversor se calcula con la siguiente fórmula.

$$P_{inv} = \sum_{potencias} * F_s \quad (25)$$

Donde

$\sum_{potencias}$ = Suma de todas las potencias conectadas al sistema (kW)

Número de inversores

Al calcular la cantidad necesaria de inversores de un SFV se toma en cuenta si es conveniente y posible que el mismo inversor se pueda conectar en paralelo para crear sistemas trifásicos, o un inversor con una potencia mayor que tres inversores en paralelo. La cantidad de inversores se calcula con la siguiente fórmula.

$$N_{inv} = \frac{\sum_{potencias}}{P_{inv}} \quad (26)$$

Costo de inversores

El costo para la cantidad de inversores (\$Inv) se calcula de la siguiente forma

$$\text{\$Inv} = N_{inv} * P_{inv} \quad (27)$$

Donde

P_{inv} = Precio de un regulador



3.3.5. Selección de calibre de conductores

La selección de los calibres se realiza de acuerdo a la intensidad de corriente para cada uno de los equipos de los subsistemas fotovoltaico (entre MFV, del arreglo FV al controlador, del controlador al arreglo de baterías y entre baterías) se emplea la siguiente fórmula.

$$I_{conductor} = F_s * I_{sc} * N \quad (28)$$

Donde

I_{sc} = Corriente de corto circuito de la sección respectiva (A)

N = Cantidad de equipos conectados en el arreglo

$I_{conductor}$ = Intensidad de corriente para conducir (A)

El cálculo de la intensidad de corriente entre el subsistema de acumulación y subsistema de adaptación se ocupa la fórmula 25.

$$I_{inv} = f_s \frac{P_{inv}}{(V_{min-acum}) * (\eta_{inv})} \quad (29)$$

Donde:

P_{inv} = Potencia del inversor (kW)

$V_{min-acum}$ = Voltaje mínimo de funcionamiento del inversor (V)

η_{inv} = Eficiencia del inversor

La selección de calibres de conductores se utiliza tablas que relacionan el calibre del conductor en función de la intensidad de corriente máxima (Anexo 9)



3.4. Elementos necesarios para desarrollo de un software de selección de equipos fotovoltaicos

Para selección de equipos FV para invernaderos se necesita un software especial y para su desarrollo se usan los principales características de los sistemas del invernadero y sus elementos eléctricos, así como las horas de funcionamiento, además se usan los datos de los elementos fotovoltaicos y las características de los sitios donde se instalan los invernaderos.

Los datos y características de los elementos, sitios, sistemas se presentan en forma de catálogos que se pueden actualizar y ampliar.

3.4.1. Catálogo de elementos eléctricos de los sistemas de invernadero

Para formar base de datos de motores para bombas, ventiladores, calefactores, electroválvulas, lámparas para iluminación, sistemas de control de clima y de riego se analizó la información de los productores de estos elementos.

Se procesó en forma de tablas considerando los siguientes parámetros

- Tipo de motor (CD o CA)
- Voltaje
- Rpm
- Amperaje
- Número de fase



3.4.2. Catálogo de horas solar pico

Actualmente ya existen bases de datos y mapas nacionales de la radiación solar mensual y anual (Figura 10).

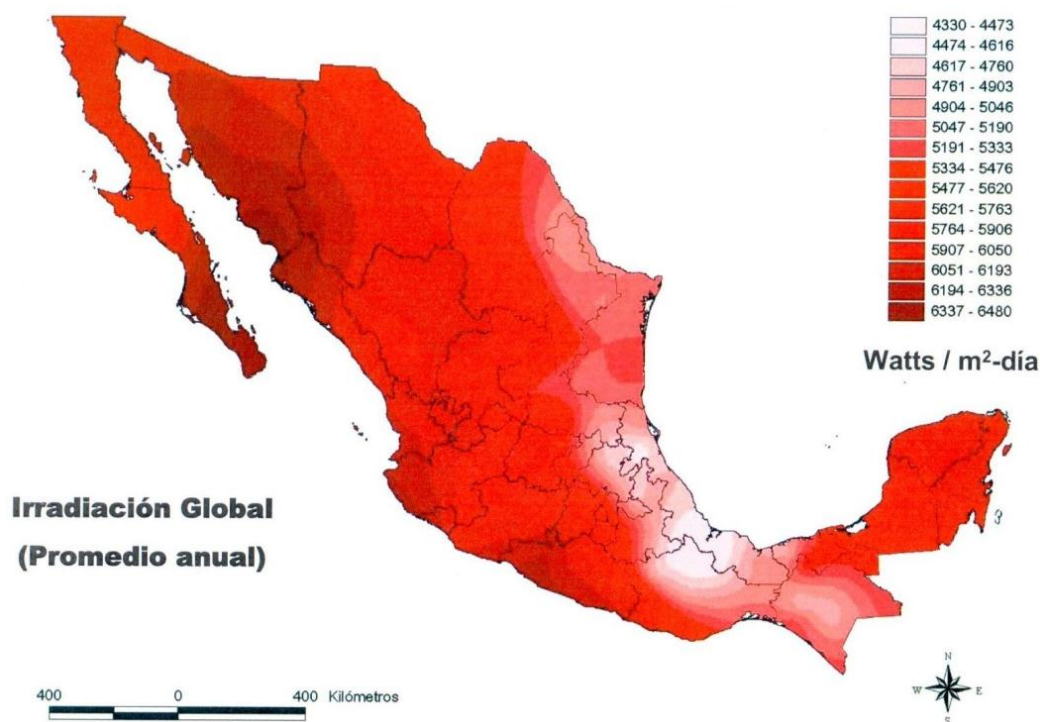


Figura 10. Irradiación solar global en México
Fuente: IIE, 2010

Se establecen los Hsp mensuales de tablas o figuras (10) en forma de catálogos, para cada uno de los sitios. Cuando se trate de alguna aplicación real, se debería consultar y analizar información histórica de la estación meteorológica más cercana al sitio.



3.4.3. Catálogos de equipos fotovoltaicos

Se hizo una búsqueda de los proveedores y distribuidores de equipos fotovoltaicos, solicitando los datos técnicos, precios y marcas.

Catálogo de Módulos Fotovoltaicos

La información que se buscó para la creación del catálogo de los MFV fueron:

- Marca
- Modelo
- Potencia (W)
- Voltaje máximo (V)
- Tipo de panel
- Precio

Se enlistaron en formato Excel para posteriormente ser usado en la base de datos del sistema de selección.

Catálogo de controladores

La información solicitada para catalogo de controladores fueron los siguientes:

- Marca
- Modelo
- Voltaje nominal
- Voltaje de circuito abierto
- Intensidad máximo
- Intensidad de entrada- salida (A)
- Precio

Catálogo de Baterías

La información solicitada para la creación de la base de datos de las baterías fueron las siguientes.

- Marca
- Modelo
- Capacidad (20 h)
- Voltaje (V)



- Peso (kg)
- Dimensiones (Largo-ancho –alto)
- Precio

Catálogo de Inversores

La información que se buscó para cada equipo son las siguientes.

- Marca
- Modelo
- Potencia (VA)
- Voltaje de entrada en CD
- Voltaje de salida en CA
- Eficiencia
- Voltaje mínima de entrada
- Voltaje máxima de salida
- Tipo de onda
- Tipo de sistema
- Precio

3.4.4. Algoritmos de Selección

Para llegar al objetivo de tener un sistema que sea capaz de calcular y proponer de manera óptima un sistema fotovoltaico para invernadero, se prestó especial atención en el desarrollo de los algoritmos de cada uno de los equipos fotovoltaicos, incluyendo los datos iniciales, catálogos y métodos de optimización.

- Algoritmo general de selección de equipos fotovoltaicos
- Algoritmo para selección de Módulos FV
- Algoritmo para selección de baterías
- Algoritmo para selección de baterías
- Algoritmo para selección de inversores



3.4.5. Formato de presentación de los resultados de selección

La presentación de los resultados de selección se presenta de dos formas:

General y resumido.

Cuadro 13. Reporte general de los resultados de selección

Componente Fotovoltaico	Detalles del equipo
Módulos Fotovoltaicos	Marca Modelo Horas solar pico Voltaje nominal Módulos FV en Serie Módulos FV en Paralelo Total de Módulos FV Potencia total instalada Precio unitario Precio total (estimado) del arreglo
Batería	Días de autonomía Voltaje Nominal Capacidad requerida Tipo de batería Profunda Marca Modelo Capacidad de régimen Voltaje por unidad Baterías en Serie Baterías en Paralelo Total de baterías Precio unitario Precio total estimado
Controlador (es)	Corriente de Corto Circuito Voltaje nominal del sistema Marca Modelo Corriente nominal Total de controladores Precio unitario Precio total estimado:
Inversores	Máxima potencia en CA Marca Modelo Voltaje de entrada Voltaje de salida Tipo de onda Potencia Nominal Total de inversores Precio unitario Precio total estimado
Instalación y Accesorios	(Costo en pesos)
Precio estimado del sistema	(Costo en pesos)



La otra forma de los resultados es la siguiente en donde se presentan se hace énfasis en los costos y la cantidad de los equipos.

Cuadro 14. Reporte resumido de los resultados de selección

Concepto	Precio unitario	Total
Capacidad del Sistema (kWh)	Costo en pesos	Costo en pesos
Cantidad de Módulos fotovoltaicos		
Marca y modelo		
Voltaje del arreglo		
Módulos en serie y		
Módulos en paralelo		
Cantidad de controladores	Costo en pesos	Costo en pesos
Marca y modelo		
Capacidad y Voltaje de la batería		
Capacidad y voltaje de arreglo de baterías		
Cantidad de controladores	Costo en pesos	Costo en pesos
Marca y modelo		
Cantidad de Inversores	Costo en pesos	Costo en pesos
Marca y Modelo		
Potencia nominal		
Instalación y accesorios		Costo en pesos
Total Estimado	Costo en pesos	* Los precios manejados en este programa han sido recabados en hojas electrónicas de fabricantes y distribuidores de equipo fotovoltaicos. Para precios reales consultar con algún distribuidor cercano

Los catálogos de los equipos en invernaderos, componentes fotovoltaicos, características de los sitios, metodología de cálculo y los algoritmos se procesaron para obtener finalmente un software de selección de componentes fotovoltaicos.



3.5. Aplicación a invernaderos de Tlapeaxco

Para la aplicación de la metodología se buscaron invernaderos de la UACH que cumplieran los siguientes criterios para la Instalación del SFV.

- Invernadero que estuviera en producción intensiva
- Seguridad del sitio y cercanía a la UACH

Definido el sitio de instalación, se realizó una caracterización (Sitio, Hsp, sistemas del invernadero), para el dimensionamiento correcto de cada uno de los componentes del sistema fotovoltaico

3.5.1. Localización y descripción del sitio

El sitio de la investigación fue desarrollado en el Campo Agrícola Experimental “Tlapeaxco” de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado en el municipio de Texcoco, Estado de México con ubicación geográfica $19^{\circ} 29' 39''$ N, $98^{\circ} 53' 19''$ W a una altitud de 2260 msnm (Figura 11).



Figura 11. Ubicación de Tlapeaxco y Texcoco
Fuente: Google earth 2013



3.5.2. Caracterización de los Invernaderos de Tlapeaxco

El campo experimental “Tlapeaxco” cuenta con tres invernaderos de diferentes tamaños (Cuadro 15 y figura 12) sumando una superficie total de 6,165 m². Los invernaderos están equipados con sistema de calefacción, sistema eléctrico, sistema de ventilación natural y sistema de riego.

Cuadro 15. Área de los invernaderos de Tlapeaxco

Invernadero	Número de Túneles	Superficie
1	3	1,080 m ²
2	6	2,565 m ²
3	9	2,520 m ²
Total		6,165 m ²

- El caudal de sistema de riego se determinó con el caudalímetro Turbo – IR y se obtuvo un caudal de 1.15 ± 0.35 L/s.
- Las presiones se tomaron en dos puntos del cabezal del sistema de riego (entrada y salida) y se registró una presión de 3 ± 0.1 kg*cm⁻².
- El gotero utilizado en el sistema de riego es auto compensado.
- Las bolsas usadas para las plantas son 50 x 40 (2 plantas / bolsa).
- La densidad de siembra es 4 plantas/m²
- La cosecha se realiza dos veces al año, con 8 a 9 racimos.
- El tipo de jitomate utilizado es saladette, variedad “El Cid”.

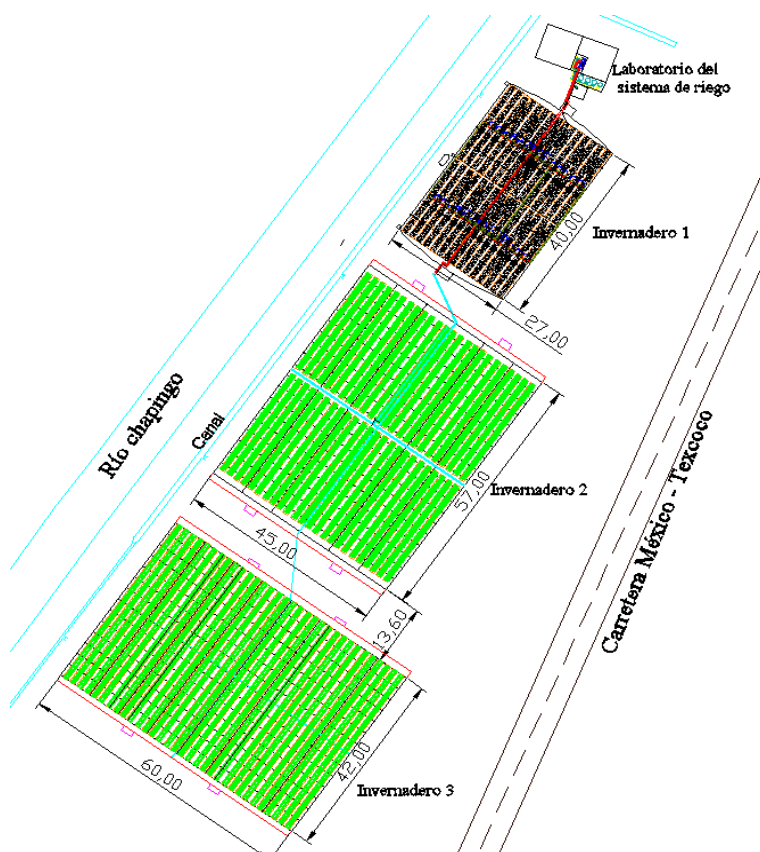


Figura 12. Superficie de los invernaderos de Tlapeaxco

Los invernaderos de “Tlapeaxco” tienen como finalidad contribuir a la investigación en la producción bajo invernadero y paralelamente su producción suministrarla en los comedores universitarios.

3.5.3. Caracterización del sistema de riego

El sistema de riego de “Tlapeaxco” está automatizado con el equipo PRIMARAM modelo Nimos (Figura 13). La cual esta programada para los riegos por intervalos de tiempo. Los componentes de mayor consumo del cabezal del sistema de riego son dos bombas de tres Hp y un soplador de 1.5 Hp.

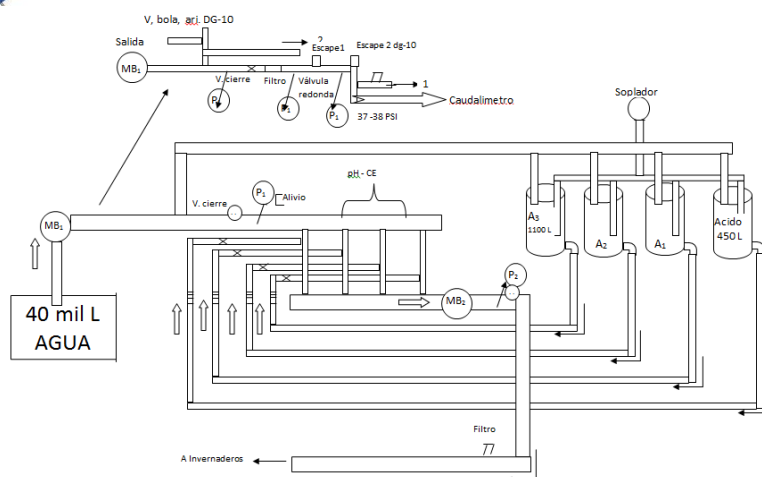


Figura 13. A) Esquema hidráulico de riego B) Control de riego nimbos

El sistema de riego de los invernaderos funciona mediante 2 bombas y 1 soplador (Figura 13). La primera bomba tiene la función de extraer el agua del tinaco y llenarlo en los tanques, la segunda bomba funciona para enviar la mezcla de los nutrientes a las secciones del invernadero. El soplador es el encargado de mezclar uniformemente los nutrientes de los tanques, ésta se enciende durante 30 segundos durante los riegos en las secciones del invernadero. El sistema de riego operara durante los 7 días de la semana.

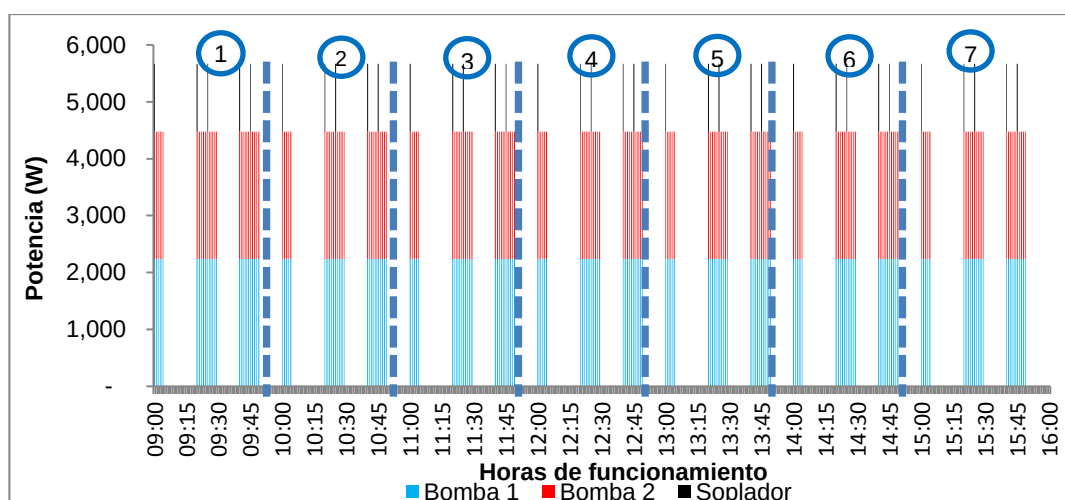


Figura 14. Comportamiento del ciclo de riego durante un día normal



El sistema de riego entra en función a las 9:00 AM durante 5 min en el primer invernadero, descansa 15 min y riega el invernadero 2 durante 10 min, descansa 10 min, el ciclo del primer riego concluye en el invernadero 3 por 10 minutos también. El tiempo de riego es de 25 min/h por los 3 invernaderos con 7 riegos por día. Los tiempos y frecuencias de riego han sido establecidos e implementados por personal a cargo de la producción.

Cuadro 16. Información técnica de las bombas del sistema de riego

Motor-bomba	Información técnica
Bomba 1 (afuera de cuarto de control) Franklin Electro Mod1313007186	Potencia 3 HP Voltaje: 208-230/460 Frecuencia: 60 Hz RPM: 3450 Fase: 3 FLA 7.6/3.8 SF 1.15 SFA 8.6/4.3
Bomba 2 (adentro de cuarto de control) Prisma 35 4N	Potencia: 3 HP Voltaje: 220/440 Frecuencia: 60 RPM: 3400 Fase: 3 Q(L/min): 33-165 H _{min} 30m 5 A
Soplador Soplador turbine	Potencia : 1.35 kW o 1.8 Hp Voltaje: 230 V Frecuencia: 60 Hz Amperaje: 5 Fase: 2

Cuadro 17. Equipos y horas de funcionamiento del sistema de riego

Equipo	Watts	Horas de uso	Consumo kWh
1 Bomba prisma 35 4N	2,238	2.92	6.535
1 Bomba Franklin electro	2,238	2.92	6.535
1 Soplador	1,119	0.53	0.593
Total			13. 663



3.5.4. Caracterización de los parámetros eléctricos

Se hizo la medición de la instalación eléctrica del sitio instalando en paralelo durante un día de trabajo el equipo de medición. Para la medición se utilizó el analizador de redes FLUKE 450 (Figura 15) la cual se configuró para registrar datos simultáneos de Amperaje (A) Voltaje (V), Factor de potencia (FP), Potencias (KW y KVAR) y el consumo (kWh). Posteriormente se descargaron los datos registrados en el software del equipo, y continuó con el análisis de cada uno de los parámetros.



Figura 15. Medición de los parámetros eléctricos con el FLUKE 450

Del análisis de los parámetros, se encontró que el FP está por debajo del permitido DOF (1991). Para corregir el problema se calculó un banco de capacitores y se instaló en paralelo con el sistema eléctrico del sistema de riego. Posteriormente se hizo una nueva medición con un enfoque especial al FP y la potencia reactiva, ya que están estrechamente relacionados.



Mejoramiento del factor de potencia; Cálculo del banco de capacitor

El cálculo del capacitor adecuado se hizo de la siguiente manera

- 1.- Medición del FP inicial (actual)
- 2.- Determinación del FP deseado (mayor a 0.9)
3. Localizar en la tabla (anexo 1), la constante K, que es la relación de los dos FP (inicial y deseado)
- 4.- Determinar la potencia reactiva (kVAR) del capacitor a instalar con la siguiente fórmula:

$$Pr = P * K \quad (30)$$

- 5.- Comparación de los resultados medidos, con los calculados.
- 6.- Selección de un banco de capacitor con la potencia necesaria para la corrección.

3.5.5. Subsistema de monitoreo y registro

El monitoreo de un sistema fotovoltaico es opcional su instalación, aunque resulta importante para analizar el comportamiento y funcionamiento del sistema en general. Los parámetros que se monitorean regularmente son

- Voltaje mínimo de baterías (V)
- Voltaje máximo de baterías (V)
- Energía diario producida (kWh/m^2)
- Consumo diario (kWh)

Los equipos de monitoreo incluyen regularmente pantalla de lectura de operación en tiempo real y también opciones ajustar y coordinar la operación del sistema entero para maximizar su funcionamiento.



3.5.6. Adquisición de datos de radiación solar

Paralelamente al análisis de los parámetros eléctricos, se había estado descargando semanalmente durante el periodo de 2011 y 2013, los parámetros climáticos de la Estación Meteorológica Automática (EMA) – chapingo del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). De la cual se analizó la radiación solar diaria, semanal y mensual. Estos datos sirvieron para el cálculo de los sistemas de generación y acumulación principalmente.

Descripción de la Estación Meteorológica Automática

La EMA es un conjunto de dispositivos eléctricos (sensores) y mecánicos que realizan mediciones de las variables meteorológicas de forma automática, (OMM 182).

Cuadro 18. Datos de referencia de la estación meteorológica automática

Administrado por	Organismo de Cuencas del Valle de México (OCAVM)
Estado	Estado de México
Nombre	Chapingo
Latitud	19°29'39"
Longitud	98°53'19"
Altitud	2260

Su función principal es la recopilación y monitoreo de algunas variables meteorológicas para generar archivos del promedio de cada 10 minutos de todas las variables, esta información es enviada vía satélite en intervalos de 1 ó 3 horas por estación. La hora que se utiliza para registrar los datos es el horario TUC ó UTC (Tiempo Universal Coordinado) por esta razón se consideró este factor para la correcta interpretación de los datos (-5 y -6 para el centro de



México). El área representativa de la estación es de 5 km de radio aproximadamente, en terreno plano, excepto en terreno montañoso (OMM N° 100 y 168).

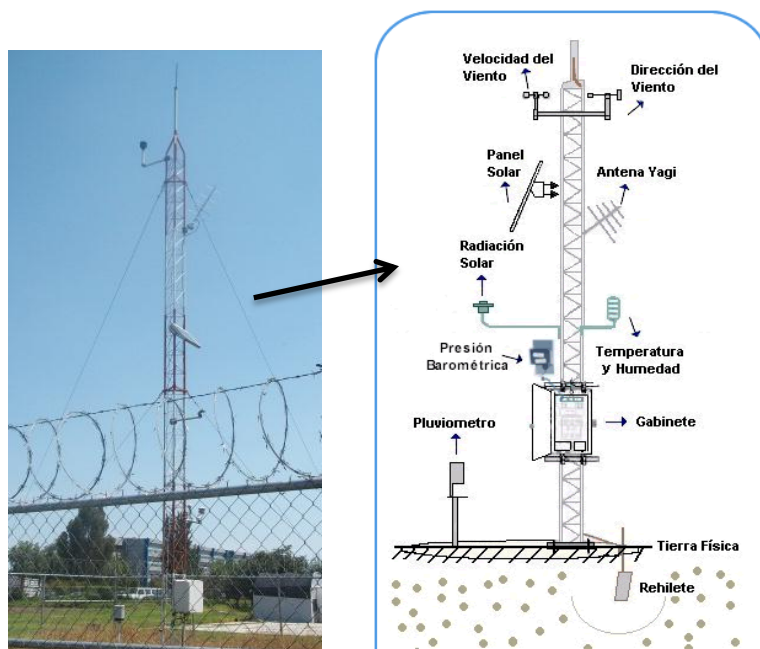


Figura 16. Estación Meteorológica Automática- Chapingo
Fuente: SMN, 2013

La variables que mide y registra la EMA son son

- Dirección del viento
- Dirección del viento de ráfaga
- Velocidad del viento
- Velocidad del viento de ráfaga
- Temperatura ambiente promedio
- Humedad relativa
- Presión atmosférica
- Precipitación
- Radiación

Para el interés de la investigación se analizó la radiación solar, éstos son los valores promedio medidos en un lapso de 10 minutos (se toman mediciones cada minuto), su unidad de medición es en W/m^2 (SMN, 2013).



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Catálogo para software de selección

4.1.1. Catálogo de equipos de invernadero

El catálogo de los equipos más usuales en los invernaderos consta de:

- Motores de ventiladores
- Motores de calefactores
- Motor de extractores
- Motor de bomba

Se relacionó cada uno de los equipos del invernadero, haciendo un total de 71 cargas (motores y lámparas) de diferentes potencias. También se hizo una opción de que el usuario registre accesorios más específicos que use en el invernadero, para ello solo debe saber la potencia, cantidad y horas de uso.

4.1.2. Catálogo de sitios

Se hizo un registro total de 53 localidades de la república Mexicana. Para cada sitio se registraron las Hsp mensuales, obteniendo un total de 12 valores por sitio. Aunque la información registrada en el software es una constante se dejó la posibilidad de actualizar y aumentar el número de localidades para su elección.



4.1.3. Catálogo de equipos fotovoltaicos

Módulos fotovoltaicos

Se recopiló información de 16 diferentes marcas, modelos y potencias con un total de 55 MFV. A continuación se muestra una clasificación en función de las marcas.

Cuadro 19. Catálogo de marcas de módulos fotovoltaicos

Marca	Cantidad	Marca	Cantidad
Aleosolar	1	LDK	4
Bioenergy	2	Panasonic	1
Bosh	3	REC	3
Conermex	9	Sanyo	3
Eurener	2	Suntech	11
Ja solar	2	Techo sun	4
Kyocera	7	Trina solar	3

Las potencias de los MFV van desde 5 W hasta 320 W.

Controladores de carga

Se recopiló información de 7 diferentes marcas controladores de carga, obteniendo un total de 52 modelos diferentes. Muchas veces un mismo controlador tiene opciones para 12, 24, 36 y 48 V.

Cuadro 20. Catálogo de marcas de controladores

Marca	Cantidad
Mornigstar	8
Outtback	10
Samlexsolar	8
Shneider	4
Steca	15
Techono sun	5
Victron	2

Los controladores van de 10 A hasta de 140 A.



Baterías

El catálogo de baterías consta de 53 modelos de baterías de 2 marcas (Surretteroll y Hawker) todas de uso exclusivo de descargas profundas.

Cuadro 21. Catálogo de marcas de baterías

Marca	Cantidad
Surretteroll	36
Hawker	16

Voltajes de baterías de 2V, 4V, 6V y 12V, con Capacidades de 75 Ah a 4611 Ah.

Inversores

La búsqueda de información técnica con los proveedores, se juntó 79 tipos de modelos de inversores de 10 marcas. Como se mencionó en la sección de inversores, se clasificaron los inversores de acuerdo a su tipo de onda y su uso (red o autónomo).

Cuadro 22. Catálogo de marcas de inversores

Marca	Cantidad
Outback	15
Schneider	3
Studer	8
TBS	17
Victron	30
Xantrex	6

Las potencias de los inversores son de 75 W hasta de 8000 W y la eficiencia de 88 a 96 %.



4.1.4. Algoritmos de selección de equipos fotovoltaicos

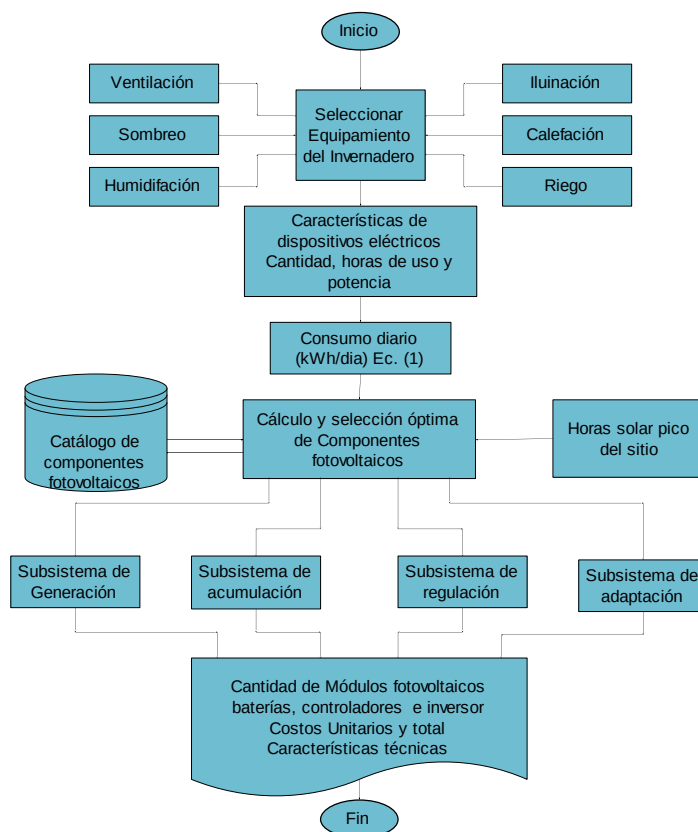


Figura 17. Diagrama de funcionamiento general del sistema de selección

La selección de cada uno de los componentes fotovoltaicos se basó en la metodología de cálculo de las secciones anteriores. Al final de los cálculos de todos los subsistemas se muestran los resultados (información técnica, cantidad y costos) de selección de los elementos fotovoltaicos más económicos. A continuación se detalla el algoritmo de selección cada uno de los equipos FV.



Subsistema de generación; Selección de módulos fotovoltaicos

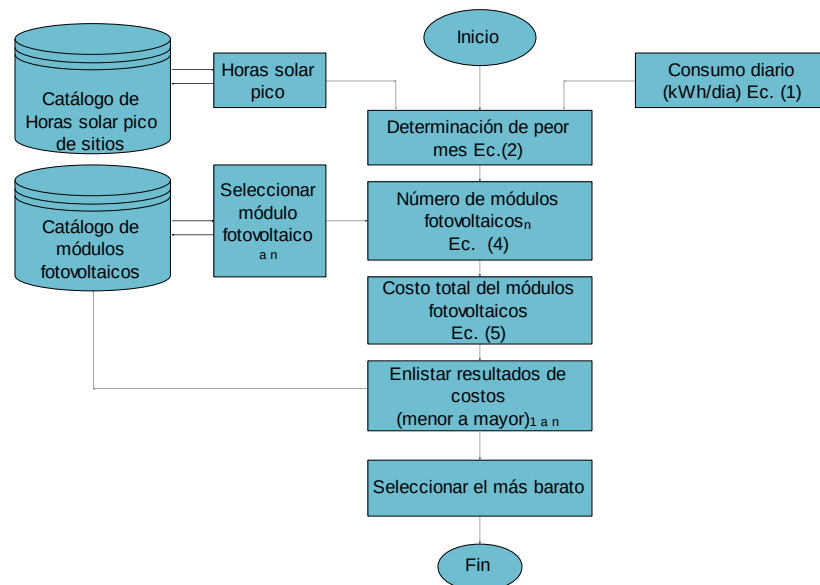


Figura 18. Diagrama de selección de módulos fotovoltaicos

En la figura 18 se observa el proceso de la selección de los módulos fotovoltaicos. La selección inicia con determinar el sitio de trabajo, al mismo se tiempo se calcula la cantidad de energía que se requiere por día, teniendo en cuenta la cantidad de equipos, sus horas de funcionamiento y la potencia. Lo siguiente es la determinación del cociente máximo de la Hsp y el mes de máximo consumo, se selecciona un módulo FV del catálogo con sus características, se determina la cantidad necesaria y su costo total. Se selecciona otro módulo y se emplea el mismo procedimiento hasta calcular todos los módulos y después encuentra el más económico. Una vez que se tenga el MFV adecuado se calcula los parámetros eléctricos.



Subsistema de acumulación; Selección de baterías

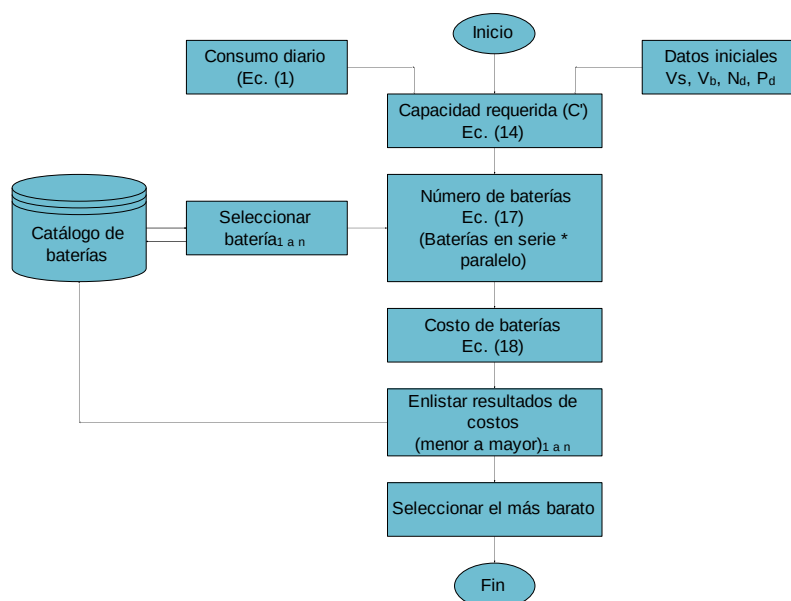


Figura 19. Diagrama de selección de baterías

La selección empieza de fijar parámetros iniciales y se calcula la capacidad requerida para el banco de baterías (Figura 19). Se selecciona una batería del catálogo y se calcula las baterías en serie y paralelo para determinar la cantidad necesaria. Se calcula el costo total de la cantidad de baterías del modelo escogido. Se selecciona otra batería y se emplea el mismo procedimiento hasta calcular todas las baterías y después encuentra el modelo más económico.



Subsistema de regulación; Selección de controlador

La selección del controlador se realiza después de la selección de las baterías y de los módulos FV.

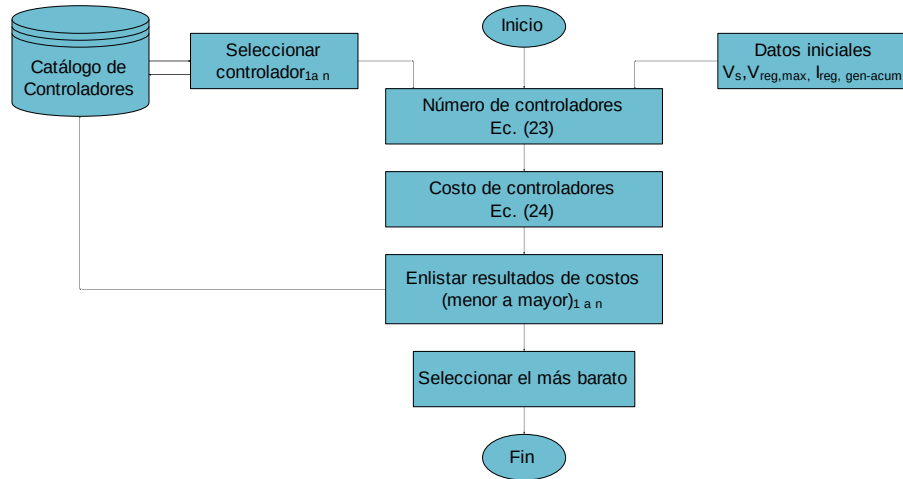


Figura 20. Diagrama de selección de controladores

La selección del controlador, interviene la corriente máxima de regulación del controlador, la corriente máxima del subsistema de generación y voltaje del sistema (Figura 20). Con esta información se selecciona un controlador del catálogo se calcula la cantidad necesaria y el costo total. Se selecciona otro controlador y se emplea el mismo procedimiento hasta calcular todos los controladores y después encuentra el modelo más económico.



Subsistema de adaptación; Selección de inversor

La selección del inversor es la culminación de los componentes FV.

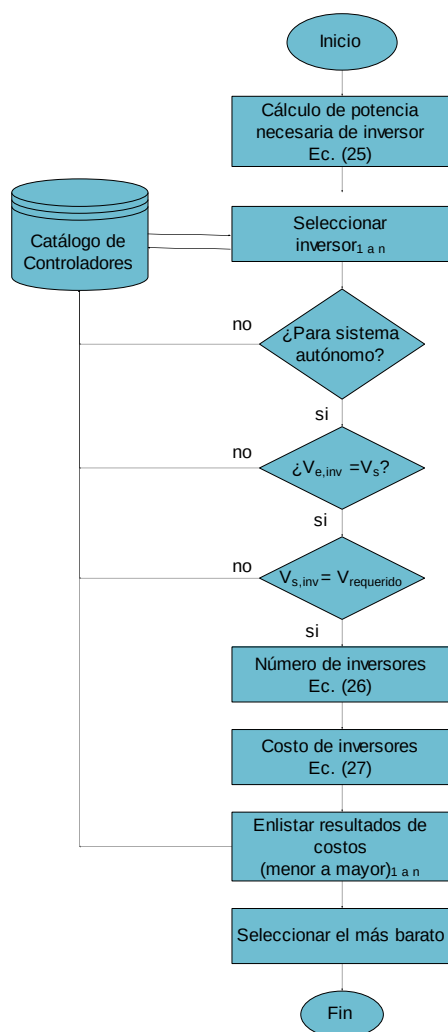


Figura 21. Diagrama de selección del inversor

Para la selección del inversor, primero se suma la potencia de los equipos del invernadero incluyendo el F_s (Figura 21). Se selecciona un inversor y hace una serie de comparaciones como el tipo de uso del inversor, voltaje de entrada, y si el voltaje de salida coincide con lo que nuestras cargas requieren, hasta obtener la cantidad de inversores necesarias el inversor y el costo.



4.2. Aplicación de la metodología para desarrollo de software

La metodología de cálculos, catálogos de los equipos de invernaderos, componentes fotovoltaicos, sitios y algoritmos desarrollados fueron la base para el desarrollo del software “Selección de sistema fotovoltaico para invernadero” disponible en el siguiente sitio de la red: <http://sistemas.chapingo.mx/empresas/SICF/>, libre para ser usado.

Desde el mes de Julio del 2013 está registrado ante la Agencia Nacional de Derecho de Autor con el ISBN: 978-607-12-0295-6.

Selección Sistema Fotovoltaico para Invernadero

*Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua
Universidad Autónoma Chapingo*

Sistema Autónomo | Sistema red |

SISTEMA AUTÓNOMO

Catalogo ▼ Inventario de Aplicaciones Datos Generales Reporte Nuevo calculo

INVENTARIO DE APLICACIONES

Introduce la potencia de los motores que utilizas en tu sistema de invernadero

Ventilacion | Sombreo | Iluminación | Humidificación | Calefacción | Riego | Accesorios |

Figura 22. Pantalla de inicio del software de selección de sistema fotovoltaico

Usando los datos de entrada de los sistemas de invernaderos y catálogo de los sitios, se obtiene del software la cantidad de módulos fotovoltaicos, baterías, reguladores, inversores, sus características, marcas y costos.



El formato para resultados del software de selección se presenta en anexo 10.

Las ventajas que tiene el software de selección es que ofrece un análisis rápido del costo de total y unitario de los equipos de un sistema fotovoltaico para determinado consumo.

El manejo del software es de dominio público sin necesidad de tener conocimientos sobre sistemas fotovoltaicos. Aunque un conocedor con conocimientos del área podrá hacer modificaciones en la selección de los equipos fotovoltaicos haciendo una selección manual en cuanto a la experiencia.

4.2.1. Determinación de costos de sistemas fotovoltaicos

El análisis de costos de sistemas fotovoltaicos consistió en introducir tres tipos de bombas (1, 2 y 3 hp) en diferentes cantidades en el software, dando origen a la figura 23. Los costos que se reflejan contemplan en todos los casos, módulos fotovoltaicos, baterías para 3 días de autonomía, controladores, inversores y la mano de obra.

Una limitante del uso de sistemas fotovoltaicos son sus costos de inversión por eso utilizando el software desarrollado se realizó un análisis de los costos para diferentes potencias y horas de uso para invernadero (Figura 23).



Como se puede ver en la figura 23 los costos varían considerablemente con el cambio de la potencia como de las horas de uso.

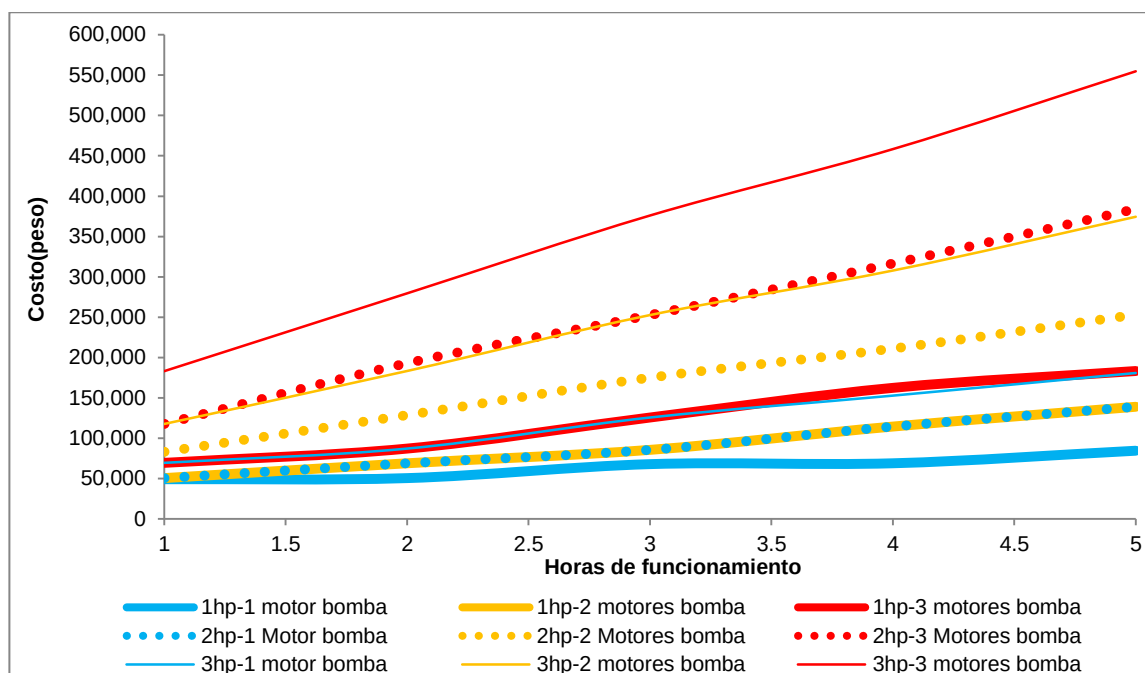


Figura 23. Costo de sistemas fotovoltaicos para diferentes horas de uso de 1, 2 y 3 bombas de 1,2 y 3 HP

El costo de un sistema fotovoltaico es casi proporcional a la energía de uso, para la misma energía del invernadero no depende de los equipos en uso, tiene el mismo costo. Como ejemplo se puede ver que usar 1 bomba de 3 Hp tiene similar costo que usar 3 bombas de 1 hp con las mismas horas de uso. El costo del uso de una bomba de 1 hp funcionando durante 3 horas por día, costaría 70 mil pesos. y si se usa durante 25 años el costo del kW es de 2.8 pesos (sin contemplar otros gastos de operación)



4.2.2. Análisis del uso de baterías

Tal y como se ha abarcado del uso de baterías que implica una decisión desde económica hasta ecológica se hizo un análisis con el software del costo de uso de baterías para diferentes días de autonomía.

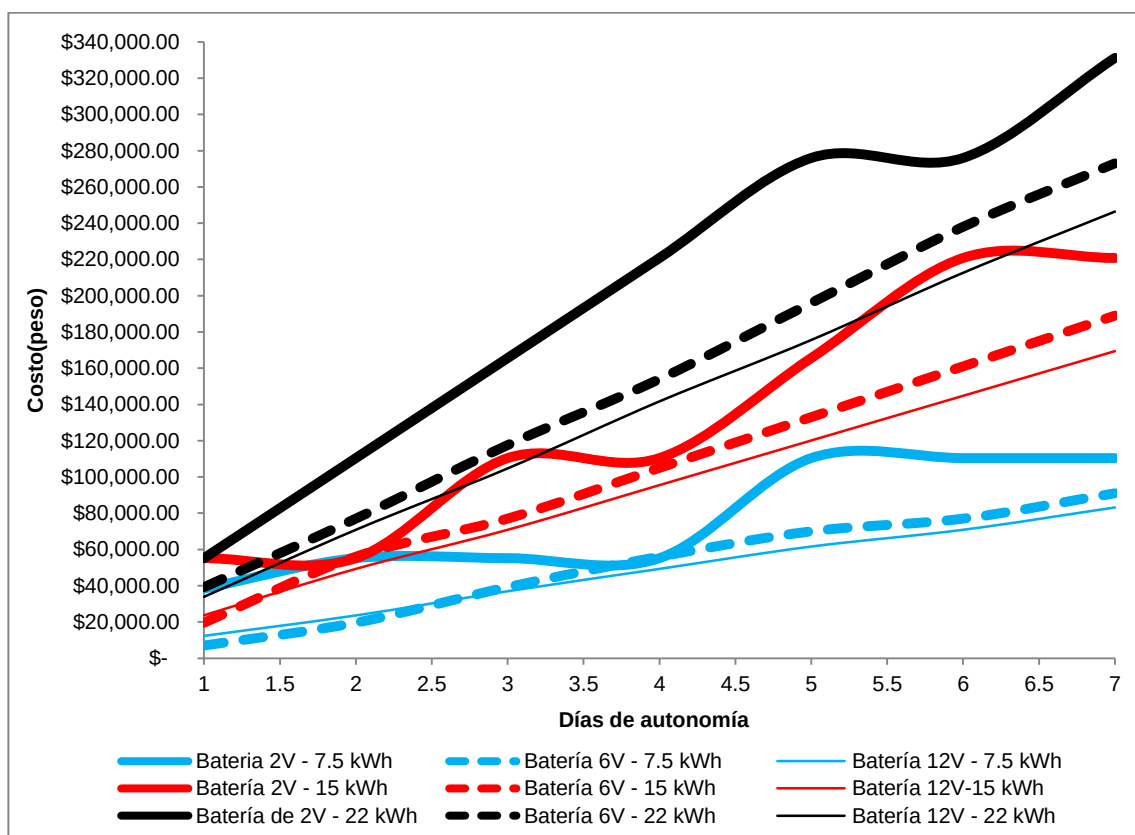


Figura 24. Costo de uso de 3 tipos de baterías para 3 diferentes consumos

Al escoger un tipo de batería, afecta directamente en el costo total del SFV. La figura 24 muestra la relación económica entre el uso de diferentes tipos de baterías para determinados días de autonomía. El costo del uso de las baterías de 2 V en los diferentes consumos siempre es mayor que el uso de baterías de 6 V y 12 V. Como ejemplo tomamos el consumo de 15 kWh/día (2 bombas de 2 Hp funcionando 5 h/día), durante dos y cuatro días de autonomía, el costo del



uso de cualquier tipo de baterías es parecido, aunque en los demás días, el costo de baterías de 2 V es mayor. En caso que los costos de baterías de 2V con 6V fueran iguales, es preferible instalar una batería de 2 V que una de 6 V.

Usar baterías de 12 V (más económico) implica conectar baterías en paralelo, haciendo referencia lo que dice la IIE (2010), las conexiones en paralelo suelen ser dañino y no es conveniente hacer este tipo de arreglos. Ellos sugieren un máximo de 3 series en paralelo.

De este análisis se deduce que es recomendable usar baterías de 6 V que tiene un menor costo que baterías de 2 V y las conexiones en paralelo son menores que un arreglo con baterías de 12 V.



4.3. Aplicación del sistema fotovoltaico a invernaderos de Tlapeaxco

En el capítulo 3.5 se establecieron las condiciones para la aplicación del sistema fotovoltaico a Tlapeaxco, se mostró la caracterización de los invernaderos, el consumo diario y sistema eléctrico principalmente. Adicionalmente se hizo el análisis detallado de horas solar pico del sitio, análisis del uso eficiente de la energía eléctrica del sistema de riego, se mejoró calculando y aplicando el banco de capacitores para finalmente la instalación del sistema fotovoltaico y su monitoreo de funcionamiento.

4.3.1. Análisis de las horas solar pico

Los datos registrados de la Hsp, se realizaron desde el mes de septiembre del 2011 hasta el mes de diciembre del 2013. Los datos se descargaron semanalmente del portal del SMN y se organizaron en la hoja de cálculo Excel, para su análisis diario, semanal, mensual y anual.

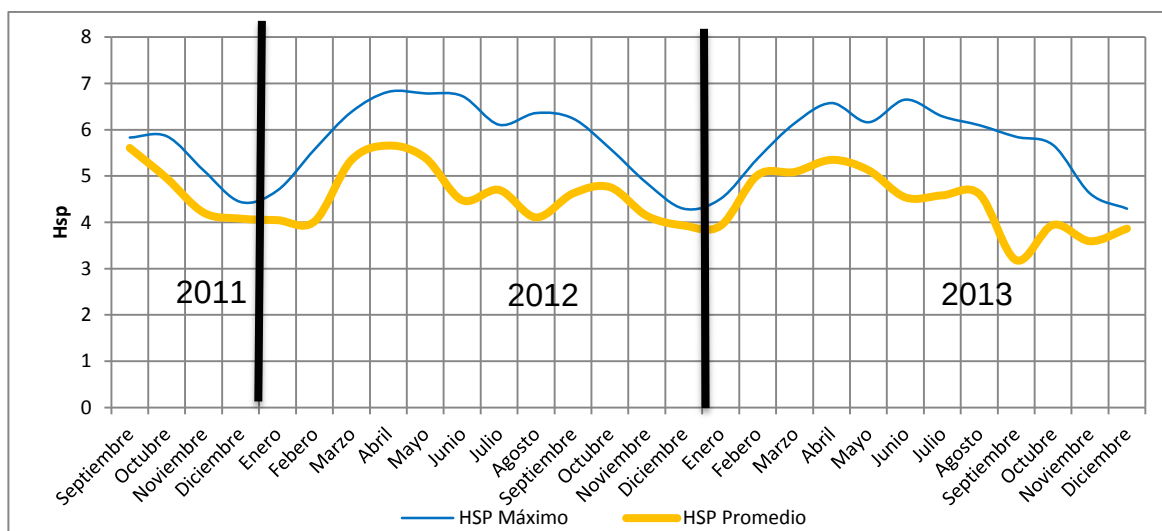


Figura 25. Horas solar pico 2011 a 2013



La Figura 25 se observa el comportamiento de la Hsp. Línea azul representa los valores máximos registrados por mes, y la línea roja es el promedio de los datos mensuales. Aquí se corrobora que los meses de invierno, son los meses con la menor horas solar pico. Mientras que en la primavera alcanza hasta 6.8 hsp. Este análisis da una idea del comportamiento anual de la radiación solar, y sirvió como referencia para el diseño de una instalación FV. Por la cantidad de datos, se presenta una comparación del mes con mayor radiación con la menor radiación.

Se escogieron el mes de mayo del 2012 y enero del 2013.

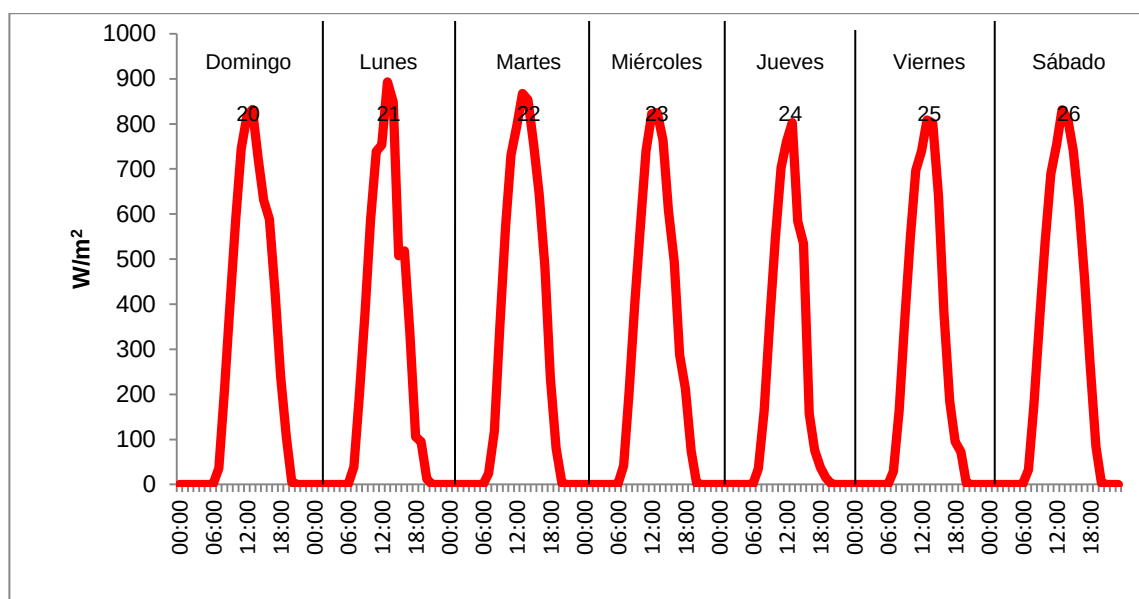


Figura 26. Radiación solar semanal de Mayo 2012

La Figura 26 se observa el comportamiento semanal del mes de mayo del 2012, mes que se caracteriza por alta irradiación solar, la forma simétrica del comportamiento diario se traduce a una falta de nublados y por tanto una buena



producción de energía eléctrica en los módulos FV. De esta misma semana se hizo una comparación los días de la misma semana.

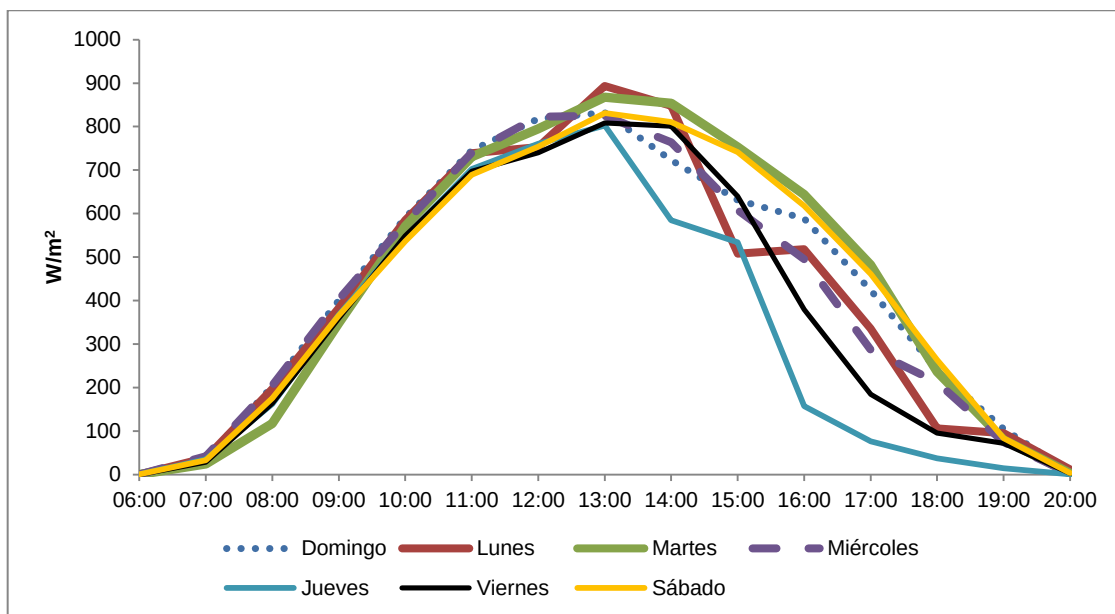


Figura 27. Comparación de radiación diaria de una semana en mayo 2012

La máxima radiación presentada en esta semana fue de 893 W/m^2 . Y así como en la Figura 26 aquí se puede observar de manera más clara la radiación solar.

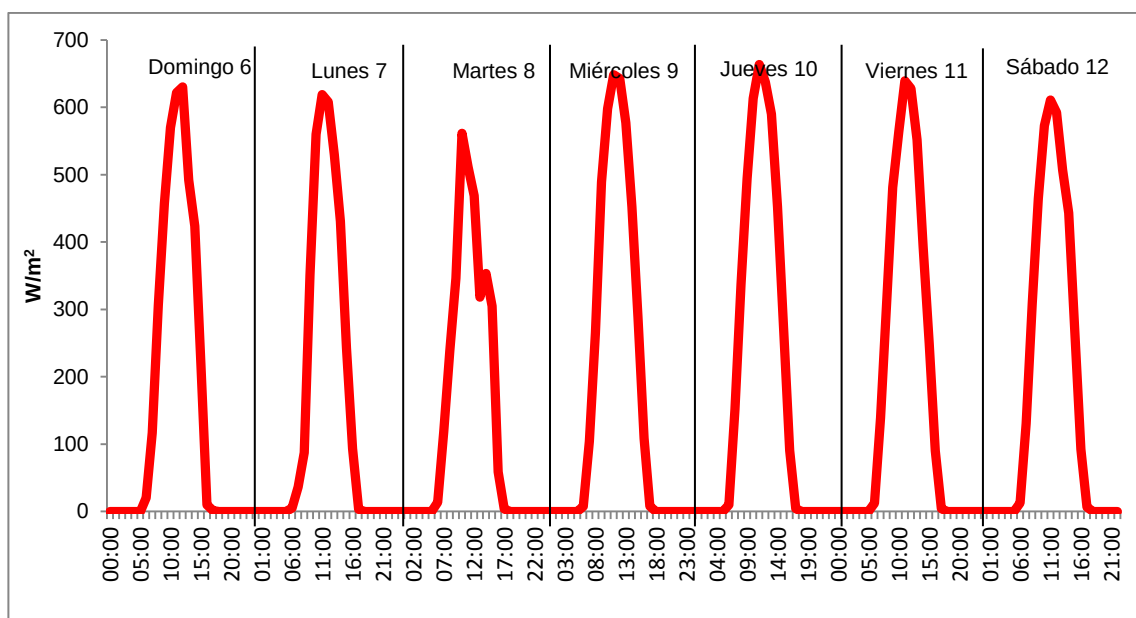


Figura 28. Radiación solar semanal de enero 2013



Tomando en cuenta que enero es invierno, se observa que la radiación solar registrada es menor a los 700 W/m^2 . El martes 8 de enero se observa una modificación en la forma del gráfico, estas variaciones son provocadas por las nubes.

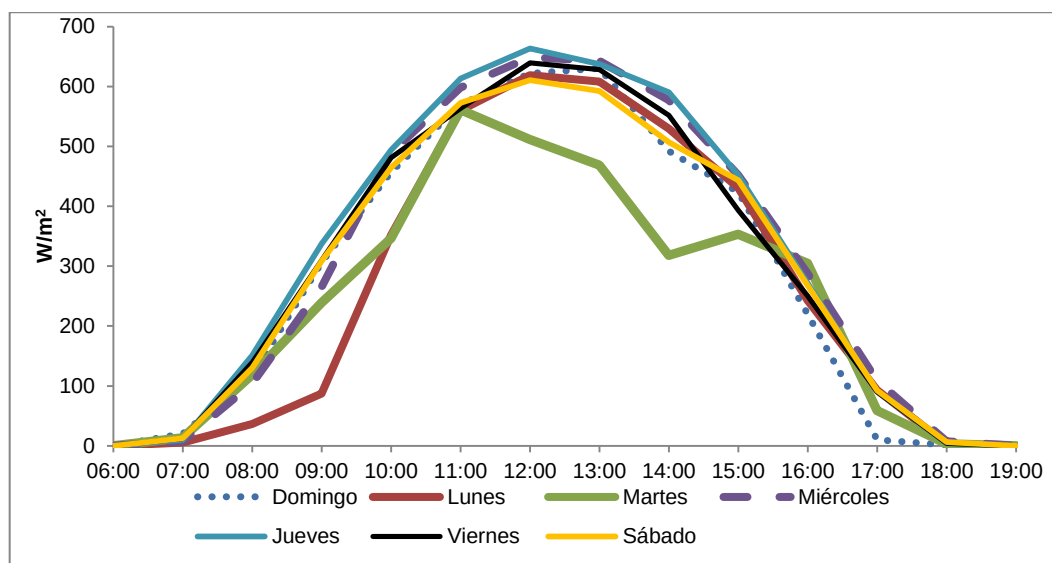


Figura 29. Comparación de radiación diaria de una semana en enero 2013

Comparando la Figura 27 con la Figura 29 se observa que la radiación máxima registrada en la Figura 27 fue de 893 W/m^2 y en la Figura 29 fue de 663 W/m^2 , obteniendo una diferencia de 230 W/m^2 . En esta Figura 29 se observa más clara la modificación de la forma de la curva de la radiación solar. Éstas Figuras, fueron en condiciones climáticas sin nubes o casi nulos.

Por ello se tomó el mes de Julio para el análisis de los comportamientos de la radiación solar en los días con nublados, incluso con lluvia.

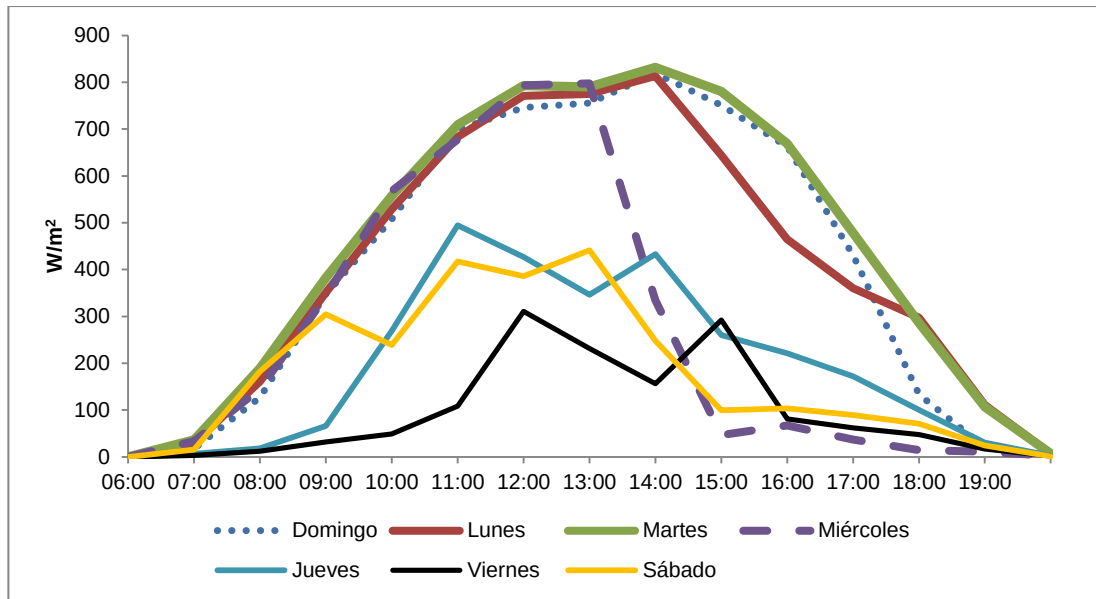


Figura 30. Radiación diaria de una semana en Junio 2013

De la Figura 30 se observa que el día más crítico fue el viernes 21 donde solo alcanzó los 300 W/m^2 . Mientras que el jueves y sábado también fueron afectados por las nubes, lograron alcanzar un máximo de 427 y 441 W/m^2 respectivamente.

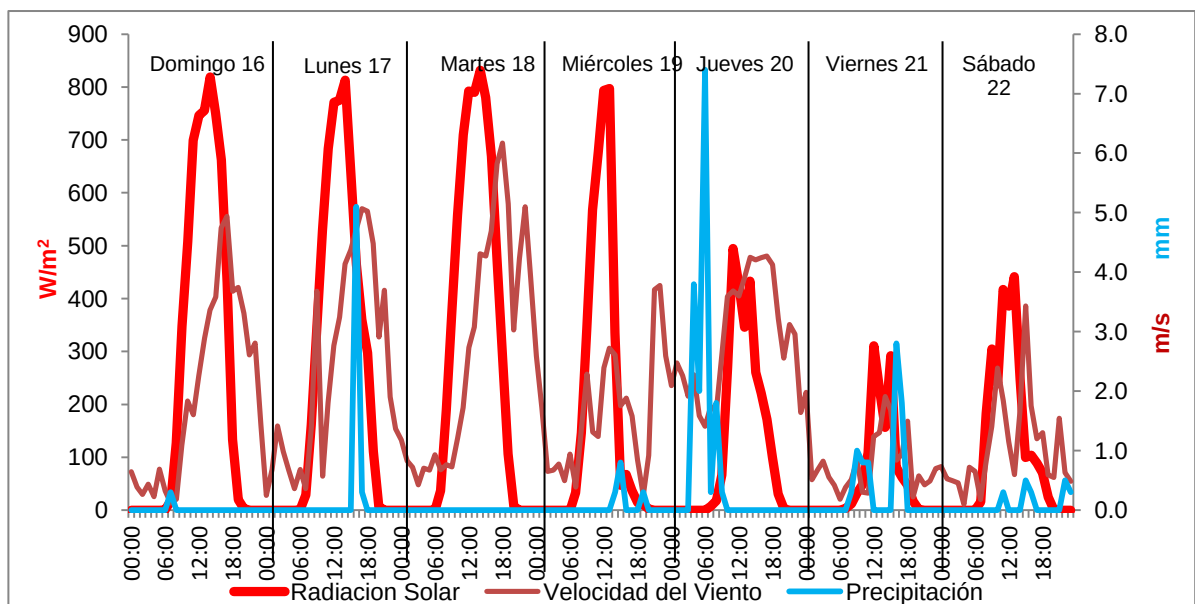


Figura 31. Radiación solar, precipitación y velocidad de viento en verano



En la Figura 31 se muestran tres parámetros medidos (Radiación solar Velocidad de viento y lluvia). En esta semana de junio, se aprecia tres días con radiación solar menor de 500 W/m^2 . Lo rescatable en las épocas de lluvia es que suele hacer viento al mismo tiempo. Esto da oportunidad o al menos considerar un sistema híbrido (fotovoltaico-eólico).

4.3.2. Análisis de los parámetros eléctricos medidos

Se tomaron 2,292 lecturas de cada segundo. Los resultados de las mediciones realizadas se muestran en las siguientes Figuras.

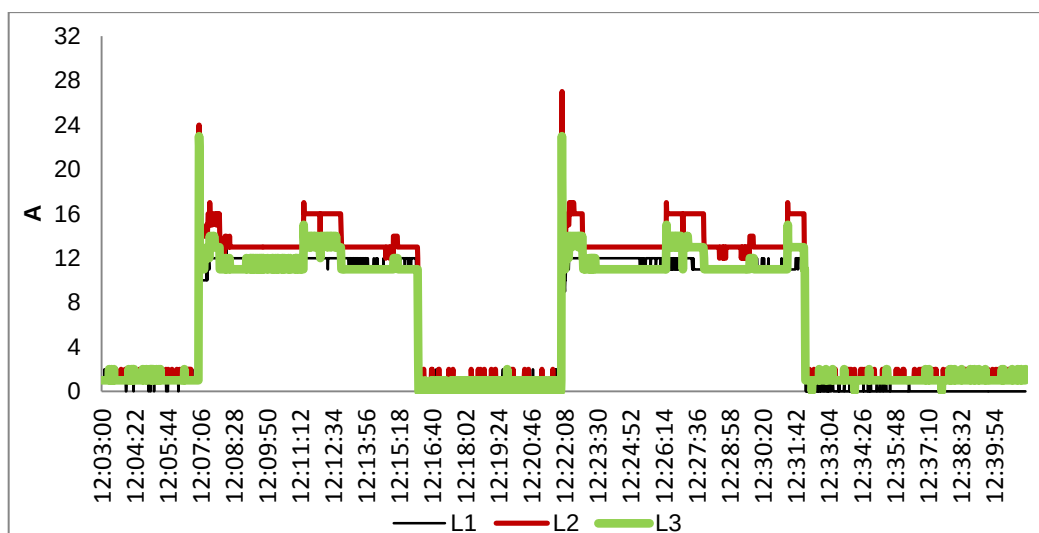


Figura 32. Comportamiento de la corriente durante el riego

La Figura 32 muestra el monitoreo de dos secciones del riego durante el día. Se observa que la corriente de arranque máxima alcanzó hasta 27 A en la línea 2 y 23 A en la línea 3 y se restableció a 12 ± 1 A. La línea 2 y 3 tuvo un aumento en el consumo de la corriente, llegando hasta 15 A y 13 A respectivamente



durante 1 minuto. Esto es provocado cuando el soplador entra en funcionamiento generando picos de corriente.

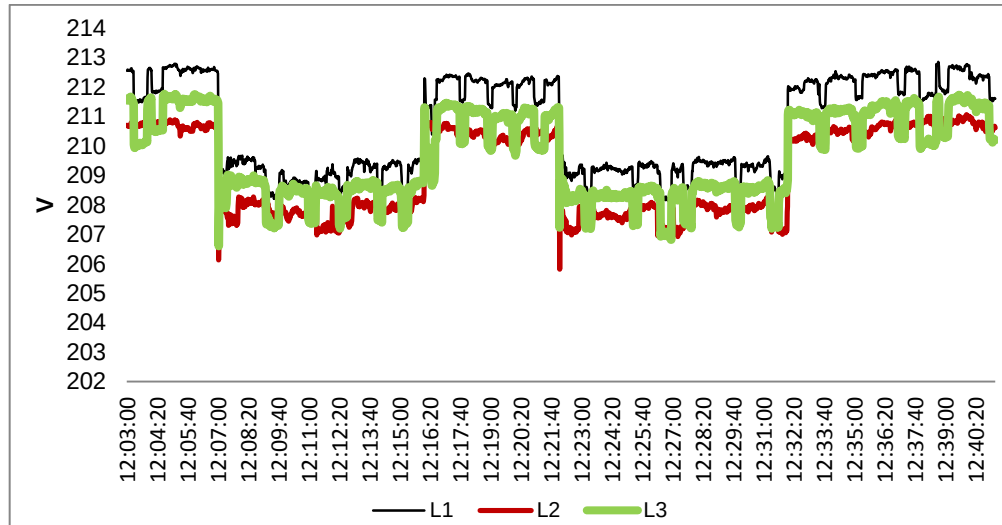


Figura 33. Comportamiento del voltaje durante el riego

La Figura 33 muestra el comportamiento del voltaje. Cuando el sistema de riego está en pausa, el voltaje medio es de 211 V en las tres líneas. El voltaje disminuye hasta 208 ± 1 V.

Muy importante recordar que el voltaje debería estar a 220 ± 5 V (Normas de Electrificación para baja de tensión de la CFE), haciendo referencia a la norma, se detectó un bajo voltaje. Este problema puede ser ocasionado por una falta de mantenimiento al transformador. El problema del bajo voltaje es que los motores requerirán más corriente para el funcionamiento, además de provocar sobrecalentamiento y pérdidas afectando la eficiencia de los motores.

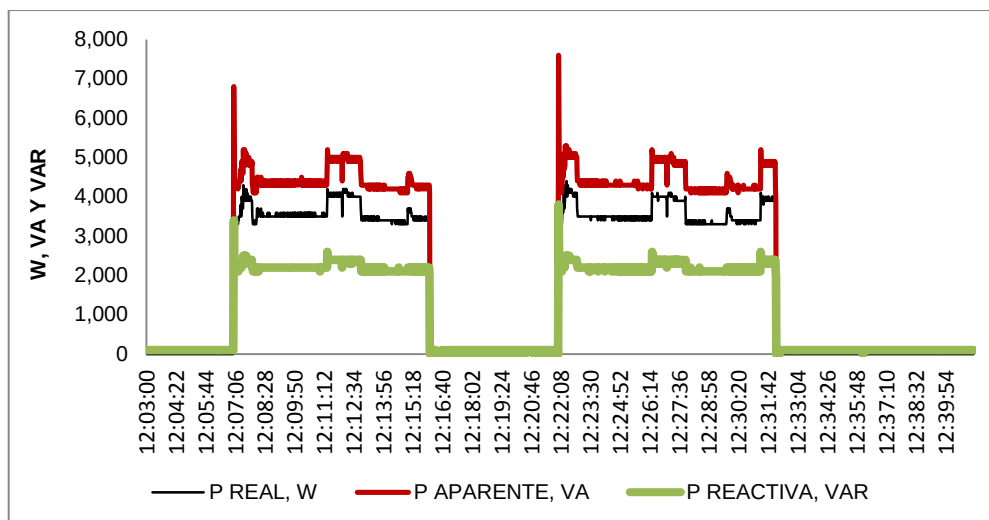


Figura 34. Comportamiento de las potencias durante el riego

En el registro del comportamiento de las potencias resaltan los picos de arranque. La potencia real alcanzó 5500 W en el arranque, consecutivamente se mantuvo con 3500 W, posteriormente tuvo un aumento hasta 4400 W, provocado por el encendido del soplador de los tanques de fertilizantes.

La potencia reactiva que se observa en la Figura 34 alcanzó 2200 VAR continuos, que como ya se comentó, afecta directamente al sistema eléctrico y disminuye proporcionalmente al factor de potencia. Ese mismo valor se tomó en cuenta para la verificación del cálculo del banco de capacitor. Respecto a la potencia aparente no se comenta su importancia debido que es la resultante de las otras dos potencias las que la modifican.

El comportamiento de los riegos diarios en cada invernadero es variable de uno a dos minutos durante un año. Cuando se aplica un minuto de riego más por invernadero, el consumo llega hasta 2 kWh, de ahí la importancia de tener un



control en la aplicación de los tiempos de riego en ciertas épocas del año, específicamente en la primavera-verano.

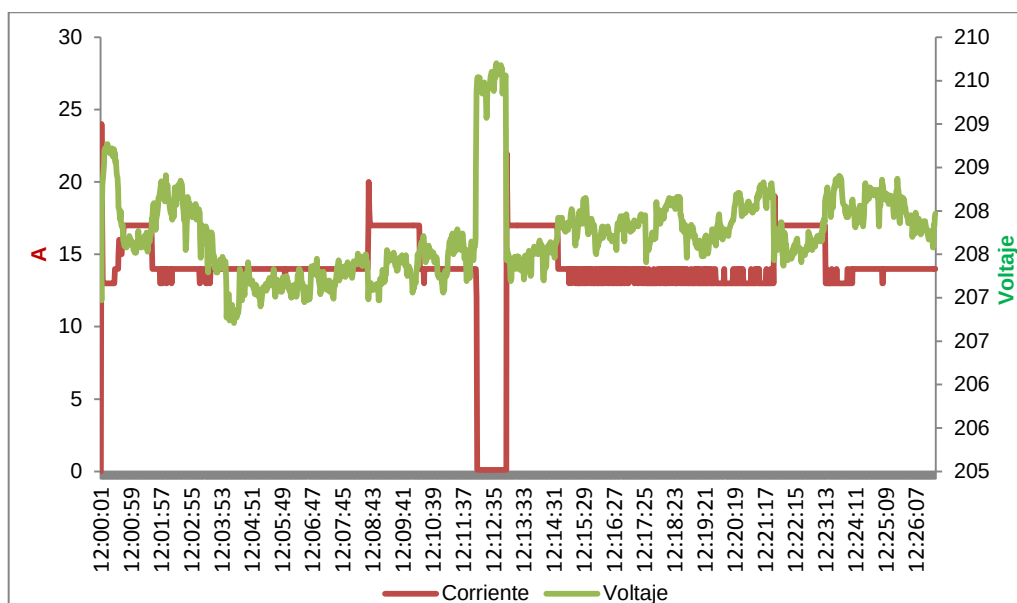


Figura 35. Comportamiento de corriente y voltaje durante un riego

En la Figura 35 muestra la relación entre la corriente eléctrica y el voltaje. La medición de estos datos fue de fecha diferente con los de las Figuras 32 y 32. La corriente registrada en esta medición se mantuvo a 14 A durante el funcionamiento de las bombas y hasta 17 A cuando entró en función el soplador. El riego se paró por un minuto, lo que provocó la disminución de la corriente. El voltaje trabajó en un rango de 207 ± 1 V en cuanto el riego se para sube el voltaje a 209 V y la corriente baja a 5 A.



4.3.3. Mejoramiento del sistema eléctrico con banco de capacitores

Como consecuencia de la medición y análisis de los parámetros eléctricos se determinó que era necesario realizar un mejoramiento a las condiciones eléctricas actuales, específicamente en el factor de potencia. Se calculó un banco de capacitor con una capacidad suficiente para contrarrestar los efectos negativos del bajo factor de potencia.

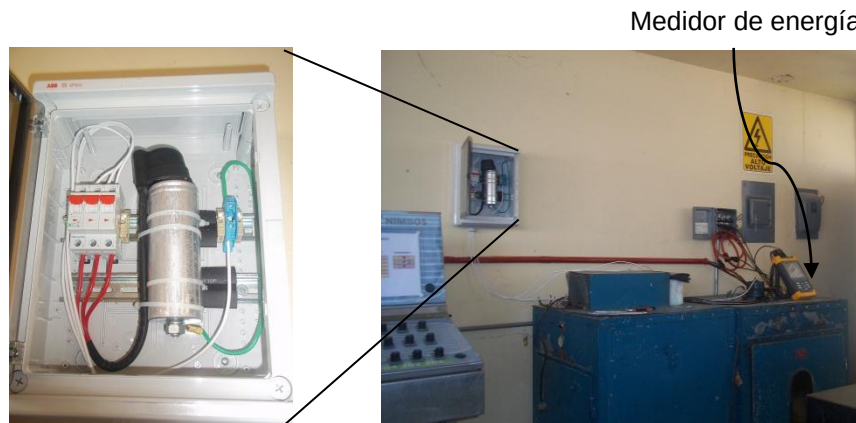
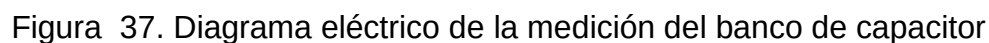


Figura 36. Banco de capacitor conectado a sistema de riego

El procedimiento de la medición fue la misma que se realizó en la caracterización del sistema eléctrico, se midieron los mismos parámetros simultáneamente aunque con especial atención al impacto en el factor de potencia y la potencia reactiva, que es donde influye el banco de capacitor.



En la Figura 37 se aprecia el banco de capacitores y el medidor de energía Fluke, ambos conectados en paralelo al sistema eléctrico. Las mediciones eléctricas se hicieron en dos partes, la primera con el banco de capacitor encendido y la otra sin ella. Posteriormente se graficaron en la misma gráfica para observar los impactos.

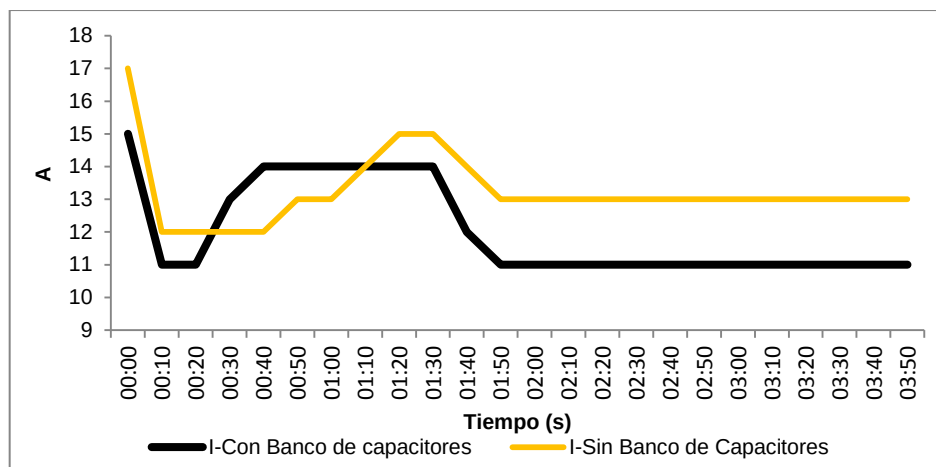


Figura 38. Comportamiento de la corriente con y sin banco de capacitores

En la Figura 38 se observó claramente la disminución de 2 A en la corriente con el banco de capacitor encendido. El arranque del sistema alcanzó un valor pico de 17 A que fue cuando los tres motores estuvieron funcionando, segundos después, se mantuvo en 13 A, enseguida hubo otro pico cuando entró en funcionamiento el agitador de los nutrientes en los tanques.

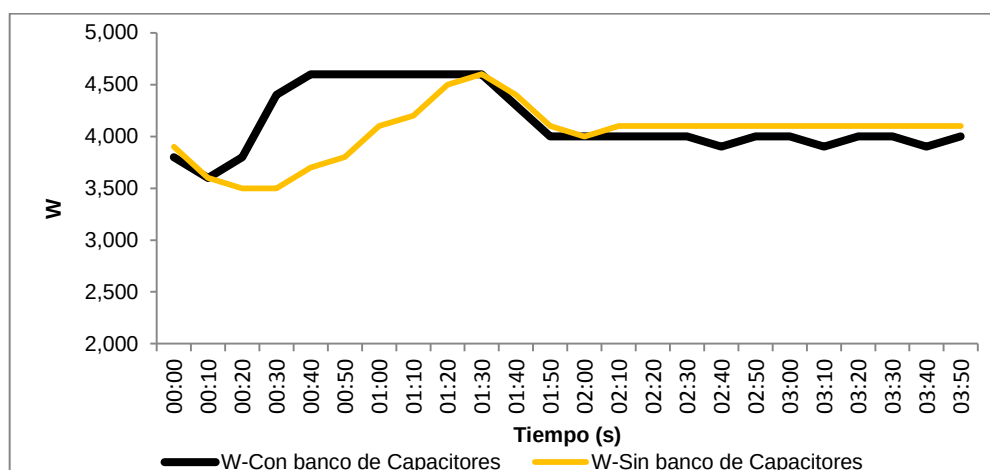


Figura 39. Comportamiento de la potencia real con y sin banco de capacitores



El comportamiento de la potencia real con o sin el banco de capacitores no varió, es decir el costo de la facturación es la misma su beneficio es evitar la penalización por bajo factor de potencia según lo establecido en el DOF (1991).

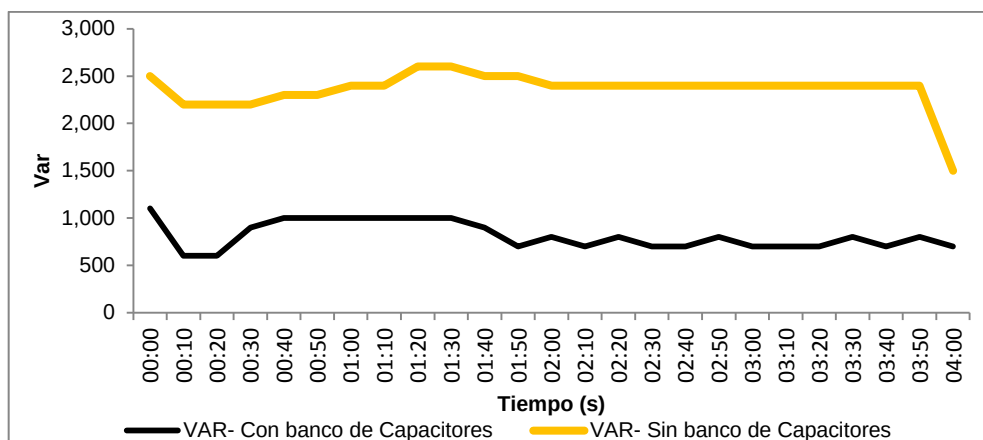


Figura 40. Comportamiento de la potencia reactiva con y sin banco de capacitores

En la Figura 40 se observa la disminución de la potencia reactiva aunque no se logró suprimirla en su totalidad. Con banco de capacitores disminuyó el 60 % de la potencia reactiva y los supresores de picos disminuyen los picos de arranque en 80 %.

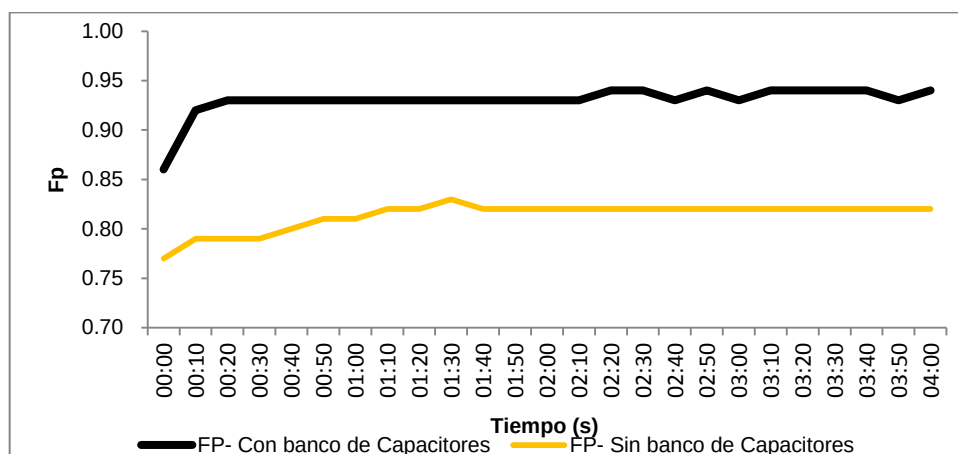


Figura 41. Comportamiento del factor de potencia con y sin banco de capacitores



El factor de potencia es otro parámetro eléctrico que mayor impacto tuvo la instalación del banco de capacitores. Mientras el valor del FP este arriba de 0.9 se considera que esta en el rango aceptable de la CFE y es lo que se logró al aumentar el FP a 0.94

Lo ideal en un sistema eléctrico es un $FP=1$, pues así habría una mejor optimización y aprovechamiento del consumo de energía eléctrica, es decir, habría menos pérdida de energía no aprovechada y una mayor eficiencia de trabajo en los generadores que producen esa energía.

Un banco de capacitores bien aplicado trae beneficios desde el punto de vista de la confiabilidad de un sistema haciéndolo más robusto mejorando la regulación de voltaje y por ende la calidad de la energía.



4.3.4. Acondicionamiento para conexión del sistema fotovoltaico al riego

Esta parte del trabajo consistió en hacer las adecuaciones necesarias para la conexión y funcionamiento del sistema. Se prestó especial atención de que el caudal y potencia de las bombas del sistema de riego no variaran al cambiar por otro tipo de bombas. Para lograr este propósito se realizaron mediciones de los parámetros eléctricos de cada uno de las bombas.

Cuadro 23. Parámetros eléctricos medidos de las bombas

Línea	Bomba 1					Bomba 2				
	A	V	kW	kVA	kVAR	A	V	kW	kVA	kVAR
L1	5	210	1.5	1.5	0.9	5	210	1.3	1.8	1.7
L2	6	209	1.7	1.9	0.9	6	212	1.3	1.9	1.9
L3	5	211	1.5	1.5	0.9	5	210	1.3	1.9	1.7

Ambas potencias de las bombas son de 3 hp, pero esto no quiere decir que tengan el mismo consumo de energía. De la bomba 1 se observó que la potencia real fue de 1.5 kW y la bomba 2 registró una potencia real de 1.3 kW. Estas mediciones junto con las que se hicieron en la caracterización del invernadero y del sistema de riego son similares. Lo importante en esta sección era cuidar cada uno de los aspectos eléctricos e hidráulicos para la conexión. Las bombas instaladas en el sistema de riego son trifásicas y el inversor es bifásico, por lo que fue necesario analizar distintas opciones para el acoplamiento.



Cambio de bombas

El cambio de bombas fue la opción escogida. Para ello fue necesario seleccionar una bomba bifásica con la misma potencia y caudal. Antes de su instalación se realizaron mediciones y el análisis de las condiciones en que esta operando el sistema de riego.

Cuadro 24. Datos técnicos de la bomba de sustitución

Bomba-Motor	Information technical
CP _m 670 M n. C	Potencia: 3 HP Voltaje: 127/230 Frecuencia: 60 HZ RPM: 3450 Fases: 2 fases Amperaje: 26/13 A Q (L/min)= 10+160 H _{max} 51 m H _{min} 32m

Otra de las actividades fue la elaboración y modificación del control del sistema de riego, para la conexión de la bomba bifásica. Es en esta parte que se contó con la ayuda de un eléctrico. Se hizo la propuesta del cambio, se adaptó la bomba bifásica. El diagrama eléctrico modificado se puede consultar en el anexo 2.



4.3.5. Selección del sistema fotovoltaico

La selección del sistema FV se hizo con el software desarrollado (Anexo 10). El resultado arrojado por el software no fue definitivo, para eso fue necesario corroborarlo y además por criterios de diseño, seguridad y de la disposición de los equipos en el mercado, varió la cantidad y modelo de los equipos.

El subsistema de generación se compone 8 MFV marca Solarworld de 230 W cada una. El sistema de acumulación es compuesto por 12 baterías Surrete Rolls Modelo S-600 de 6 V. El sistema de regulación es compuesto por dos controladores Marca power outback power sistema, modelo Flexmax 80. El sistema de adaptación es compuesto por un cargador-Inversor de la marca xantrex, Modelo XW4024-230-60, con entrada de 24 V en CD y salida de 220 V en CA.

La información técnica detallada de cada uno de los componentes fotovoltaicos seleccionados se puede consultar en los anexos (5, 6, 7, 8 y 9).



4.3.6. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

En el cuadro 25 se resumen los resultados de los cálculos al emplear las fórmulas planteadas en la metodología de cálculo y dimensionamiento del SFV

Cuadro 25. Resultado de cálculos del dimensionamiento del sistema fotovoltaico

N° ecuación	Parámetro calculado	Valor	Unidades
1	Consumo diario	13.663	kWh
2	Factor de peor mes	3,434	m ²
Subsistema de generación			
3	Energía producida por un MFV	920	Wh
4	Número de MFV	16	
5	Costo de MFV	108,804.80	Pesos
6	MFV en serie	1	
7	MFV en paralelo	16	
8	Potencial del SFV	3.68	kW
9	Intensidad pico de generación	123.52	A
10	Corto circuito de generación	132	A
11	Voltaje nominal	29.8	V
12	Voltaje pico	30.9	V
13	Voltaje en circuito abierto	36.9	V
Subsistema de acumulación			
14	Capacidad requerida	1801	Ah
15	Baterías en serie	4	
16	Baterías en paralelo	3	
17	Número de baterías	12	
18	Costo de baterías	56,063.40	Pesos
19	Intensidad para cargar	153	A
20	Tiempo de carga	11.7	Horas
Subsistema de regulación			
21	Voltaje de regulación máxima	46.12	V
22	Intensidad nominal de interruptor	165	A
23	Número de controladores	2	
24	Costo de controladores	18,816.20	Pesos
Subsistema de adaptación			
25	Potencia necesaria de inversor	4.35	kW
26	Número de inversores	1	
27	Costo de inversores	52,903.50	Pesos



Selección calibre de conductores

28	Entre MFV	10 AWG o 41.25	A
28	MFV a controlador	4 AWG o 82.5	A
28	controlador a baterías	4 AWG o 82.5	A
28	Entre baterías	4 AWG o 82.5	A
29	Baterías a inversor	3/0 AWG o 235.9	A

4.3.7. Costo del sistema Fotovoltaico

El costo real de la adquisición de los componentes FV se muestra en el cuadro 26. Aunque el costo real es menor al costo reflejado por el software, sí es una referencia en cuanto a cantidad de equipos y modelos.

Cuadro 26. Costo real del sistema fotovoltaico de Tlapeaxco

	Cantidad	\$/Unidad	Subtotal
MFV	16	6,800.30	\$ 108,804.80
Controladores	2	9,408.10	\$ 18,816.20
Inversor	1	52,903.50	\$ 52,903.50
Baterías	12	4,671.95	\$ 56,063.40
Instalación			\$ 50,000.00
Total			\$ 286,587.9 + IVA

Durante los 25 años del ciclo de vida de los componentes fotovoltaicos, las baterías son las únicas que deberían cambiarse cada 8 años si el resto de los equipos no falla después de sus años de garantías, es decir se van a substituir las baterías al menos 2 ocasiones más, y se contempla costo de mantenimiento de \$1,000 por año para revisión del resto de los equipos FV, con lo que el costo de la vida útil del sistema es:

$$\text{Costo de vida útil} = 286,587.9 + 2(56,063.4) + \$1,000(25) = \$ \mathbf{423,714.70}$$



Cuadro 27. Costos de producción del sistema fotovoltaico de Tlapeaxco

Concepto	Valor
Potencia instalada	3.68 kW
Producción estimada diaria	18.4 ± 4 kWh
Costo de vida útil (25 años)	\$ 423,714.70
Producción estimada durante 25 años	167,900 kWh
Costo por kWh	\$ 2.52

Aunque el costo del sistema fotovoltaico instalado es muy similar a las tarifas de la CFE, estas últimas se han estado incrementando desde el 2002 hasta del 4.5 % (Poblano, 2013), por lo que es rentable un sistema fotovoltaico desde el punto de vista económico a largo plazo y no hay que olvidar que este tipo de sistemas es aun más conveniente en lugares alejadas de la red eléctrica.



4.3.8. Diseño de la instalación fotovoltaica

Se diseñaron dos bastidores para los arreglos FV con una inclinación de 19° y se montaron en el techo del cuarto de control del sistema de riego a 0° al sur, ocupando una superficie de 27 m^2 y un peso de $728 \pm 10 \text{ kg}$, que involucra el peso total de MFV, bastidor, tubos y cables. El peso fue importante considerarlo al ser en el techo la instalación.



Figura 42. Arreglo fotovoltaico de ocho módulos fotovoltaicos

En la Figura 42 solo se aprecia uno de los dos bastidores instalados. El sistema de generación se diseñó en dos arreglos, en cada arreglo FV están montados ocho módulos FV conectados en paralelo.

Siguiendo el protocolo de la Universidad Autónoma Chapingo por haber financiado la adquisición de los equipos fotovoltaicos, se tuvo que asignar un número de inventario para su resguardo. El número de inventario para todos los equipos adquiridos es 254920.



4.3.9. Instalación y conexión del sistema fotovoltaico

La instalación y conexión se realizó cuidadosamente y siguiendo las instrucciones de seguridad de cada uno de los equipos. El correcto cableado y conexión de los módulos fotovoltaicos exigió la utilización de materiales de buena calidad. Se siguió cuidadosamente el artículo 690 de la NOM-001-SEDE-2012 (DOF, 2012)



Figura 43. Componentes del sistema fotovoltaico

1-Arreglo fotovoltaico; 2-Sistema de riego; 3-Interruptor; 4-Supresor de picos; 5-Controlador de carga; 6-Baterías; 7-Inversor; 8-Barra de tierra.

El diagrama eléctrico del SFV se puede consultar en el anexo 3, a continuación se presenta los diagramas de cada uno de los equipos.



Conexión del subsistema de generación

Se instalaron los MFV en el techo del cuarto de fertirriego de Tlapeaxco. Las conexiones en paralelo entre los módulos fotovoltaicos se realizaron de acuerdo al diseño y cálculo previos (cuadro 25).

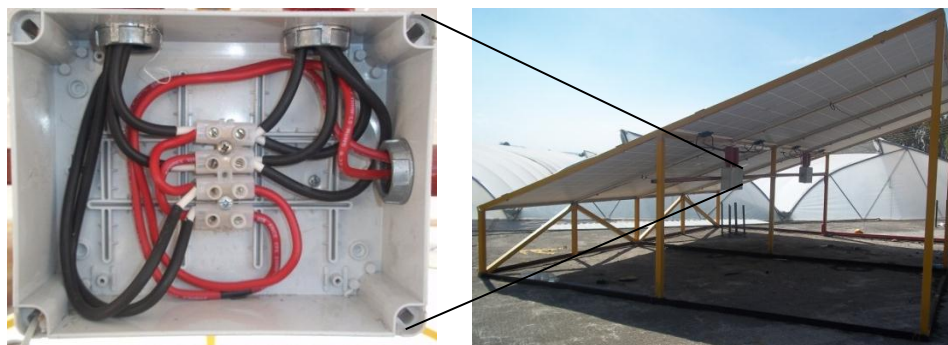


Figura 44. A) Caja de conexiones en paralelo B) Fachada posterior del montaje de los módulos fotovoltaicos

Las conexiones en paralelo de los MFV se hicieron en una caja estanca de 220 x 170 x 80 (medidas interiores), se requirió de 4 cajas de este tipo para la conexión de los 16 MFV (Figura 44 A)

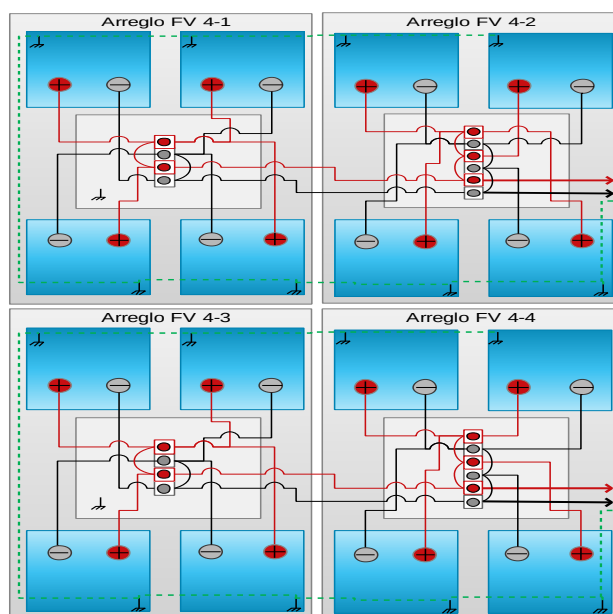


Figura 45. Conexiones en paralelo de módulos fotovoltaicos



En la Figura 45 se aprecia cada el esquema de las cajas que se usaron para hacer las conexiones en paralelo de los 16 módulos FV, las líneas verdes representan el cableado de la tierra, líneas rojas el positivo y líneas negras son negativas. El calibre usado en la interconexión del sistema de generación fue de 10 AWG.

Conexión de subsistema de acumulación

El sistema de acumulación se instaló en el cuarto de control del sistema. Para la conexión entre las baterías se usó cables del calibre 4 AWG, 48 conectores con terminales de ojillo de calibre 4, 24 tornillos de 5/16 x 1 1/2", rondanas y soldadura. Para evitar que los acumuladores estuvieran reposados en el piso, se construyó una estructura de soporte de las 12 baterías, en forma de una caja con techado como se aprecia en la Figura 46.

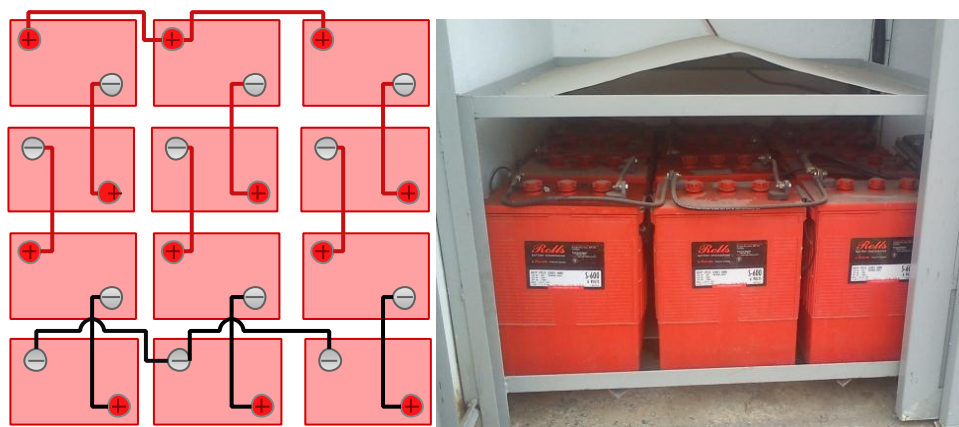


Figura 46. Conexión de baterías en serie-paralelo

Conexión del subsistema de regulación

Se instalaron dos controladores marca Flexmax 80 al arreglo de las baterías, cada controlador esta conectado a un arreglo de ocho MFV (Figura 47) El



regulador flexmax 80 se instaló de posición vertical en la pared del cuarto de control, se siguió estrictamente las recomendaciones del manual de instalación del equipo. El calibre de cable usado fue de 4 AWG



Figura 47. Conexiones del sistema de regulación

Conexión del subsistema de adaptación

El inversor Xantrex XW4024 se montó en la pared del cuarto de control, cerca de los controladores y del sistema de acumulación (Figura 48)

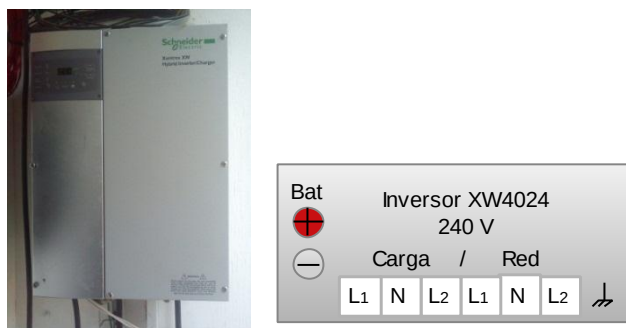


Figura 48. Conexiones del sistema de inversión

Se siguió los procedimientos del manual de usuario para la conexión y montaje del inversor al banco de baterías sin olvidar que la distancia entre el inversor y el arreglo de baterías no debía ser mayor a tres metros. El calibre usado en esta sección fue 3/0 AWG.



Instalación del sistema de conducción y seguridad

Para la protección y la conducción de los cables conectados de los MFV, se usó tubería conduit de pared gruesa de 1". En el cuarto de control se instaló una protección contra sobretensiones con varistor de alta potencia para elemento de base VAL-MS, con control térmico.



Figura 49. Conexiones del sistema de conducción y seguridad

Una sobretensión eléctrica, es un aumento de tensión que pueden causar graves problemas a los equipos conectados a la línea, desde su envejecimiento prematuro a incendios o destrucción de los mismos. Así también se pusieron interruptores de seguridad para cada uno de los arreglos de los paneles fotovoltaicos así como se observa en las Figura 49.

Instalación de la tierra física

La puesta a tierra se refiere a la unión de electrodos que permiten derivar a tierra, todas las corrientes de falla, peligrosas para la integridad de las personas y de los equipos electrónicos. La tierra física se instaló afueras del cuarto de control.



4.3.10. Monitoreo de funcionamiento del sistema fotovoltaico

Se montó el Mate 3 y Hub 4 de OutBack que se pueden monitorear en tiempo real y hacer registros diarios hasta de 128 días (Figura 50).

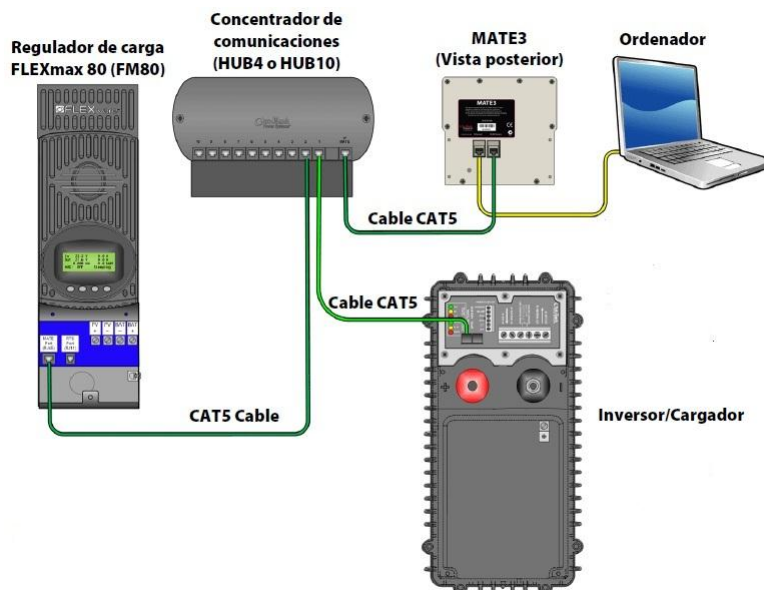


Figura 50. Diagrama de conexión de los equipos de monitoreo

Fuente: OutBack Power, 2012

La Figura 50 presenta los resultados del monitoreo de la carga y descarga del sistema fotovoltaico que se realizó en abril del Junio 2012. Es notable que la mayor parte del mes de abril la radiación es por encima de $5,000 \text{ W/m}^2$. La energía que produce el arreglo fotovoltaico es directamente proporcional a la insolación que recibe. Así mismo el consumo tiene un comportamiento proporcional a la producción de energía, lo que garantiza el suministro de energía al sistema de riego.

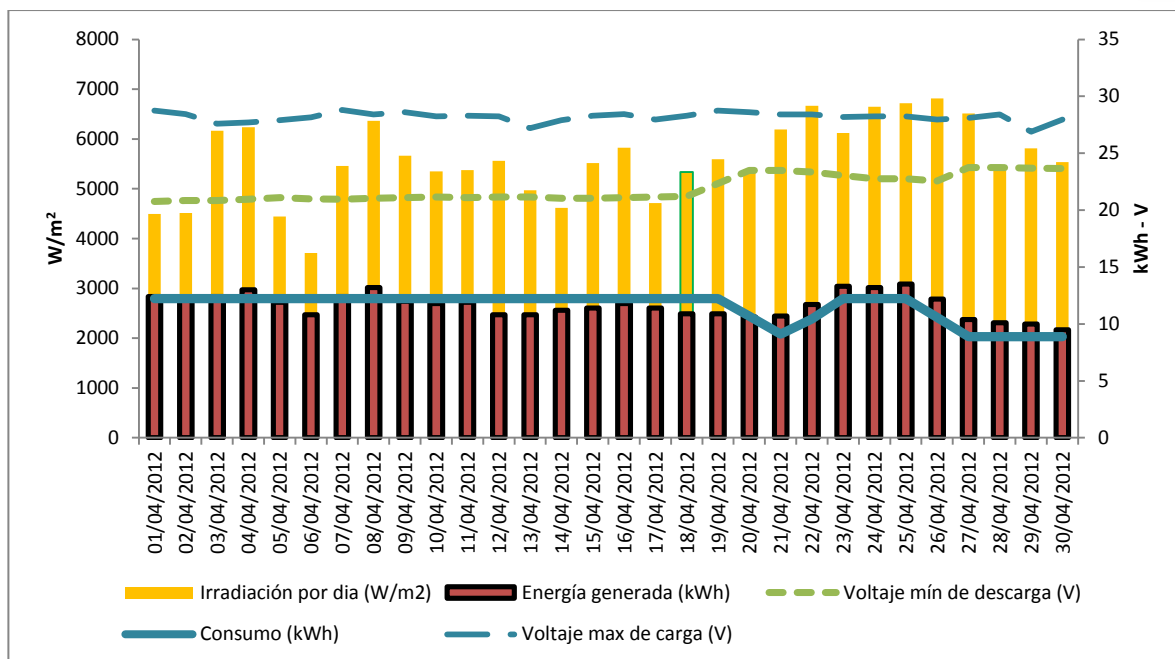


Figura 51. Producción y consumo de energía en el mes de Abril 2012

El voltaje mínimo de las baterías baja hasta 21 V eso quiere decir que en el momento que ya no suministrar energía directamente de los paneles fotovoltaicos, toma la energía de las baterías. Mientras tanto en el voltaje máximo llega hasta 27 V, es decir que las baterías llegan a cargarse completamente al día después de su descarga.

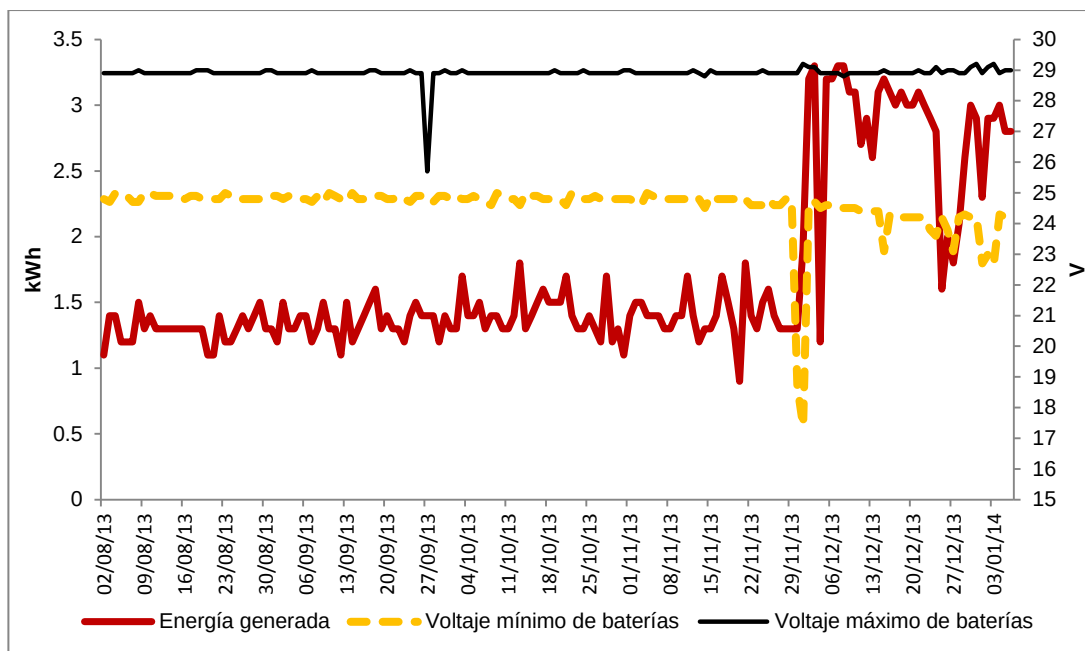


Figura 52. Monitoreo del sistema fotovoltaico conectado al sistema de riego

El monitoreo que se presenta en la Figura 52, son el resultado de los datos medidos por el Mate 3. Se observa que a partir del 28 de Noviembre 2013, existió un aumento en la energía generada. Fue en esta fecha cuando el sistema ya estuvo funcionando conjuntamente, aunque solo conectado al soplador, la conexión de la bomba bifásica al SFV no fue posible por problemas hidráulicos y eléctricos.

El sistema fotovoltaico producción máximo 3.3 kWh en un día. Esto se entiende que el sistema FV produciría cuanta energía que demande el equipo que este conectado, y como máximo 18 kWh.



CONCLUSIONES

Se desarrolló una metodología de selección de los componentes del sistema fotovoltaico en función de los equipos, horas de uso y consumo de los sistemas de un invernadero. Para la selección de los componentes fotovoltaicos se realizaron catálogos de los equipos de invernaderos, sitios con horas solar pico, módulos fotovoltaicos, baterías, controladores e inversores así también algoritmos para una selección económica.

La metodología de cálculo, catálogos y algoritmos sirvieron como base para el desarrollo del software de “selección de sistema fotovoltaico para invernadero”, la cual resulta una herramienta muy útil y eficaz para un análisis, estimación en costos y cantidad de equipos fotovoltaicos necesarios para suministrar energía eléctrica a invernaderos. El software podrá seleccionar equipos de una mejor manera una vez que se amplíe y actualice el catálogo de los equipos fotovoltaicos.

La instalación de un sistema fotovoltaico no solamente es la producción de la energía eléctrica necesaria, implica también el uso consciente de la electricidad, entre estas prácticas incluye el uso de motores y equipos de alta eficiencia, paralelamente un análisis previo de la calidad de energía del sistema eléctrico para la detección de fallas y pérdidas de electricidad, y corregir problemas de parámetros eléctricos cuando las hay, todo ello con el fin de lograr un sistema óptimo, confiable. Con la instalación del banco de capacitores se garantizó un



uso eficiente de la energía al aumentar a 0.94 el factor de potencia y reducir el 60% de la potencia reactiva.

Se diseñó e instaló un sistema fotovoltaico que comprende una potencia instalada de 3.68 kW_p con una producción diaria de 18 ± 4 kWh, una capacidad de acumulación para 1200 Ah reguladas por dos controladores de 80 A y un inversor de 4000 W con salida de 220 V bifásica.

La inversión inicial del sistema fotovoltaico fue de \$ 285,587.9 y el costo de vida útil para 25 años ascendió a \$ 423,714.7, que contempla sustitución de baterías al menos dos veces y mantenimiento anual con \$ 1,000. El costo del kWh durante los 25 años es de \$ 2.54 kWh lo que hace rentable por respecto al costo del kWh de la compañía suministradora sin considerar los aumentos anuales de las tarifas eléctricas de CFE.

En el monitoreo de la producción y consumo de la energía, se observó que la producción eléctrica del generador fotovoltaico es directamente proporcional a la energía solar incidente. Siempre se produce energía aun cuando el día esté más o menos nublado.



LITERATURA CITADA

Albaladejo A. J. 2002. Control del clima en el invernadero. Planteles, Semilleros, Viveros. Horticultura. 31-34.

Álvarez T., E., F. Ponce C. 2010. Fotocal, sistema automatizado para la determinación del área y el costo de un módulo fotovoltaico. Revista ciencias técnicas agropecuarias. 29: 71-74.

Amtmann M. 2009. Nichos de mercado para sistemas fotovoltaicos en conexión a la red eléctrica en México. CONUEE. 228 p.

Bastida T. A., L. Villaseñor M., 2006, Uach-Preparatoria agrícola. Agribot. Capítulo 3 52: 97.

Bermejillo C., M. 2007. La energía solar, una alternativa energética viable para el control climático en invernaderos. Vida rural. 248:28-30

Bérriz P. L., M. Álvarez, G. 2004. Influencia del ángulo de inclinación de una superficie captadora solar sobre la radiación solar incidente. Eco solar. 8: 1-8

Carrión P., P. 2009. Módulos Fotovoltaicos. Universidad de castilla-la mancha. Pp 7-45.

Contreras G. R., 2002. Sistemas de humidificación para invernaderos. Dan Fogger. Horticultura. 163: 76 – 77.

Dulfo L., R., J. L. Bernal A. 2011. HOGA, Manual de usuario. Universidad de Zaragoza. 130 p.



Escobar M., A., C. Torres, R. Hincapie I. 2010. Conexión de un sistema fotovoltaico a la red eléctrica. *Scientia et technica*. 16: 31-36.

FAO. 2002. El cultivo protegido en clima mediterráneo. Capítulo 4.

FAO. 2007. Impacto de Sistemas Solares Fotovoltaicos en el Desarrollo Rural: Estudio de la FAO para la Electrificación Rural en el Siglo XXI, Recife.

Guerrero P., R. 2011. Replanteo y funcionamiento de las instalaciones solares fotovoltaicas (UF0150). IC Editorial. España. 479 p.

Gutiérrez J. J., M. A. Porta G., E. Romero V., J. F. Villa M. 2012. Sistema de riego automatizado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México. 31 p.

Henríquez P., B. 2007. Fotovoltaica, Manual de diseño e instalación. 1ª ed. Solar energy international, Canadá. 325 p.

Holzapfel E., A. Pannunzio, I. Lorite, A. Silva de Oliveira, I. Farkas. 2009. Chileanjar. Design and management of irrigation systems. 69: 17-25.

Huertas L. 2007. El control ambiental en invernaderos: temperatura. *Horticultura*. 203: 44-47.

Ibáñez P., M., J. R. Rosell Polo., J. I. Rosell U. 2004. Energías Renovables, Tecnología Solar. 1ª Ed, Mundi-prensa, España. pp: 259-344

IIE. 2010. Curso de Capacitación para técnicos en sistemas fotovoltaicos interconectados con la red, Aplicaciones a pequeña escala, 1ª ed. 126 p.



Jensen, M. H. 1971. Use of controlled environment for vegetable production in desert regions of the world, Hortscience 6: 33-36.

Juanico L., F. Rinalde. 2010. Análisis comparativo de paneles termoeléctricos y fotovoltaicos para electrificación de hogares aislados. Interciencia 35: 140-143

Méndez M., J. M. 2006. Energía solar fotovoltaica. Instituto de tecnología y formación, FC editorial, Madrid, España.

Méndez M. J., R. Cuervo G. 2007. Energía Solar Fotovoltaica. FC editorial., 248 p.

Mermoud A., B. Wittmer. 2013. PVsyst, user's manual. Photovoltaic software. 102 p.

Organización Meteorológica Mundial 1966: Vocabulario Meteorológico Internacional. WMO - No. 182, tp.91, Ginebra, Suiza.

Peña C., R. C. Cruz G. P. Marín R., P. Díaz V. B. Amante G. 2012. Pvlearning: herramienta web para la enseñanza de la energía solar fotovoltaica. Revista de medios y educación.41: 109-116.

Perales A., A., A. Perdigones, L. García, J.I. Montero, A. Antón. 2003. El control de la condensación en invernaderos. Horticultura. 168: 14-19.

Pérez R., R., A. Pérez L., A.; J. C. Martínez A. 2011. Optimización de sistemas híbridos de energía para la electrificación rural de comunidades indígenas de México. Ingeniería Agrícola y Biosistemas. 3: 33-39.

Ponce, O. J. 2001. Manejo de un sistema hidropónico bajo invernadero, 6º symposium internacional de ferti-irrigación, mesa 3: invernaderos.



Rodríguez B., C., A. Sarmiento S. Dimensionado mediante simulación de sistemas de energía solar fotovoltaica aplicados a electrificación rural. 2011. Ingeniería Mecánica. 14: 13-21.

Rojas A., A. Noriega, G. Herrera, R. Chaparro. 2003. Sistema de riego para invernaderos hidropónicos basado en la evapotranspiración del cultivo. Naturaleza y desarrollo. 1: 23-29

Romantchik K.E, M. Bonilla E., A. Sánchez G., F. Villareal., G., H. Abraham C. 2002. Design and construction of the controls systems of temperature, ventilation, Illumination and Irrigation in a greenhouse model. ASA. 023053.

Romanchik K. E. 2008. Energía solar para invernaderos. 1^{er} Simposio Internacional de Invernaderos. pp 129-138.

Sánchez J. A. 2006. Tecnología fotovoltaica aplicada al bombeo de agua. Fideicomiso de Riesgo compartido FIRCO-SAGARPA.

Sánchez M., I. 2004. Aplicación de energías renovables; La energía solar y los invernaderos en Navarra. Navarra agraria. 14: 35-44.

Sarmiento S., A. 2003. La hora solar pico. Energía y tú. 22. 1-3.

Serrano C., Z. 2008. Construcción de invernaderos. 3^a ed. Mundi-prensa, España. 505 p.

Urrestarazu G., M. 2004. Tratado de cultivo sin suelo. 3a ed. Mundi prensa, España. 924 p.



Valera D. L., F. Molina D., A. Álvarez. 2008. Ahorro y Eficiencia Energética en Invernaderos. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). 7: 66 p.

Valiente Gordo F. Software de cálculo de instalaciones fotovoltaicas. 2009. Universidad Carlos III de Madrid.

Yano A. et al. 2007. Development of a Greenhouse Side-ventilation Controller driven by Photovoltaic Energy. Fukuoka Agricultural Research Center. Japan

Yano A. et al. 2009. Electrical energy generated by photovoltaic modules mounted inside the roof of a north–south oriented greenhouse Shimane Agricultural Technology Center. Japan

Sitios de internet

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE). 2009. Motores eléctricos. 16 p.

Disponible en :

http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/3856/10/Motores_02.pdf

La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. Nichos de mercado para sistemas fotovoltaicos en conexión a la red eléctrica en México. 2009. 228 p.

FIRCO “Guía para el desarrollo de proyectos de bombeos de agua con energía fotovoltaica” 2001.

Disponible en:

http://www.itacanet.org/esp/electricidad/Guia_Bombeo_Agua_Energia_Fotovoltaica_Vol2_Libro_de_trabajo.pdf.



Estación automática “Chapingo” de la Comisión nacional del Agua (CONAGUA), del octubre 2011 a Julio 2013.

Disponible en:

<http://smn.cna.gob.mx/emas/>

Wweste mexico. Energías verdes y ahorro de energía. Beneficio ambiental de CO₂.

Disponible en:

<http://wwestmexico.com/beneficioambiental.html>

FUMEC. Sector energía solar. 2010.

Disponible en:

<http://fumec.org.mx/v5/htdocs/solar.pdf>

Progetti Plant Renewable Energy, 2013.

Disponible en:

www.progetti.it/jsp/en/products/world_energy_prodid_27.jsp#top

National Renewable Energy Laboratory. 2005. Getting Started Guide for HOMER Version 2.1. 30 pp



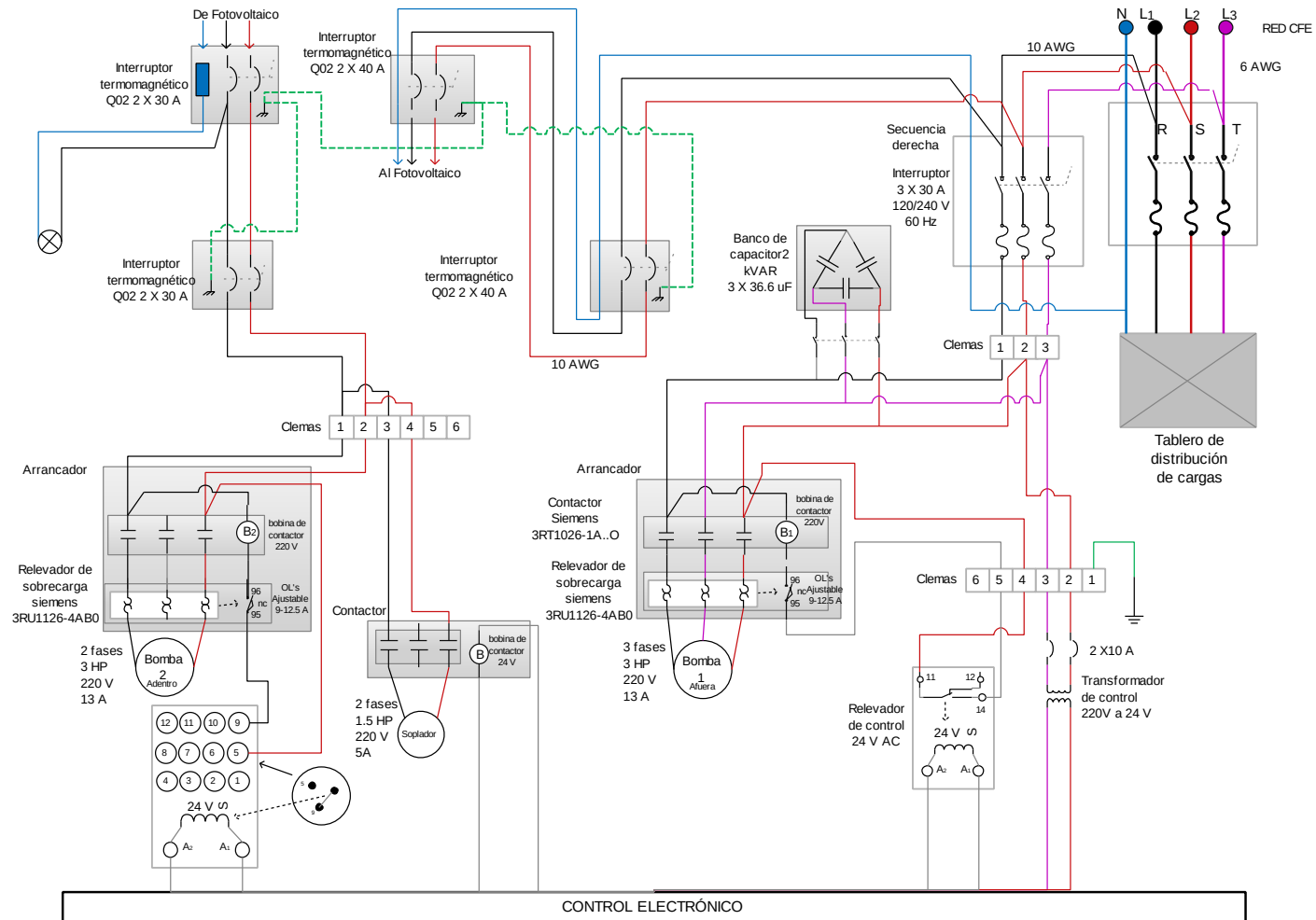
ANEXOS

1) Valores para corrección de Factor de potencia

Factor de potencia inicial	Factor K														
	Factor de potencia deseado														
	0.86	0.87	0.88	0.89	0.9	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1
0.66	0.545	0.572	0.599	0.626	0.654	0.683	0.712	0.743	0.775	0.81	0.847	0.888	0.935	0.996	1.138
0.67	0.515	0.541	0.568	0.596	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.966	1.108
0.68	0.485	0.512	0.539	0.566	0.594	0.623	0.652	0.683	0.715	0.75	0.787	0.828	0.875	0.936	1.078
0.69	0.456	0.482	0.509	0.537	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.72	0.757	0.798	0.846	0.907	1.049
0.7	0.427	0.453	0.48	0.508	0.536	0.565	0.594	0.625	0.657	0.692	0.729	0.77	0.817	0.878	1.02
0.71	0.398	0.425	0.452	0.48	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.7	0.741	0.789	0.849	0.992
0.72	0.37	0.397	0.424	0.452	0.48	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964
0.73	0.343	0.37	0.396	0.424	0.452	0.481	0.51	0.541	0.573	0.608	0.645	0.686	0.733	0.794	0.936
0.74	0.316	0.342	0.369	0.397	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.58	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909
0.75	0.289	0.315	0.342	0.37	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.59	0.631	0.679	0.739	0.882
0.76	0.262	0.288	0.315	0.343	0.371	0.4	0.429	0.46	0.492	0.526	0.563	0.605	0.652	0.713	0.855
0.77	0.235	0.262	0.289	0.316	0.344	0.373	0.403	0.433	0.466	0.5	0.537	0.578	0.626	0.686	0.829
0.78	0.209	0.236	0.263	0.29	0.318	0.347	0.376	0.407	0.439	0.474	0.511	0.552	0.599	0.66	0.802
0.79	0.183	0.209	0.236	0.264	0.292	0.32	0.35	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.634	0.776
0.8	0.157	0.183	0.21	0.238	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.608	0.75
0.81	0.131	0.157	0.184	0.212	0.24	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724
0.82	0.105	0.131	0.158	0.186	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.556	0.698
0.83	0.079	0.105	0.132	0.16	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.38	0.421	0.469	0.53	0.672
0.84	0.053	0.079	0.106	0.134	0.162	0.19	0.22	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646
0.85	0.026	0.053	0.08	0.107	0.135	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.62
0.86	---	0.027	0.054	0.081	0.109	0.138	0.167	0.198	0.23	0.265	0.302	0.343	0.39	0.451	0.593
0.87	---	---	0.027	0.054	0.082	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567
0.88	---	---	---	0.027	0.055	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.54
0.89	---	---	---	---	0.028	0.057	0.086	0.117	0.149	0.184	0.221	0.262	0.309	0.37	0.512
0.9	---	---	---	---	---	0.029	0.058	0.089	0.121	0.156	0.193	0.234	0.281	0.342	0.484
0.91	---	---	---	---	---	---	0.03	0.06	0.093	0.127	0.164	0.205	0.253	0.313	0.456
0.92	---	---	---	---	---	---	---	0.031	0.063	0.097	0.134	0.175	0.223	0.284	0.426
0.93	---	---	---	---	---	---	---	---	0.032	0.067	0.104	0.145	0.192	0.253	0.395
0.94	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.034	0.071	0.112	0.16	0.22	0.363
0.95	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.037	0.078	0.126	0.186	0.329
0.96	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.041	0.089	0.149	0.292
0.97	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.048	0.108	0.251
0.98	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.061	0.203
0.99	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.142

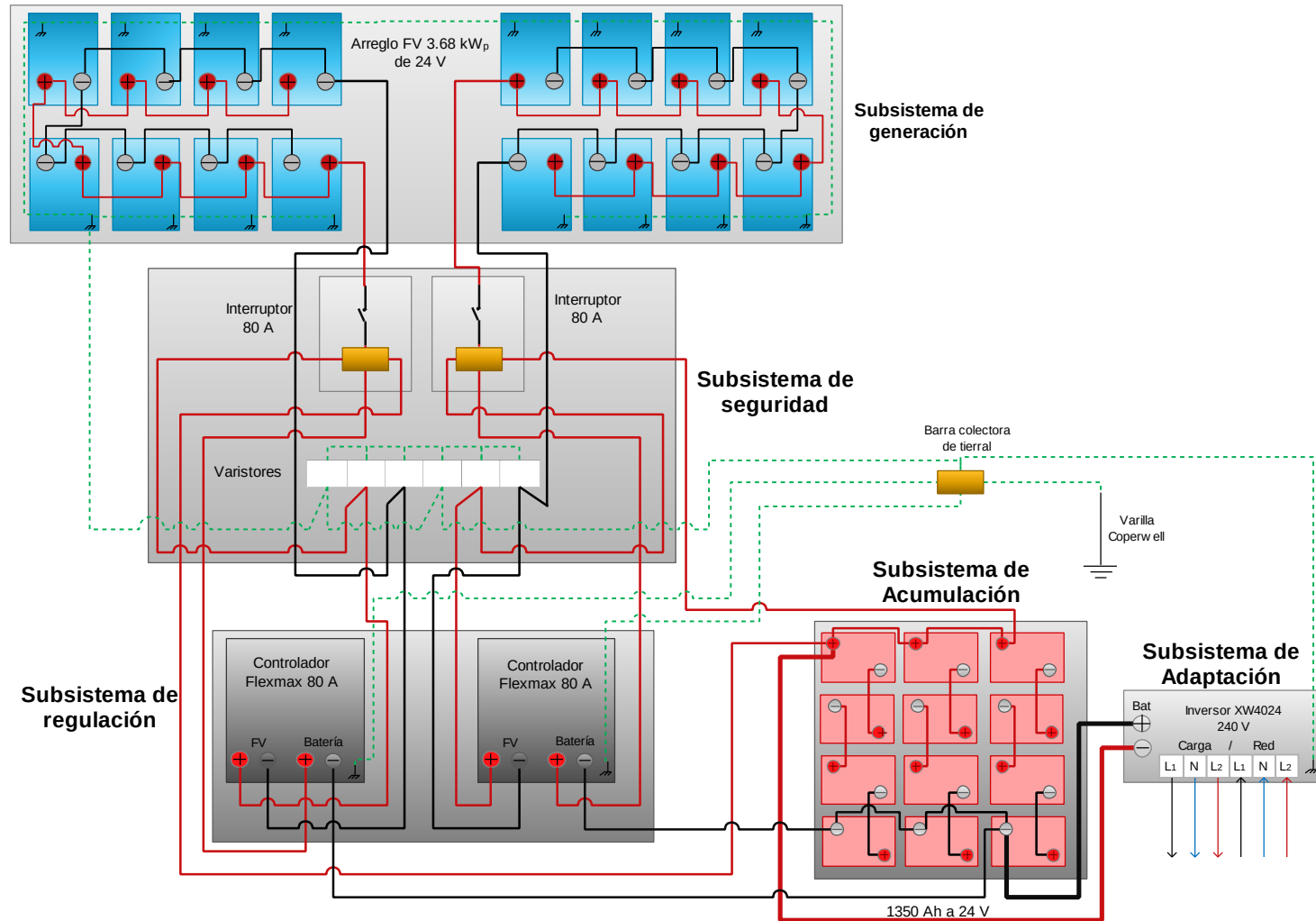


2) Diagrama eléctrico modificado del control del sistema de riego





3) Diagrama eléctrico del sistema fotovoltaico de Tlapeaxco





4) Bitácora de mantenimiento del Sistema fotovoltaico

Equipo	Mantenimiento	Fecha (2013-2014)											
		Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Módulos fotovoltaicos	Limpiar la cubierta frontal del MFV	X			X			X			X		
	Verificar que no haya terminales flojos ni rotos, que las conexiones estén bien apretadas y que los conductores se hallen en buenas condiciones	X			X			X			X		
	Verificar que la estructura de soporte esté en buenas condiciones.	X			X			X			X		
	Podar los árboles que puedan provocar sombra en el panel solar fotovoltaico.	X			X			X			X		
Baterías	Verificar que el local de ubicación de las baterías de acumulación esté bien ventilado y que las baterías se encuentren protegidas de los rayos solares.	X		X		X		X		X		X	
	Mantener el nivel de electrolito en los límites adecuados (adicionar solamente agua destilada cuando sea necesario para reponer las pérdidas ocasionadas durante el gaseo).	X		X		X		X		X		X	
	Verificar el voltaje de cada una de las baterías	X		X		X		X		X		X	
	Verificar que los bornes de conexión estén bien apretados.	X		X		X		X		X		X	
	Limpiar la cubierta superior de la batería y proteger los bornes de conexión con grasa antioxidante para evitar la sulfatación	X		X		X		X		X		X	



Controlador de carga	Mantener el controlador de carga colocado en posición correcta, lugar limpio, seco y protegido de los rayos solares	X		X		X
	Checar el funcionamiento correcto del controlador de carga.	X		X		X
	Verificar que las conexiones estén correctas y bien apretadas.	X		X		X
	Checar que el fusible de entrada esté en buen estado.	X		X		X
Inversor	Verificar que el área de ubicación del inversor se mantenga limpia, seca y bien ventilada	X		X		X
	Verificar que el inversor esté protegido de los rayos solares.	X		X		X
	Comprobar que el inversor funciona adecuadamente y que no se producen ruidos extraños dentro de él. En caso de que la operación sea defectuosa o no funcione, contacte al personal especializado	X		X		X
Supresores	Revisar que los bornes de conexiones estén bien apretados	X		X		
Interruptores	Revisar que los bornes de conexiones estén bien apretados	X		X		
	Medir las entradas-salidas del interruptor para verificar su correcto funcionamiento	X		X		
Cableado	Verificar que los cables estén en buenas condiciones y que no estén cortados o pelados	X	X		X	X



5) Especificaciones eléctricas del módulo solar fotovoltaico

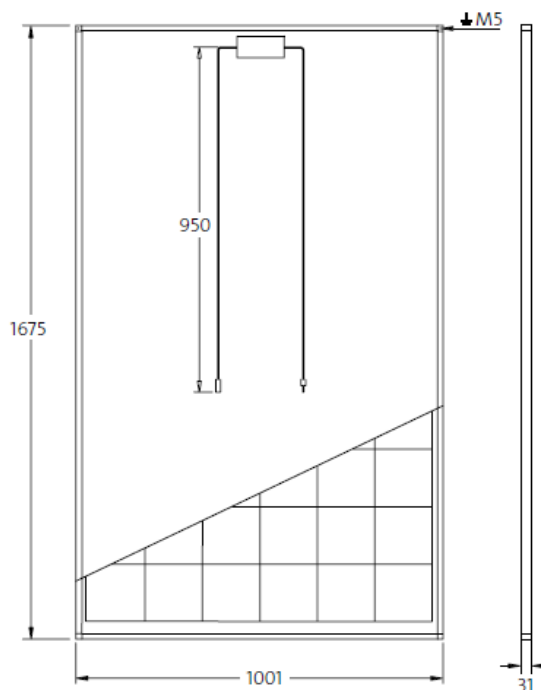
Parámetro	Símbolo	1000 W/m ² *	800 W/m ² **
Potencia en el punto de máx. potencia	P_{max}	230 W	164,4 W
Voltaje de circuito abierto	V_{oc}	36,9 V	33,4 V
Voltaje a potencia máxima	V_{mp}	29,8 V	26,7 V
Corriente de cortocircuito	I_{sc}	8,25 A	6,82 A
Corriente a potencia máxima	I_{mp}	7,72 A	6,15 A

*Comportamiento bajo condiciones estándar de prueba (1000 W/m², 25°C, AM 1.5)

** Comportamiento a 800 W/m², NOCT, AM 1.5

Dimensiones

Longitud	1675 mm
Ancho	1001 mm
Altura	31 mm
Marco	Aluminio
Peso	21,2 kg





6) Especificaciones eléctricas y mecánicas de la batería

Batería	Ciclo profundo-Solar
Serie	4000
Tipo	S600
Marca	Surrette rolls
Voltaje	6 V
Electrolito	Plomo-Acido
Peso sin electrolito	39 kg
Peso con electrolito	55 kg
Placas por celula	19
Capacidad a 20 hrs	450 Ah -22.5 A
Capacidad a 100 hrs	600Ah -5.99 A
Ciclos de descarga con PDD del 50%	1000

Dimensiones	
Largo	318 mm
Ancho	181 mm
Alto	425 mm
Dimensión de la placa positiva	
Largo	273 mm
Ancho	143 mm
Alto	4.32 mm
Dimensión de la placa negativa	
Largo	273 mm
Ancho	143 mm
Alto	3.05 mm



7) Especificaciones eléctricas y mecánicas del regulador

Intensidad de salida homologada, FLEXmax 80	Continua de 80 amperios a 40 °C (104 °F) de temperatura ambiente
Intensidad de salida homologada, FLEXmax 60	Continua de 60 amperios a 40 °C (104 °F) de temperatura ambiente
Voltaje predeterminado del sistema de batería	12, 24, 36, 48 ó 60 VCC (ajustable)
Voltaje FV de circuito abierto	Máximo de 150 VCC (homologado por ETL con el código UL1741 estándar); máx. operativo = 145 VCC de voltaje de circuito abierto (Voc) a temperatura corregida
Consumo de energía en modo de espera	Menos de 1 vatio (típico)
Métodos de regulación de recarga	Cinco etapas: Carga bulk, Absorción, Carga completa, Flotación y Ecuilización
Puntos de ajuste de regulación del voltaje	13-80 VCC
Compensación de temperatura	Con un sensor remoto de temperatura opcional de 5 mV/°C por cada célula de 2 V
Posibilidad de reducción de voltaje	Conversión descendente de cualquier voltaje de matriz FV dentro de los límites de Voc FV de 145 VCC a cualquier voltaje del sistema de batería. Por ejemplo: una matriz de 72 V a 24 V o una matriz de 60 V a 48 V
Pantalla digital	Pantalla LCD retroiluminada de cuatro líneas y 20 caracteres por línea
Interfaz remota	Conector modular RJ-45 con cable CAT5 y 8 contactos
Temperatura nominal de funcionamiento*	De -40 °C (-40 °F) a 60 °C (140 °F), con valores nominales reducidos por encima de 40 °C (104 °F)
Clasificación medioambiental	Para interiores de tipo 1
Troquelados del conducto	Uno de 254 mm (1 pulgada) en la parte posterior, uno de 254
	mm (1 pulgada) en el lateral izquierdo
	y dos de 254 mm (1 pulgada) cada uno
	en la parte inferior
Garantía	Reposición de piezas y mano de obra por cinco años
Dimensiones del controlador	34,3 x 14,6 x 10,2 cm
Dimensiones del embalado	53,3 x 26,7 x 24,8 cm
Peso	5,53 kg (12,20 lb)
Opciones	Sensor remoto de temperatura (RTS), HUB 4, HUB 10, MATE, MATE2



8) Especificaciones eléctricas del inversor

Modelo	XW6048	XW4548	XW4024
Potencia de salida continua	6.000 W	4.500 W	4.000 W
Resistencia a la sobretensión	12.000 W (15 s)	9.000 W (20 s)	8.000 W (20 s)
Sobreintensidad	53 Arms (15 s)	40 Arms (20 s)	35 Arms (20 s)
Rendimiento máximo	95,4 %	95,6 %	94,0 %
Rendimiento a carga completa	92,0 %	93,0 %	89,0 %
Forma de onda	Onda sinusoidal pura		
Consumo en estado inactivo (modo de inversión, sin carga)	28 W	26 W	24 W
Consumo en estado inactivo (modo de búsqueda)	< 7 W		
Voltaje de salida de CA	230 VCA ± 3 %		
Intervalo de voltaje de entrada de CA (modo de carga/desvío)	156–280 VCA		
Interruptor de entrada de CA	60 A		
Intervalo de frecuencia de entrada de CA (modo de carga/desvío)	45–55 Hz (predeterminado), 40–68 Hz (permitido)		
Corriente continua de salida de CA	26,1 A	19,6 A	17,4 A
Frecuencia de salida de CA	50,0 $\pm$ 0,1 Hz		
Distorsión armónica total	< 5 % a potencia nominal		
Relé de transferencia automática	56 A		
Salida de relé auxiliar	0–12 VCC, máxima 250 mA CC		
Voltaje de entrada de CC (nominal)	50,4 VCC	50,4 VCC	25,2 VCC
Intervalo de voltaje de entrada de CC	44–64 VCC	44–64 VCC	22–32 VCC
Corriente continua a potencia nominal	131 A	96 A	178 A
Nivel de carga continua a voltaje nominal	100 A	85 A	150 A
Carga de factor de potencia corregido	FP (0,98)		



9) Especificaciones mecánicas del inversor

Modelo	XW6048	XW4548	XW4024
Tipos de baterías compatibles	Inundada (predeterminada), gel, electrolito absorbido en fibra de vidrio y personalizada		
Tamaño del grupo de baterías	100–10.000 Ah		
Memoria no volátil	Sí		
Panel de visualización	Los indicadores LED de estado indican el estado de la entrada de CA, los errores y las advertencias, el modo de compensación y el nivel de batería. La pantalla de tres caracteres muestra los códigos de advertencia/error, la potencia de salida o la corriente de carga. El botón de encendido/apagado y compensación.		
Red del sistema	Xanbus (red tipo publicación/suscripción, que no requiere concentradores ni tarjetas especiales)		
Tipo de armario	IP 20, interior, sin calefacción		
Intervalo de temperatura nominal (cumple todas las especificaciones)	0–40 °C		
Intervalo de temperatura operativa	-25–70 °C		
Intervalo de temperatura en funcionamiento	-40–85 °C		
Dimensiones del inversor (alto × ancho × largo)	580 × 410 × 230 mm		
Dimensiones de embalaje (alto × ancho × largo)	711 × 572 × 394 mm		
Peso del inversor	57 kg	52 kg	52 kg
Peso con embalaje	60 kg	55kg	55kg



10) Tablas para selección de calibre Condumex

1 FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DE LA CORRIENTE

CONOCIENDO	CC	CA 1φ	CA 3φ
C P (H P)	$I = \frac{C P \times 746}{V \times \eta}$	$I = \frac{C P \times 746}{V \times \eta \times f p}$	$I = \frac{C P \times 746}{1,732 \times V \times \eta \times f p}$
kW	$I = \frac{kW \times 1000}{V}$	$I = \frac{kW \times 1000}{V \times f p}$	$I = \frac{kW \times 1000}{1,732 \times V \times f p}$

2 CALIBRE AWG o kcmil

3 CAPACIDAD DE CORRIENTE A

TIPO DE CABLE	Capacidad (A)
Tubo (conduit)	
Charola	
THW, THW-LS, THWN (Temp. operación: 75° C)	
TW, TWD (Temp. operación: 60° C)	

4 FACTORES DE CORRECCIÓN

Número de conductores	1 a 3	4 a 6	7 a 9	10 a 20	21 a 30
Por agrupamiento					
TIPO DE CABLE:					
Por temperatura ambiente					
Temperatura ambiente (°C)	35	40	45	50	55

NOTA: Para calcular el calibre necesario para un motor, se debe tomar la corriente nominal y multiplicarla por 1.25 (por el efecto del arranque).

CC: corriente directa o continua
CA: corriente alterna
φ: fase kW: kilowatts
I: corriente V: tensión
C P (HP): potencia (caballos de potencia)
η: eficiencia del motor (motores normales 0,8)
f p: factor de potencia (normal 0,9)

CALCULADOR DE CABLES EN BAJA TENSIÓN

CONDUMEX CABLES

Conductores Mexicanos Eléctricos y de Telecomunicaciones, S.A. de C.V.
www.condumex.com

GRUPO CONDUMEX S.A.

HECHO EN MÉXICO
Promoción y Algo Más S.A. de C.V. Tel: 5651 2614
Diseño: Roberto Olvera Osante

		14	12	10	8	6	4	2	1/0	2/0	3/0	4/0	250	300	350	400	500	600	750	1000
25	30	40	55	75	95	130	170	195	225	260	290	320	350	380	430	475	535	615		
—	—	—	—	—	140	190	260	300	350	405	455	505	570	615	700	780	885	1055		
20	25	35	50	65	85	115	150	175	200	230	255	285	310	335	380	420	475	545		
—	—	—	—	—	125	170	230	265	310	360	405	445	505	545	620	690	785	935		
20	25	30	40	55	70	95	125	145	165	195	215	240	260	280	320	355	400	455		
—	—	—	—	—	105	140	195	225	260	300	340	375	420	455	515	575	655	780		

1,0	1,25	1,43	2,0	2,22
TW, TWD (Temperatura de operación: 60° C)				
1,1	1,22	1,41	1,73	2,44

1,0	1,25	1,43	2,0	2,22
THW, THW-LS, THWN (Temp. operación: 75° C)				
1,1	1,14	1,22	1,33	1,5

1,0	1,25	1,43	2,0	2,22
Vinanal XXI RoHS** Vinanal Nylon RoHS (Temp. op: 90° C)				
1,05	1,1	1,15	1,22	1,32



11) Resultado general de selección del software

Componentes del Sistema Fotovoltaico	
Resultado del análisis para Empresa: Universidad Dirección: Texcoco Estado de México Para la ciudad de: Chapingo	
Módulos Fotovoltaicos	Marca: Conermex Modelo: Multicristalino j-230 Horas solar pico (HSP) 5.90 kWh/m2-día Voltaje nominal: 24 V Módulos FV en Serie: 1 Módulos FV en Paralelo: 16 Total de Módulos FV: 16 Potencia total instalada 3680 W Precio unitario: 7,158.19 MXN Precio total (estimado) del arreglo 114,531.04 MXN
Batería	Días de autonomía: 2 Voltaje Nominal: 24V Capacidad requerida: 2,864.58A-h Tipo de batería: Descarga Profunda Marca: Hawker Modelo: T-105 Capacidad de régimen: 225 Voltaje por unidad: 6 Baterías en Serie: 4 Baterías en Paralelo: 13 Total de baterías: 52 Precio unitario: 1,625.00 MXN Precio total estimado: 84,500.00 MXN
Controlador (es)	Corriente de Corto Circuito: 165.00 A Voltaje nominal del sistema: 24 V Marca: Mornigstar Modelo: Flexmax 80 Corriente nominal: 80 A Total de controladores: 2 Precio unitario: 9,903.00 MXN Precio total estimado: 19,807.00MXN
Inversor (es)	Marca: Xantrex Modelo: XW4024-120/240-60 Voltaje de entrada: 24 Voltaje de salida: 120 Tipo de onda: Senoidal Potencia Nominal: 4000 W Total de inversores: 1 Precio unitario: 46,475.00 MXN Precio total estimado: 46,475.00 MXN
Instalación y Accesorios	66,328 MXN
Precio estimado del sistema 331,641 MXN	

Resumen del Sistema Fotovoltaico Autónomo en: Chapingo		
Concepto	Precio unitario	Total
Capacidad del Sistema: 14.72 kWh 16 Módulos fotovoltaicos marca Conermex modelo Multicristalino j-230. Arreglo a 24 V Conexión en Serie: 1 Conexión en Paralelo: 16	7,158.19 MXN	114,531.04 MXN
52 baterías marca Hawker T-105 de 6 V c/u, para formar un banco de baterías de: 3151 A-h a 24 V	1,625.00 MXN	84,500.00MXN
2 Controlador de carga marca Mornigstar Modelo: Flexmax 80	9,903.00 MXN	19,807.00MXN
Se necesita 1 Inversor (es) Marca Xantrex Modelo: XW4024-120/240-60 Potencia nominal: 4000 Watts a 120VCA	46,475.00 MXN	46,475.00 MXN
Instalación y accesorios		66,328.26
Total Estimado	331,641 MXN	* Los precios manejados en este programa han sido recabados en hojas electrónicas de fabricantes y distribuidores de equipo fotovoltaicos. Para precios reales consultar con algún distribuidor cercano