



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

**SUMINISTRO DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA AUTÓNOMA A UN
COMPRESOR “RESUN GF-370” EN LA UNIDAD ACUÍCOLA
EXPERIMENTAL CAMPUS II FES ZARAGOZA, UNAM.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTAN:
**SAINOS GARCÍA DIANA ALEJANDRA
VARGAS GARCÍA MICHEL**

DIRECTORA DE TESIS:
M. EN I. MARÍA ESTELA DE LA TORRE GÓMEZ TAGLE

CIUDAD DE MEXICO, OCTUBRE 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS

A mi padre Francisco, a mi madre Olivia y a mis hermanos, quienes han sido la guía y el camino para poder llegar a este punto de mi carrera, son mi mayor orgullo, porque gracias a su apoyo y sus consejos he llegado a realizar la más grande de mis metas, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera. Gracias por creer en mí, en ayudarme. Y gracias a Dios por haberme dado la sabiduría y la fortaleza para que fuera posible alcanzar este triunfo. Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí.

Ing. Diana Alejandra Sainos García

A Dios por que ha estado conmigo en cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar. Gracias a mi padre Wenceslao, a mi madre Adelina y a mis hermanos Alexander y Jesús Ricardo por todo su apoyo que me han brindado en cada trayecto de mi vida, por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron para llegar hasta aquí. Gracias papas por confiar y creer siempre en mí, por impulsarme a superarme cada día, por enseñarme a valorar todo lo que tengo y por ser los principales promotores de mis sueños. Son mi más gran orgullo y admiración. Y este nuevo logro es para ustedes.

Ing. Michel Vargas García

A nuestras familias que mostraron paciencia y apoyo en todo momento. A la Universidad Nacional Autónoma de México por darnos esta oportunidad de crecer profesionalmente y prepararnos para ser mejores.

A nuestros profesores, a quienes les debemos gran parte de nuestros conocimientos, gracias por prepararnos para un futuro competitivo, no solo como los mejores profesionales sino también como mejores personas.

A todos ustedes ¡GRACIAS!



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	IX
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	X
OBJETIVOS.....	X
JUSTIFICACIÓN.....	X
RESUMEN	XII
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES	1
1.1 La tierra y el sol	1
1.1.1 La posición del sol	2
1.2 La energía solar	2
1.2.1 Disponibilidad y variabilidad de la energía solar	4
1.3 La radiación solar	5
1.3.1 Radiación solar en México	6
1.4 Irradiancia e insolación.....	7
1.5 Irradiación.....	8
1.6 Horas Solares Pico.....	9
CAPÍTULO 2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	10
2.1 Historia de la energía solar fotovoltaica.....	10
2.2 La industria fotovoltaica.....	11
2.2.1 Aplicaciones actuales de la energía solar fotovoltaica.....	11
2.3 Tecnología solar fotovoltaica.....	11
2.3.1 Efecto fotovoltaico en paneles solares.....	12
2.4 Tipos de sistemas fotovoltaicos.....	14
2.5 Componentes principales de un sistema fotovoltaico.....	15
2.5.1 Celdas fotovoltaicas.....	16



2.5.1.1 Principio de funcionamiento de una celda fotovoltaica.....	16
2.5.1.2 Componentes básicos de una celda solar.....	18
2.5.1.3 Características eléctricas de una celda solar	18
2.5.2 Módulos fotovoltaicos	19
2.5.2.1 Tipos de módulos o paneles fotovoltaicos.....	20
2.5.2.2 Partes básicas de un panel solar	22
2.5.2.3. Arreglo fotovoltaico.....	22
2.5.2.4 Efecto de la irradiancia y la temperatura	23
2.5.2.5 Ángulo de inclinación de un panel solar	23
2.5.3 Regulador de carga	25
2.5.3.1 Tipos de Reguladores de carga	25
2.5.3.2 Funcionamiento del regulador de carga	26
2.5.4 Baterías	26
2.5.4.1 Capacidad de las baterías.....	27
2.5.4.2 Factores que afectan la vida de la batería	28
2.5.4.3 Tipo de baterías	28
2.5.4.4 Baterías serie-paralelo	30
2.5.5 Inversor.....	30
2.5.5.1 Funcionamiento de los inversores.....	31
2.5.6 Cableado	31
2.5.6.1 Tipos de cables	32
2.5.6.2 Tipos de conductores	35
2.6 Ventajas y desventajas de un sistema fotovoltaico	36
CAPÍTULO 3. DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO.....	37
3.1 Localización.....	37
3.2 Características del compresor.....	38
3.3 Horas solares pico.....	38
3.4 Temperatura ambiental media, mínima y máxima del sitio de ubicación del panel e índice de claridad (KT).....	40
3.5 Calculo del sistema fotovoltaico autónomo para el compresor “Resun GF-370”	42
3.5.1 Demanda energética.....	42
3.5.2 Baterías	42
3.5.2.1 Cálculo de baterías	43
3.5.3 Módulos fotovoltaicos	44
3.5.3.1 Cálculo de módulos fotovoltaicos	47
3.5.4 Regulador de carga	51



3.5.4.1 Cálculos del regulador de carga.....	52
3.5.5 Inversor fotovoltaico.....	55
3.5.6 Cálculo de la sección de los cables.....	56
3.5.7 Ubicación de los módulos fotovoltaicos.....	59
CAPÍTULO 4. COTIZACIONES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO.....	60
4.1 Empresas.....	60
4.2 Cotización para el compresor Resun GF-370.....	61
CAPÍTULO 5. INSTALACIÓN DE SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO	66
5.1 Ubicación de los equipos.....	66
5.1.1 Módulo fotovoltaico.....	66
5.1.2 Soporte de módulos.....	66
5.1.3 Regulador de Carga.....	67
5.1.4 Baterías.....	67
5.2 Herramientas y material de instalación.....	67
5.3 Procedimientos para la instalación del sistema fotovoltaico.....	68
5.3.1 Instalación y conexión del panel fotovoltaico.....	68
5.3.2 Instalación del regulador de carga.....	70
5.3.3 Instalación de la Batería.....	71
5.3.4 Conexión del panel fotovoltaico al regulador de carga.....	73
5.4 Funcionamiento del sistema fotovoltaico.....	74
CAPÍTULO 6. MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO.....	77
6.1 Paneles solares.....	77
6.2 Baterías.....	78
6.3 Revisión del tablero de control.....	78
6.4 Cableado.....	79
6.5 Instalaciones internas.....	79
CONCLUSIONES.....	80



BIBLIOGRAFÍAS	81
GLOSARIO	83
ANEXOS	87
ANEXO 1. Dimensiones de los conductores eléctricos desnudos.....	87
ANEXO 2. Radiación solar en la Ciudad de México 2018.....	88
ANEXO 3. Radiación solar en la Ciudad de México 2017	90
ANEXO 4. Radiación solar en la Ciudad de México 2016.....	92
ANEXO 5. Radiación solar en la Ciudad de México 2015.....	94
ANEXO 6. Diagrama Unifilar Del Sistema Fotovoltaico Autónomo Compresor “Resun Gf-370”	96
ANEXO 7. Plano De La Unidad Acuícola Experimental	98
ANEXO 8. Medidas de las peceras de la Unidad Acuícola Experimental	99
ANEXO 9. Propuesta para el segundo compresor de la Unidad Acuícola Experimental que suministra de aire a las peceras 28 y 29	100
ANEXO 10. Diagrama Unifilar Del Sistema Fotovoltaico Autónomo Compresor “SPP-40GJ-L PUMP”	117
ANEXO 11. Plano de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza UNAM, Campus II	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Las estaciones del año.....	2
Figura 2. Movimiento del sol a lo largo del año, a una latitud de 19°N, como en la ciudad de México.	4
Figura 3. Mapa de la radiación solar en el Mundo.....	6
Figura 4. Mapa de la irradiación solar en México, KWh/m ² al día	7
Figura 5. Irradiancia y horas solares pico (insolación) durante un día soleado.....	9
Figura 6. Celdas fotovoltaicas	10
Figura 7. Efecto de la radiación solar sobre un semiconductor (Silicio)	13



Figura 8. Unión p-n.....	14
Figura 9. Diagrama típico de una instalación fotovoltaica aislada	14
Figura 10. Diagrama de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica	15
Figura 11. Diagrama físico de una instalación fotovoltaica	15
Figura 12. Funcionamiento de una celda solar.....	17
Figura 13. Diagrama de la generación de energía eléctrica por medio de una celda solar.	17
Figura 14. Partes de una celda solar.....	18
Figura 15. Módulo solar.....	20
Figura 16. Partes de un panel solar	22
Figura 17. Módulos fotovoltaicos en serie	22
Figura 18. Módulos fotovoltaicos en paralelo	22
Figura 19. Módulos fotovoltaicos en serie y paralelo.....	23
Figura 20. Orientación de una estructura fija para maximizar la captación de radiación solar a lo largo del año.....	24
Figura 21. Movimiento aparente del sol en función de la hora del día y la época del año	24
Figura 22. Regulador de carga.....	25
Figura 23. Reguladores de carga tipo MPPT	25
Figura 24. Reguladores de carga tipo PWM.....	26
Figura 25. Acumulador o Batería.....	27
Figura 26. Batería de Pb-ácido.....	29
Figura 27. Baterías tipo Gel.....	29
Figura 28. Baterías de Níquel-Cadmio	30
Figura 29. Conexión de baterías serie-paralelo.....	30
Figura 30. Inversor	31
Figura 31. Cable tipo TW.....	32
Figura 32. Cable tipo THW	33
Figura 33. Cable mellizo.....	33
Figura 34. Cable flexible.....	33
Figura 35. Conductores eléctricos.....	34
Figura 36. Compresor Resun GF-370	38
Figura 37. Batería " CALE Solar 12V 115 "	43
Figura 38. Panel solar "CS6K-270P"	46
Figura 39. Regulador de carga " MPPT Outback FM60"	51
Figura 40. Inversor "PHOENIX 48/1200"	55
Figura 41. Soporte de módulos fotovoltaicos	66
Figura 42. Herramientas y material de instalación	67
Figura 43. Caja de conexiones de panel fotovoltaico	69
Figura 44. Arreglo de cables	69
Figura 45. Mantenimientos y precauciones de paneles	77
Figura 46. Mantenimiento de las baterías	78
Figura 47. Revisión de carga de batería.	78



Figura 48. Verificación del regulador de carga	78
Figura 49. Revisión del tablero de control	79
Figura 50. Compresor SPP-40GJ-L PUMP	100
Figura 51. Batería "CALE Solar 12V 115 Ah"	101
Figura 52. Panel solar "CS6K-270P"	103
Figura 53. Regulador de carga "SRNE-ML 4860"	107
Figura 54. Inversor " IC4500-E24S120"	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos y características de los módulos fotovoltaicos	21
Tabla 2. Tipos de cables	32
Tabla 3. Conductores eléctricos	35
Tabla 4. Ventajas y desventajas de un sistema fotovoltaico	36
Tabla 5. Ubicación de Unidad Acuícola Experimental FES Zaragoza UNAM	37
Tabla 6. Datos de la radiación solar promedio mensual incidente sobre una superficie orientada hacia el Ecuador, a diferentes grados de inclinación	39
Tabla 7. Registro de temperaturas mínimas, máximas y media por la Comisión Nacional del Agua en el período 1981-2010	40
Tabla 8. Datos registrados de índice de claridad KT, Enero 1984 – Diciembre 2013 (NASA).	41
Tabla 9. Consumo energético	42
Tabla 10. Características de Batería " CALE Solar 12V 115 Ah"	43
Tabla 11. Módulo fotovoltaico "CanadianSolar" CS6K-270P	47
Tabla 12. Factor de pérdidas de un Sistema FV Autónomo	50
Tabla 13. Características del regulador de carga MPPT Outback FM60	52
Tabla 14. Arreglos en serie-paralelo de módulos fotovoltaicos	54
Tabla 15. Inversor Phoenix 48/1200	56
Tabla 16. Guía general para caídas máximas de tensión	56
Tabla 17. Cotización del sistema fotovoltaico aislado del compresor "RESUN GF-370"	65
Tabla 18. Fallas comunes de sistema fotovoltaico	76
Tabla 19. Consumo energético	101
Tabla 20. Características de Batería " CALE Solar 12V 115 A"	101
Tabla 21. Batería " CALE Solar 12V 115A	102
Tabla 22. Características del módulo fotovoltaico "CanadianSolar" CS6K-270P	104
Tabla 23. Factor de pérdidas de un Sistema FV Autónomo	106
Tabla 24. Características del regulador de carga "SRNE-ML4860"	108
Tabla 25. Regulador de carga MPPT SRNE-ML 4860	108
Tabla 26. Característica de inversor " IC4500-E24S120"	111



Tabla 27. Requerimientos para el inversor del sistema FV	111
Tabla 28. Inversor “IC4500-E24S120”.....	112
Tabla 29. Guía general para caídas máximas de tensión	112

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Hora solar pico (HSP)	39
Gráfica 2. Radiación solar en Ciudad de México 2018.....	89
Gráfica 3. Radiación solar en Ciudad de México 2017	91
Gráfica 4. Radiación solar en Ciudad de México 2016.....	93
Gráfica 5. Radiación solar en Ciudad de México 2015.....	95



INTRODUCCIÓN

La energía se encuentra en constante transformación, siendo vital para nuestra sociedad moderna. Sin su fuente no tendríamos el transporte, la manufactura, la comunicación y muchos otros elementos que respaldan las complejas vidas que llevamos.

Entre las diversas formas de energía que existen se encuentra la electricidad. La electricidad ahora nos proporciona todo, desde calor para nuestros hogares hasta energía para nuestros aparatos domésticos, equipos computacionales y de comunicación. Similar a la forma en que los alimentos mantienen nuestros cuerpos en funcionamiento, la electricidad permite que la sociedad funcione.

En el mundo contemporáneo, la demanda de energía de la humanidad es sumamente alta, tanto con fines industriales, comerciales, de transporte o de sustento básico para los hogares.

Las energías renovables también conocidas como energías alternativas o, en algunos casos, como energías verdes o energías ecológicas son fuentes naturales de energía, las cuales implican menores impactos ambientales en la producción de energía que las fuentes convencionales.

Hasta ahora las energías renovables que se han aprovechado por el hombre son:

- **La energía mareomotriz**, que utiliza el movimiento de las mareas.
- **La energía solar**, que recoge la radiación térmica y lumínica provenientes del Sol.
- **La energía eólica**, que emplea campos de turbinas con aspas como molinos para aprovechar el empuje del viento.
- **La energía hidroeléctrica**, que moviliza turbinas con la fuerza de las caídas de agua naturales o artificiales.
- **La energía geotérmica**, que aprovecha la alta temperatura del subsuelo terrestre para evaporar agua y generar electricidad o calor.
- **La biomasa o los biocarburantes**, combustibles orgánicos desarrollados a partir de desechos de materia orgánica.

Las energías renovables cobran vital importancia en la reducción de la emisión de CO₂ y otros gases de efecto invernadero que contaminan las aguas y la atmósfera, generando así un mayor calentamiento global. Sin embargo, no existe un método de obtención de energía que sea 100% seguro para el medio ambiente y no tenga ningún impacto en el mismo.

Finalmente cabe mencionar que algunas energías renovables presentan una producción intermitente, dependiendo de las condiciones climatológicas (energía



eólica, solar, hidráulica) o geológicas (energía geotérmica) de la región donde están implantadas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Unidad Acuícola Experimental cuenta con 27 peceras a las que se les tienen que suministrar aire por medio de un compresor. Debido a las interrupciones de energía que se presentan en la unidad es difícil mantener en funcionamiento el compresor las 24 horas del día. Siendo una alternativa la energía solar, ésta se aprovechará mediante el diseño de un sistema fotovoltaico autónomo.

El sistema fotovoltaico debe ser totalmente independiente del servicio eléctrico ofrecido por la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

OBJETIVOS

Objetivo general

- Diseñar un sistema fotovoltaico autónomo para el suministro de energía eléctrica a un compresor “Resun GF-370” que se encuentra dentro de la Unidad Acuícola Experimental de la FES Zaragoza Campus II UNAM.

Objetivos específicos

- Determinar el consumo eléctrico requerido del equipo.
- Realizar un estudio de la zona para la instalación del sistema fotovoltaico.
- Diseñar y dimensionar un sistema fotovoltaico autónomo para el suministro al compresor “Resun GF-370”.
- Cotizar el sistema.

JUSTIFICACIÓN

Los sistemas fotovoltaicos son abastecidos por una fuente de energía inagotable: el sol, sus rayos alcanzarán la tierra mientras el planeta exista. En cualquier parte del mundo donde el sol brille podemos tener acceso a esta tecnología, siendo una de sus principales ventajas.

México es considerado uno de los tres países con mayor futuro en el ámbito de la energía solar fotovoltaica, según la International Renewable Energy Agency, México



se encuentra entre 15° y 35° de latitud, región considerada la más favorecida en recursos solares, situándose en lo que se conoce como cinturón solar, que son los países que tienen la ubicación geográfica con la mejor exposición al sol, en donde se recibe diariamente, en promedio, 5.5 KWh/m². El cinturón solar abarca todo el país, principalmente los estados del norte que tienen mayor extensión territorial como Sonora y Chihuahua.

“Si en México se aprovechara la radiación solar que recibe el 1% del territorio del estado de Sonora, se podría abastecer de energía eléctrica a todo el país”, indicó el doctor Camilo Arancibia, investigador del Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México, a través de un estudio que concluyó que si se aprovechara la radiación solar que reciben 1,793 kilómetros cuadrados del territorio nacional, lo equivalente al uno por ciento de la extensión del estado de Sonora, se obtendrían alrededor de 430 mil 520 gigavatios hora (GWh) al año, energía suficiente para atender la demanda eléctrica del país, que asciende a 234 mil 219 GWh al año, de acuerdo con cifras del estudio Prospectiva del Sector Eléctrico 2013-2027, realizado por la Secretaría de Energía (Sener).¹

Alemania, con una radiación de apenas 3.2 KWh/m², es uno de los líderes en explotación de energía solar, a pesar de no figurar entre los países con mayores oportunidades para aprovechar esta energía.

Esta tecnología cuenta con la ventaja de ser modular, lo que permite su instalación en espacios que normalmente no son productivos, como techos, paredes, estacionamientos o bodegas.

Finalmente, es importante mencionar que la energía solar no solo es barata, también es renovable lo que, en términos ambientales, hace que las emisiones de gases de efecto invernadero puede reducirse de forma considerable.

¹ Verenise Sánchez. (2014). Sonora podría abastecer de energía a todo México con tecnología fotovoltaica. Septiembre 2019, de Agencia Informativa Conacyt Sitio web: <http://www.cienciamx.com/index.php/tecnologia/energia/329-reportaje-con-la-radiacion-solar-que-recibe-el-1-de-sonora-se-podria-generar-energia-suficiente-para-todo-el-pais>



RESUMEN

La presente tesis tiene la finalidad de elaborar el diseño de un sistema fotovoltaico autónomo que abastecerá de energía eléctrica a un compresor de marca “Resun GF-370” con una potencia de 370W y un voltaje de 120V, este compresor se ubica dentro de la Unidad Acuícola Experimental de la FES Zaragoza Campus II UNAM, lugar en donde se realizan estudios de crecimiento, reproducción y alimentación de especies marinas. El compresor se encarga de suministrar aire a 27 peceras de diferentes dimensiones, las cuales se encuentran adentro de la unidad. Actualmente la FES Zaragoza C-II cuenta con el servicio eléctrico ofrecido por la empresa mexicana CFE (Comisión Federal de Electricidad).

El suministro de energía eléctrica es un factor crítico para el estudio de las especies marinas en la unidad, ya que permite mantener las variables ambientales requeridas para su hábitat (temperatura, oxigenación, etc.) por medio de diferentes equipos (compresores, calentadores, entre otros). Puesto que el servicio eléctrico es una prioridad en la unidad y debido a interrupciones de energía eléctrica que se han presentado, ocasionando desequilibrios en sus sistemas (principalmente por falta de oxígeno), se optó por presentar el diseño de un sistema fotovoltaico autónomo que suministre de electricidad al compresor de la marca “Resun GF-370”, siendo el equipo principal para la oxigenación de las peceras con un uso continuo las 24 horas del día.

Para su diseño se realizó un estudio de ubicación de la FES Zaragoza Campus II con la finalidad de conocer diversos parámetros requeridos como lo son latitud, número de horas solares pico (HSP), el ángulo de inclinación, temperaturas ambientales mínima, máxima y media e índice de claridad. Una vez determinados los parámetros de ubicación y en base a la demanda energética del compresor se procedió al cálculo del número de baterías, módulos solares, controlador de carga e inversor del sistema fotovoltaico. Posteriormente se contactó a tres empresas dedicadas a la venta e instalación de sistemas fotovoltaicos: MEXSOL, IM2 ENERGÍA SOLAR Y ENERGEKA; con el propósito de obtener la cotización de los equipos requeridos. Por último se consideraron etapas de instalación y mantenimiento para sistemas fotovoltaicas sugeridas por las empresas mencionadas, instaladores de sistemas fotovoltaicos y manuales de equipos.

Como conclusión, el proyecto cumplió con los objetivos de establecer el consumo eléctrico requerido del equipo (8,880 Wh/día). Se realizó el diseño y dimensionamiento del sistema fotovoltaico requiriendo de 24 baterías de 115 ah @ 20hrs, 9 módulos fotovoltaicos de 270w, un controlador de carga tipo MPPT y un inversor a 48v. Posteriormente se procedió a cotizar el proyecto con 3 empresas confiables que llevan años de experiencia en los sistemas fotovoltaicos autónomos.



CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1 La tierra y el sol

En orden de distancia al sol, la tierra es el tercer planeta de adentro hacia fuera y quinto en cuanto a tamaño (de mayor a menor). La energía del sol es muy importante para la tierra. El sol calienta nuestro planeta, su superficie y la atmósfera, estableciendo los estados del tiempo. El clima es afectado en gran medida por la radiación solar que recibe la tierra, esta cantidad cambia dependiendo del albedo de la tierra, que es la cantidad de radiación que reflejan la superficie de la tierra y las nubes de vuelta al espacio.

La órbita del planeta es elíptica por lo que hay momentos que la tierra se encuentra más cerca del sol y otros en que está más lejos. Durante la órbita de la tierra sobre su eje inclinado alrededor del sol se producen cuatro posiciones principales que dan lugar a las estaciones del año.

En el exterior de la atmósfera de la tierra en cualquier punto dado del espacio, la energía entregada por el sol (insolación) es prácticamente constante, sin embargo, sobre la tierra ésta situación cambia como resultado de:

- La cambiante posición de la tierra en el espacio.
- La rotación de la tierra.
- La atmósfera de la tierra (gases, nubes, polvo).
- Los gases en la atmósfera permanecen relativamente estables, sin embargo, en los años recientes con la contaminación por partículas suspendidas en la atmósfera se evita que una cierta fracción del sol incida en la tierra.
- Las nubes son fuertemente transitorias y pasan de lado a lado, produciendo sombras sobre la tierra.

Durante la órbita de la tierra sobre su eje inclinado alrededor del sol se producen cuatro posiciones principales que dan lugar a cuatro períodos distintos a lo largo del año conocido como estaciones del año: primavera, verano, otoño e invierno. Cada estación del año tiene una característica propia con respecto a la temperatura, las precipitaciones y la luz solar entre otras características.

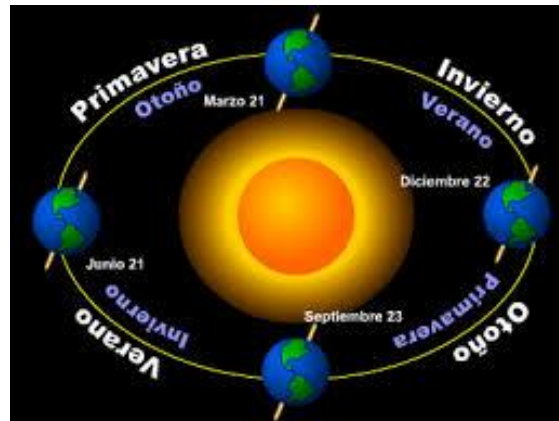


Figura 1. Las estaciones del año

Fuente: <https://sistema-solar9.webnode.es/estaciones-en-la-tierra/>

1.1.1 La posición del sol

La tierra está ligeramente inclinada sobre su eje. Al girar alrededor del sol en su ciclo de $365 \frac{1}{4}$ de días, las distintas partes del planeta estarán expuestas al sol por un periodo de tiempo largo o corto, esto es por lo que algunos días son cortos en el invierno y largos en el verano.

Las estaciones en el hemisferio norte son exactamente opuestas a las del hemisferio sur en cualquier tiempo.

Debido a la inclinación de la tierra, en ciertos periodos del año, dependiendo de su latitud, se recibirá más o menos luz solar por día. También, si se observa la latitud relativa al sol, se puede observar que en la medida que la tierra gira, el ángulo al sol es diferente a cualquier hora del día, dependiendo de la estación.

1.2 La energía solar

La radiación solar no resulta un producto homogéneo, más bien está constituido por un conjunto de radiaciones con distintas propiedades físicas que producen resultados distintos según sea su estructura. Como expresiones de lo que se conoce como radiación, se tiene la luz y el calor. La caracterización de la radiación solar incidente en la tierra no resulta un problema sencillo de resolver, debido a estas razones principalmente:

- La radiación solar es aleatoria, lo que hace imposible determinarla en una forma definitiva o exacta.
- El movimiento relativo sol-tierra está regido por ecuaciones muy complejas que permiten determinar en todo momento la posición relativa del sol con respecto a cualquier punto de la superficie de la tierra.
- La tierra orbita alrededor del sol con dos movimientos diferentes que lleva a cabo al mismo tiempo:



El movimiento de rotación alrededor de su eje, que pasa por los dos polos, se le llama el eje polar, y tiene una velocidad aproximada de 1,700 Km/h.

El movimiento de traslación alrededor del sol descubriendo una órbita elíptica en la que éste ocupa uno de los focos. El plano que contiene esta órbita se llama plano de la elíptica y tarda un año en recorrerlo por completo.

El llamado eje polar o eje de rotación terrestre sobre el que gira la tierra mantiene una dirección aproximadamente constante formando un ángulo de 23.45° con el plano de la elíptica, denominado oblicuidad de la elíptica, es decir, la recta que une los centros de la tierra y el sol y que cambia entre $+23.45$ y -23.45 , a este ángulo se le conoce como declinación solar.

La oblicuidad de la elíptica permite explicar básicamente dos cosas: el distinto calentamiento de la tierra en función de su posición en la órbita (es decir, las estaciones del año) y también la duración del día y de la noche a lo largo del año.

La declinación solar se anula en los **equinoccios de primavera** (22/23 marzo) y de otoño (20/21 septiembre). En estos días el sol se encuentra en el Ecuador y la duración del día es igual a la de la noche en toda la tierra, además las posiciones de salida y puesta del sol coinciden con el *este* y con el *oeste* respectivamente.

El solsticio de verano (21/22 junio), la declinación es de $+23.45^\circ$ y el sol se encuentra en el trópico de cáncer, lo que significa que el día es más largo y la noche más corta en el Hemisferio Norte.

En el solsticio de invierno (21/22 de diciembre), la declinación es de -23.45° y el sol se encuentra en el trópico de capricornio, lo que significa que en el Hemisferio Norte el día es más corto y la noche más larga, en tanto en el Hemisferio Sur ocurre lo contrario.

Como un resultado de que el sol parece estar en distintos lugares en el cielo, se muestra en la figura 2 el movimiento del sol en cada uno de los equinoccios y solsticios.

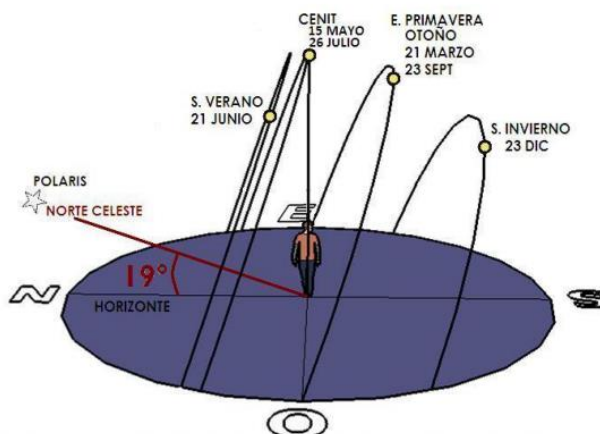


Figura 2. Movimiento del sol a lo largo del año, a una latitud de 19°N, como en la ciudad de México.

Fuente: <http://www.academicos.ccadet.unam.mx/spie/acapulco/Taller-%20Modelo%20Traectoria%20del%20Sol.pdf>

La posición del sol queda determinada por medio de dos ángulos que son: la altura y el azimut. La altura se define como el ángulo que forma el sol, el observador y el horizontal, en tanto que el azimut es el ángulo que forma la proyección de la línea sol-observador con la dirección sur.

En los aspectos relacionados con la energía solar, el uso del ángulo de altura o elevación y el azimut pueden ser relevantes para saber si un árbol o un edificio van a formar sombra sobre el equipo solar en algún momento del año.

1.2.1 Disponibilidad y variabilidad de la energía solar

La energía solar pareciera ser una fuente ideal de energía, es limpia, es gratis y abundante y su uso podría ayudar a resolver muchas de las presiones ambientales para contribuir a reducir los efectos del cambio climático.

Aun cuando el sol brilla 24 horas al día y los rayos inciden en la tierra todo el tiempo, la mitad del planeta está siempre en la obscuridad, esto plantea un problema porque la sociedad consume energía eléctrica 24 horas al día los 365 días del año.

Otro problema que se tiene es la variabilidad diaria de la energía solar, que aún durante las horas del sol al día, puede ser bloqueada por las nubes y esto puede ocurrir aún por periodos de días.

Los usuarios de energía eléctrica que usan por ejemplo como fuentes de energía primaria la fotovoltaica, y no están conectados a la red eléctrica, es decir, operan desconectados de la red eléctrica, resuelven el problema con un sistema de



respaldo como son el uso de baterías para almacenar electricidad con lo que se satisface la demanda nocturna y la de días nublados también.

La naturaleza variable del sol se puede tratar de complementar acoplando los sistemas eléctricos solares con otras fuentes de energía renovables, por ejemplo con sistemas eólicos o con minihidráulicas. Los sistemas eólicos generan energía eléctrica durante el día y la noche en la medida que sople el viento.

Este acoplamiento de fuentes de energía renovable como la solar fotovoltaica y la eólica, requiere de un estudio previo de las características del sitio, en donde por ejemplo, durante el invierno que hay poca disponibilidad del sol, el viento debe soplar y en el periodo de primavera-verano con mayor disponibilidad solar, se hace menor uso del viento en ciertos periodos.

1.3 La radiación solar

La radiación solar transporta energía, que calienta la tierra y es la fuerza impulsora que está detrás de nuestro clima y tiempo atmosférico.

Aunque cerca del Ecuador la intensidad del sol se siente con mucha más fuerza que en las regiones polares, a todos los lugares de la tierra llega la misma cantidad total de luz cada año; los lugares próximos al Ecuador reciben 12 horas diarias de luz anuales y en los círculos polares ártico y antártico se compensan los períodos de dos semanas sin luz en invierno con períodos veraniegos de igual duración en los que la luz dura todo el día. De toda la radiación solar, solo el 47% llega al planeta tierra, de este porcentaje podemos desglosar los siguientes datos:

- 28 % es reflejada por las nubes.
- 5% la absorben tanto nubes como polvo.
- 17 % La absorben los gases atmosféricos como el vapor de agua.
- 0.2 % la absorben las plantas.
- 21 % la absorbe la superficie terrestre.
- 26 % La absorbe el agua.

Del 47 % de la radiación solar, que es la que llega a la Tierra, se reparte de la siguiente manera: un 40% a evaporación de agua, un 0.2% a la fotosíntesis de plantas y un 6.8% la absorben mares y océanos.

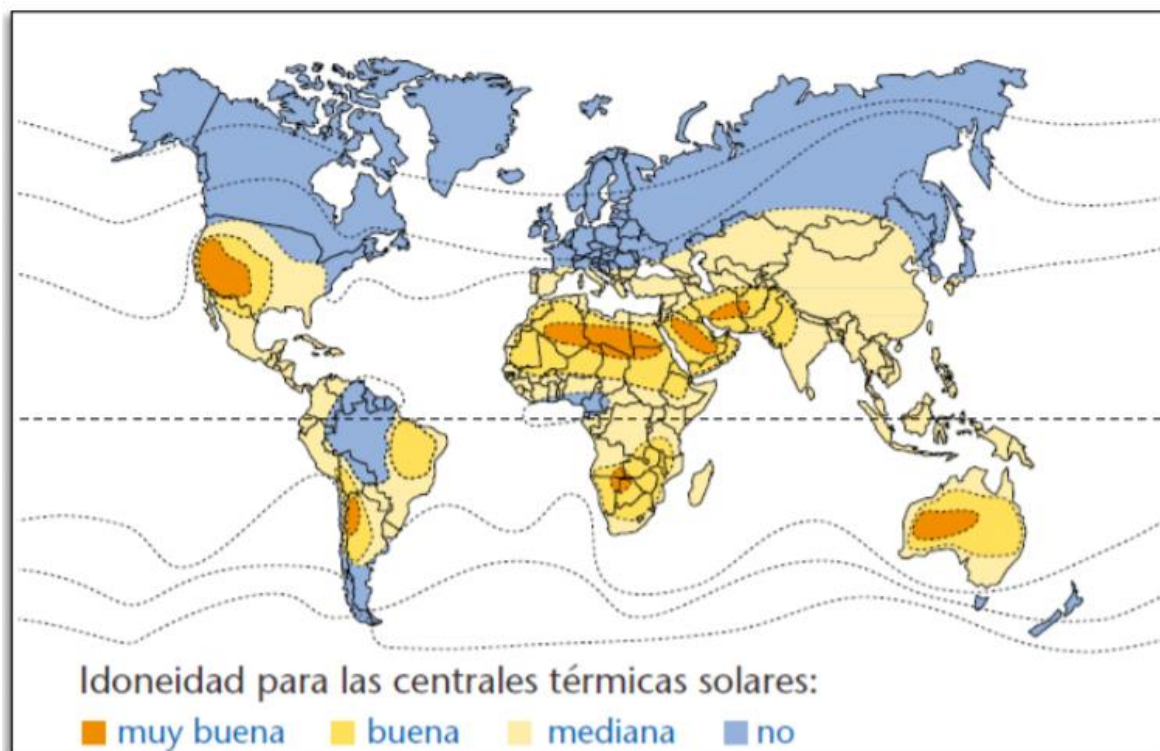


Figura 3. Mapa de la radiación solar en el Mundo

Fuente:

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/277/A5.pdf>

El mapeado de la radiación solar media en el mundo, nos da una idea de qué zonas son las que reciben mayor radiación solar. Éstas se encuentran principalmente en la zona del Ecuador, difuminándose hacia los polos, aunque entran en juego distintos factores como la nubosidad o las características geológicas del suelo, refractando esta mayor o menor radiación, contribuyendo al efecto invernadero y al aumento de la temperatura.

En este mapa podemos ver que México, Estados Unidos y algunos países de Sudamérica son los que cuentan con mayor potencial solar en todo el continente.

1.3.1 Radiación solar en México

El sol está jugando un papel cada vez más importante en nuestra economía, y puede llegar a ser una fuente de empleos para nuestro país. Actualmente en México es posible hacer uso de la energía eléctrica generada por el uso de paneles fotovoltaicos o sistemas de concentración solar utilizando la radiación directa, y existen mecanismos concretos para lograr que la inversión sea rentable.

Considerando la capacidad energética del sol, la cual perdurará durante millones de años, así como la privilegiada ubicación de México en el globo terráqueo, la cual permite que el territorio nacional destaque en el mapa mundial de territorios con

mayor promedio de radiación solar anual con índices que van de los 4.4 KWh/m² por día en la zona centro, a los 6.3 KWh/m² por día en el norte del país.

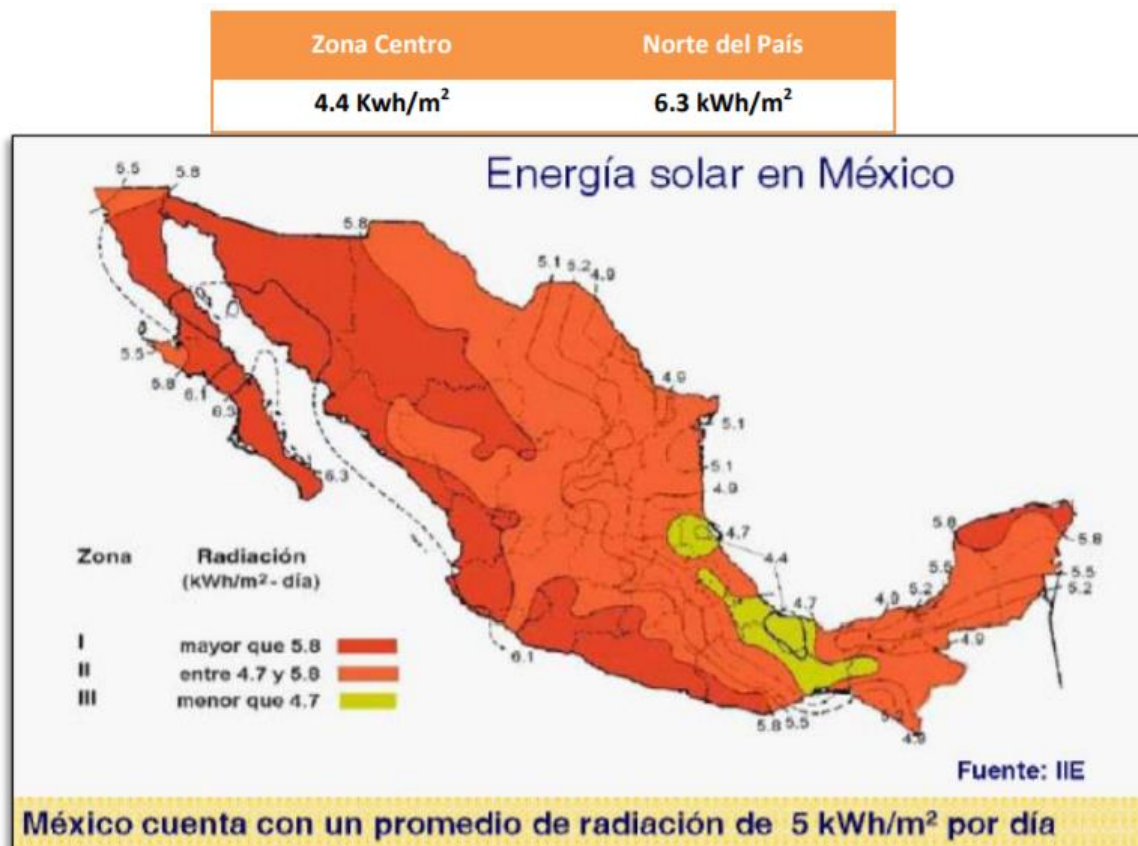


Figura 4. Mapa de la irradiación solar en México, KWh/m² al día

Fuente: Instituto de Investigaciones Eléctricas

México es un país con alta incidencia de energía solar en la gran mayoría de su territorio; la zona norte es de las más soleadas del mundo. La mitad del territorio nacional presenta una insolación promedio de 5.3 KW/ m² al día, suficiente para satisfacer la necesidad de un hogar mexicano promedio. Esto nos coloca en una situación muy favorable para el uso de la energía solar.

1.4 Irradiancia e insolación

La irradiancia es un término que se usa para determinar la cantidad de energía que se capta en un área, es decir la cantidad de radiación solar que cae en un superficie terrestre, sus unidades en sistema internacional (SI) son Kilowatts por metro cuadrado (KW/m²) para un valor de constante solar. No hay un valor único de irradiancia debido a que la distancia tierra-sol cambia debido a los movimientos de rotación y traslación.



La Insolación es la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a un lugar de la tierra en un día concreto (insolación diurna) o en un año (insolación anual).

Puede calcularse asumiendo que no hay atmósfera o que se mide en la parte alta de la atmósfera y se denomina *insolación diurna o anual no atenuada*, o la que se mide en la superficie de la tierra para lo cual hay que tener presente la atmósfera y que en este caso se denomina *atenuada* siendo su cálculo mucho más complejo.

La insolación también es conocida como la energía radiante que incide en una superficie de área conocida en un intervalo de tiempo dado. Este término tiene unidades de energía por área, comúnmente watts-hora por metro cuadrado (Wh/m^2). Generalmente se reporta este valor como una acumulación de energía horaria, diaria, estacional o anual. La insolación también se expresa en términos de horas solares pico.

La energía útil que produce el arreglo fotovoltaico es directamente proporcional a la insolación que recibe.

La insolación es un parámetro clave en el diseño de sistemas solares. Los factores principales que afectan la insolación sobre una superficie captadora son las condiciones climáticas y el ángulo de la superficie captadora con respecto a la posición del sol. En lugares donde los días nublados son relativamente más frecuentes, la insolación promedio es menor. Cuando la latitud del lugar sobrepasa los 15° , los días de invierno son apreciablemente más cortos que los días de verano. Esto resulta en una mayor insolación promedio en el verano.

1.5 Irradiación

La irradiancia por un periodo de tiempo se refiere como la irradiación solar, impactando la superficie de la tierra (o un módulo fotovoltaico) durante un cierto periodo de tiempo especificado, por lo general una hora o un día. Las unidades de irradiación están expresadas en Watts-hora por metro cuadrado (Wh/m^2)

La cantidad de irradiación varía debido a que existen días más cortos, es decir, hay menos horas de luz de día durante los meses de invierno. La longitud del día está determinada por el ángulo de la tierra con relación al sol. Durante el invierno en el hemisferio norte la mayoría de los rayos solares caen sobre el hemisferio sur.

En el verano en el hemisferio norte la tierra se inclina hacia el sol, esto representa varios cambios, uno de ellos es que el sol está posicionado más alto en el cielo, como un resultado de esto, la luz del sol pasando sobre el hemisferio norte pasa a través de menos atmósfera, lo cual reduce la absorción y la dispersión, esto a su vez incrementa la irradiancia solar, lo que incrementa la potencia de salida del arreglo fotovoltaico.

1.6 Horas Solares Pico

Al total de energía recibida diariamente, por unidad de área, en un sitio particular, se le ha denominado recurso solar, este valor representa la irradiación diaria que se obtiene a partir de un promedio diario, semanal, mensual o anual. Las unidades usadas comúnmente para este concepto son Wh/m^2 o KWh/m^2 .

Para expresar al recurso solar en unidades de horas-pico, debe recordarse que el área bajo la curva de irradiancia contra tiempo representa la irradiación del día. Si se considera que esta área es igual al área de un rectángulo cuya altura corresponde a una irradiancia-pico de 1000 W/m^2 , entonces la base de este rectángulo es el número de horas en que supuestamente el Sol debería haber brillado con esta intensidad para obtener la misma irradiación del día. Las horas-pico de un sitio determinado, se obtiene al dividir el valor de la irradiación diaria en Wh/m^2 , entre 1000 W/m^2 . El resultado será el número de horas-pico en que el captador estuvo aparentemente recibiendo el valor pico de la irradiancia.

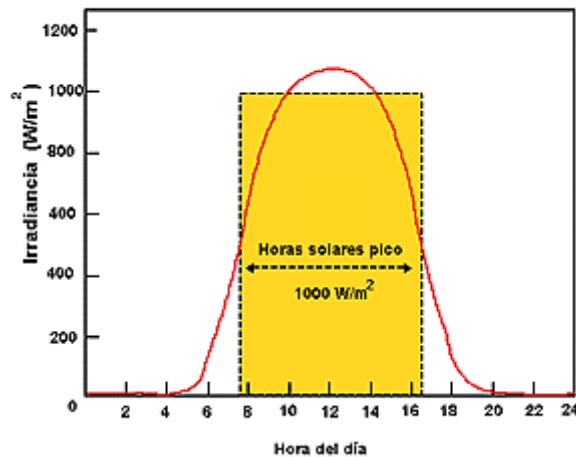


Figura 5. Irradiancia y horas solares pico (insolación) durante un día soleado.

Fuente: https://www.Irradiancia-y-horas-solares-pico-insolacion-durante-un-dia-soleado_fig11_277957423

CAPÍTULO 2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

2.1 Historia de la energía solar fotovoltaica.

Su desarrollo empezó en el año 1839 cuando Becquerel descubrió que si se ilumina uno de los electrodos sumergidos en un electrolito, aparece entre ambos una diferencia de potencial, dando lugar al efecto fotovoltaico.

En 1876, mientras Adams y Day se hallaban experimentando con la conductividad de unas varillas de selenio amorfo en bebidas en hierro, descubrieron que se creaba una diferencia de potencial cuando sus aparatos eran iluminados.

En el siglo XIX Michael Faraday, James Clerk Maxwell, Nikola Tesla y Heinrich Hertz realizaron unos estudios sobre la inducción electromagnética, fuerzas eléctricas y ondas electromagnéticas, y sobre todo los de Albert Einstein en 1905, proporcionaron la base teórica al efecto fotoeléctrico, que es el fundamento de la conversión de energía solar a electricidad.

En 1954 los laboratorios Bell, descubrieron de manera accidental, que los semiconductores de silicio dopado con ciertas impurezas, eran muy sensibles a la luz. Estos avances contribuyeron a la fabricación de la primera celda solar comercial. Emplearon una unión difusa de silicio con una conversión de la energía solar de aproximadamente 6%, un logro comparado con las celdas de selenio que difícilmente alcanzaban el 0.5%.

Al principio, las celdas fotovoltaicas primitivas se emplearon de forma minoritaria para alimentar electricidad, desafortunadamente su costo resulto ser demasiado elevado.

Las celdas fotovoltaicas fueron rescatadas gracias a la carrera espacial. La URSS lanzó su primer satélite espacial en el año 1957, y Estados Unidos le seguiría un año después. La primera nave espacial que usó paneles solares fue el satélite norteamericano Vanguard 1, lanzado en marzo de 1958. En el diseño de éste se usaron celdas solares creadas por Peter Lles en un esfuerzo encabezado por la compañía Hoffman Electronics.



Figura 6. Celdas fotovoltaicas

Fuente:

https://es.wikipedia.org/wiki/Célula_fotoeléctrica



2.2 La industria fotovoltaica

Con este nombre se tiende a identificar al conjunto de compañías que producen celdas solares o módulos fotovoltaicos.

También están en el subsector fotovoltaico, las firmas que fabrican equipos de producción específicos para la industria fotovoltaica, desde el procesado de obleas a la fabricación y verificación de los módulos con simuladores y sistemas de adquisición de datos.

Por tanto, el subsector fotovoltaico lo constituyen compañías industriales y de servicios que proporcionan multitud de elementos: soportes metálicos especiales, obra civil, protección contra rayos, baterías, reguladores de carga con paneles fotovoltaicos, inversores, equipos de medida y control, unidades de control del seguimiento, etc. La industria fotovoltaica mundial mueve ahora más de 7,000 millones anuales, y cada año crece un 30%.

Muy distintas fuentes prevén una penetración del mercado de hasta 25-30% de la electricidad mundial. Eso representa para una eficiencia media del 20%.

2.2.1 Aplicaciones actuales de la energía solar fotovoltaica

La producción industrial a gran escala de paneles fotovoltaicos despegó en la década de 1980, y actualmente entre sus múltiples usos se pueden destacar:

- Centrales conectadas a red para suministro eléctrico.
- Sistemas de autoconsumo fotovoltaico.
- Electrificación de pueblos en áreas remotas.
- Suministro eléctrico de instalaciones médicas en áreas rurales.
- Corriente eléctrica para viviendas aisladas de la red eléctrica.
- Sistema de comunicaciones de emergencia.
- Estaciones repetidoras de microondas y de radio.
- Señalización ferroviaria.
- Sistemas de carga para los acumuladores de barcos.
- Postes de SOS (teléfonos de emergencia en carretera).
- Recarga de vehículos eléctricos.

2.3 Tecnología solar fotovoltaica

Es posible convertir directamente energía solar en energía eléctrica por un proceso fotovoltaico. La energía fotovoltaica es una tecnología basada en semiconductores (foto=luz, voltaico= voltaje) que convierte energía proveniente de la luz solar



directamente en corriente eléctrica, que se puede usar ya sea en forma inmediata o almacenada en una batería para su uso posterior.

Los dispositivos para conversión de la energía que se usan para convertir la luz solar en electricidad por efecto fotovoltaico, son conocidos como celdas fotovoltaicas o celdas solares, es decir, que una celda solar es un transductor capaz de desarrollar un voltaje de 0.5-1.0 V (volts) y una densidad de corriente de 20-40 mA/cm² (miliamperios por centímetro cuadrado), dependiendo de los materiales con los que se elaboró y de las condiciones de luz solar.

Se desarrolló una investigación sustancial y esfuerzos para desarrollar en todo el mundo amplias bases para mejorar la viabilidad de la generación de energía eléctrica fotovoltaica y se ha incrementado el uso de unidades fotovoltaicas de pequeña potencia (en tamaños varían desde unos pocos watts hasta unos pocos KW) para uso local.

2.3.1 Efecto fotovoltaico en paneles solares

Se define como la conversión de la radiación solar en electricidad, mediante materiales semiconductores que tienen la propiedad de absorber la energía de los fotones (partículas de luz) hacia un electrón, extrayéndolo del átomo en donde se encuentra y dejando un hueco tras de sí. Los electrones y los huecos se mueven durante el proceso, dando origen a una corriente eléctrica. Este fenómeno es aprovechado en paneles solares, los cuales reciben la energía lumínica del sol transformándola en electricidad.

La materia está compuesta por átomos, los cuales se encuentran conformados por dos partes que son los electrones y el núcleo con carga eléctrica, negativa y positiva respectivamente, formando de esta manera un conjunto estable y eléctricamente neutro. Los electrones del último nivel se denominan electrones de valencia y son los que interaccionan con otros electrones de otros átomos para formar una red cristalina.

Eléctricamente hablando podemos dividir a los materiales en tres tipos:

- **Conductores:** Es un material que, en mayor o menor medida, conduce el calor y la electricidad.
- **Semiconductores:** Son elementos que tienen una conductividad eléctrica inferior a la de un conductor metálico pero superior a la de un buen aislante. El semiconductor más utilizado es el silicio, que es el elemento principal para la elaboración de las celdas solares.
- **Aislantes:** Es un material con escasa capacidad de conducción de la electricidad, utilizado para separar conductores eléctricos evitando un cortocircuito.

Los materiales utilizados para la fabricación de las celdas fotovoltaicas son los semiconductores ya que la energía que une a los electrones de valencia con el núcleo es similar a la energía de los fotones de los rayos solares. En el momento en que los fotones de la radiación solar inciden sobre un material semiconductor, los enlaces entre los electrones de valencia y su núcleo se rompen, quedando libres para circular por el semiconductor.

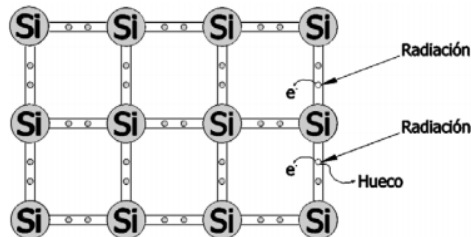


Figura 7. Efecto de la radiación solar sobre un semiconductor (Silicio)

Fuente:

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/26396/memoria.pdf>

Al espacio dejado por el electrón liberado se le denomina hueco y dispone de carga eléctrica positiva de igual magnitud que el electrón pero de signo contrario. En las zonas donde se ha expuesto un semiconductor a la luz solar ocurre esta generación de huecos y liberación de electrones.

El problema inicialmente era que los electrones liberados pasan a ocupar los huecos dejados por otros, este quiere decir que los huecos y los electrones circulan en la misma dirección, restableciendo el enlace roto sin producir corriente eléctrica. Para que esto no ocurra se debe generar un campo eléctrico en el interior del semiconductor, con esto, los huecos y los electrones circularán en sentidos opuestos produciendo una corriente eléctrica.

Una celda fotovoltaica de silicio está compuesta por dos regiones, para generar un campo eléctrico dentro de ésta lo que se hace es tratar químicamente diferente a las dos regiones. A la primera se le han sustituido algunos átomos de silicio por átomos de fósforo, que posee 5 electrones de valencia, uno más que el de silicio, quedando así un electrón libre. A la segunda en cambio se ha sustituido al silicio por átomos de boro, que posee 3 electrones de valencia, uno menos que el silicio, quedando un hueco disponible.

De esta manera se logra que los electrones fluyan desde la zona tratada con fósforo hacia la zona tratada con boro y los huecos fluyan de manera contraria produciéndose en la unión un campo eléctrico conocida como unión p-n.

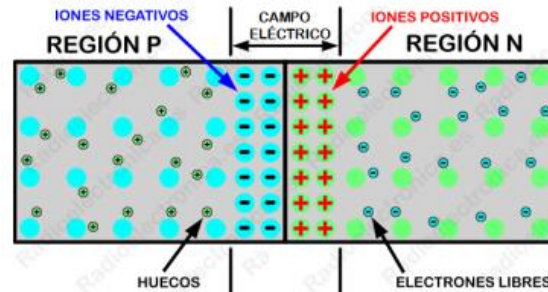


Figura 8. Unión p-n

Fuente:

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/26396/memoria.pdf>

También debemos considerar que para que se pueda liberar el electrón de su núcleo y generar el par electrón-hueco, necesitamos de una mínima cantidad de energía, la cual se denomina “ancho de banda prohibida”, se le representa con las letras E_g y su valor es de 1.5 electronvoltios (eV).

2.4 Tipos de sistemas fotovoltaicos

La energía solar fotovoltaica está indicada para un amplio abanico de aplicaciones donde se necesite generar electricidad, bien sea para satisfacer las necesidades energéticas de aquellos que no disponen de la red eléctrica (sistemas fotovoltaicos autónomos) o bien para generar energía a la red eléctrica (sistemas conectados a la red).

Se puede realizar una primera clasificación de los sistemas fotovoltaicos en función de si están o no conectados a la red eléctrica convencional:

- **Sistemas fotovoltaicos autónomos** son aquellos que están aislados de la red eléctrica.

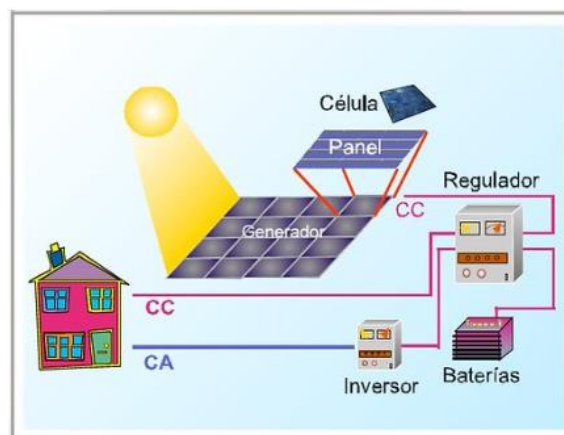


Figura 9. Diagrama típico de una instalación fotovoltaica aislada

Fuente: <https://iactinspain.wordpress.com/2009/02/25/solarizate-o-red-de-escuelas-solares/>

- **Sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica** son aquellos que están directamente conectados a la red eléctrica.

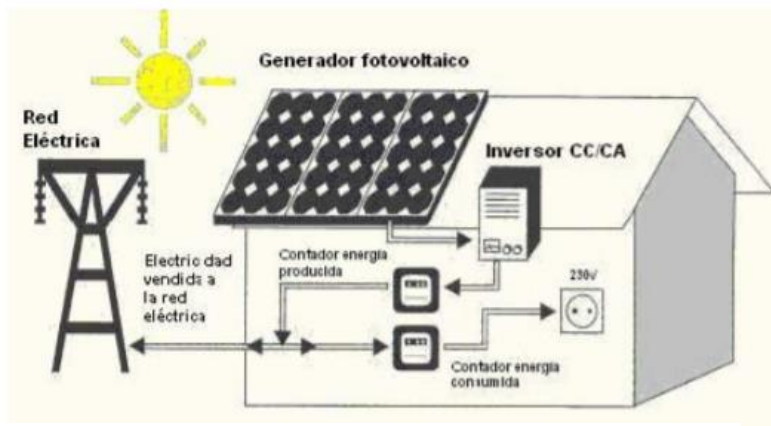


Figura 10. Diagrama de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica

Fuente: <http://proyectopanelessolares.blogspot.com/2008/11/suministro-de-energia-electrica-apartir.html>

2.5 Componentes principales de un sistema fotovoltaico

Consta principalmente de los siguientes elementos:

- a) Paneles fotovoltaicos
- b) Estructura y cimientos del arreglo
- c) Reguladores de voltaje
- d) Regulador de carga de batería
- e) Inversor de corriente CD/CA o un rectificador CD/CA
- f) Baterías de almacenamiento eléctrico y recinto para ellas
- g) Cables e interruptores

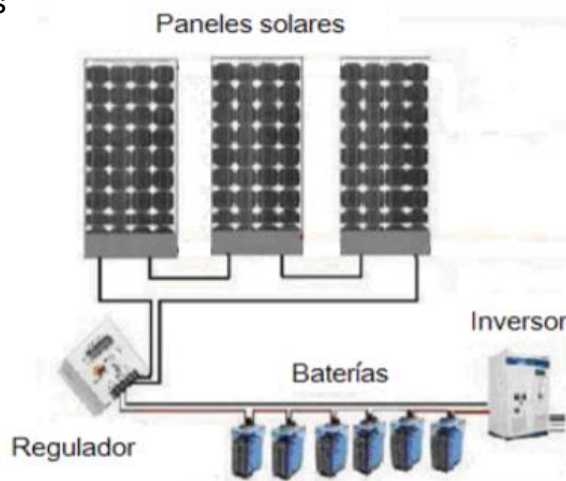


Figura 11. Diagrama físico de una instalación fotovoltaica

Fuente: <http://www.portalsolar.com/energia-solar-paneles-solares.html>



2.5.1 Celdas fotovoltaicas

Las celdas solares fotovoltaicas son dispositivos electrónicos que tienen la función de transformar la luz solar directamente en energía eléctrica sin pasar antes por un estado de energía térmica.

Generalmente están hechas de materiales semiconductores, usualmente silicio, para las celdas solares se tienen una especie de obleas delgadas de semiconductores especialmente tratadas para formar un campo eléctrico positivo de un lado y negativo del otro.

Las celdas solares no tienen partes mecánicas, están hechas de delgadas capas de material semiconductor (es aquel que conduce la electricidad en determinadas condiciones), usualmente de 0 a 0.46 V. Están elaboradas a base de silicio puro, y son capaces de generar corrientes de 2 a 4 A (amperes), a un voltaje 48 Volts utilizando como fuente la radiación luminosa, tienen la propiedad de tener una gran conductividad y una ausencia total de resistividad eléctrica, están unidas a contactos de metal para completar el circuito eléctrico que se encuentran encapsuladas en vidrio o plástico.

Las celdas se montan en serie sobre paneles o módulos solares para conseguir un voltaje adecuado. Parte de la radiación incidente (que llega a la tierra) se pierde por reflexión (rebota) y otra por transmisión (atraviesa la célula). El resto es capaz de hacer saltar electrones de una capa a la otra creando una corriente proporcional a la radiación incidente. La capa antirreflejo aumenta la eficacia de la célula.

Las celdas fotovoltaicas (FV) individuales tienen una producción eléctrica limitada, la cual puede ser utilizada para operar equipos pequeños tales como juguetes, relojes y calculadoras de bolsillo. Para incrementar la salida (voltaje y amperaje) de una fuente FV, las celdas individuales se unen eléctricamente en diferentes formas.

2.5.1.1 Principio de funcionamiento de una celda fotovoltaica

Las celdas solares son dispositivos que convierten la energía solar en electricidad, ya sea directamente vía el efecto fotovoltaico, o indirectamente, mediante la previa conversión de energía solar a calor o a energía química.

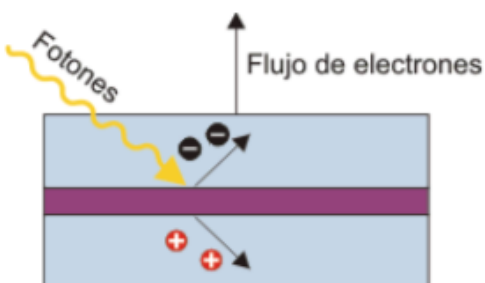


Figura 12. Funcionamiento de una celda solar

Fuente: <http://www.textoscientificos.com/energia/celulas>.

La forma más común de las celdas solares se basa en el efecto fotovoltaico, en el cual la luz que incide sobre un dispositivo semiconductor de dos capas produce una diferencia del voltaje o de potencial entre las capas. Este voltaje es capaz de conducir una corriente a través de un circuito externo de modo de producir trabajo útil para una aplicación determinada.

Para la mayoría de aplicaciones en que están relacionadas las celdas fotovoltaicas resulta insuficiente la diferencia de potencial de 0.5 Volts generada por una celda, de esta manera las celdas tienen que ser colocadas en serie para que, en conjunto, proporcionen el voltaje adecuado. De la misma manera varias de esas series pueden ser colocadas en paralelo para incrementar la corriente.

Posteriormente las celdas interconectadas en serie y sus conexiones eléctricas se encapsulan y se colocan entre dos placas que pueden ser de vidrio, o bien una de vidrio superior y una posterior plástica o metálica.

Una función importante del encapsulado en los módulos es que las celdas puedan quedar protegidas para que operen bajo condiciones de climas cambiantes, o de posibles daños mecánicos producidos por aves, polvo o piedras. El encapsulado proveerá suficiente rigidez para sujetar a las celdas y sus interconexiones.

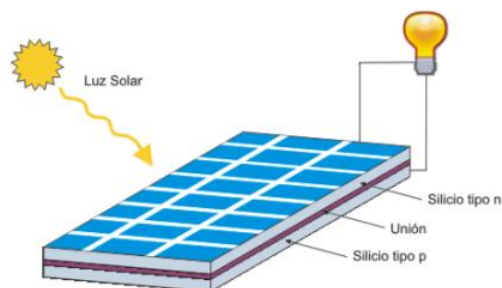


Figura 13. Diagrama de la generación de energía eléctrica por medio de una celda solar.

Fuente: <http://www.textoscientificos.com/energia/celulas>.

2.5.1.2 Componentes básicos de una celda solar

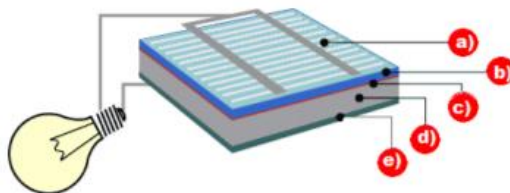


Figura 14. Partes de una celda solar.

Fuente: <http://podersolarmx.tripod.com/id11.html>

a) Placa de vidrio.

Es aquella que permite ingresar la luz a las celdas y protege a los semiconductores en la celda de los elementos.

b) Capa anti-reflejo.

Es aquella que esta entre la placa de vidrio y el semiconductor, y tiene la función de minimizar la pérdida de luz por reflejo.

c) La capa de semiconductor tipo n.

Es aquella que tiene una concentración de electrones excitados mayor a la de la capa tipo p, lo cual provoca que las cargas eléctricas de esta capa se pasen a la capa de tipo p provocando una diferencia de potencial con la otra capa.

d) Plancha de semiconductores tipo n y tipo p.

Es aquella en la que se encuentran colocados los semiconductores tipo n y tipo p y están enlazados a través de un camino o vía que actúa como conductor por el cual circulan los electrones para ir del semiconductor tipo n al tipo p, generando un campo eléctrico en este cable.

e) La capa de semiconductor tipo p.

Es aquella que tiene una deficiencia de electrones, lo cual atrae a los electrones excitados provenientes de la capa tipo n, provocando que se genere una diferencia de potencial entre ambas capas de semiconductor, mejor conocido como voltaje.

2.5.1.3 Características eléctricas de una celda solar

a) Corriente de cortocircuito (I_{cc})

Esta magnitud es la intensidad que circula con la celda en cortocircuito, con una iluminación determinada y fija. Su valor es directamente proporcional a la energía solar recibida, y por lo tanto a la superficie total y al nivel de iluminación.



b) Tensión de vacío (V_{co})

Esta magnitud es la diferencia de potencial entre los bornes de la celda en ausencia de consumo, con una iluminación fija y a una temperatura determinada.

c) Corriente óptima (I_m)

Esta magnitud es la intensidad que circula por la celda en el punto de funcionamiento óptimo, teniendo aplicada una carga de valor óptimo, elegida de modo que la potencia eléctrica sea máxima.

d) Tensión óptima (V_m)

Esta magnitud es la tensión que origina la corriente óptima, al ser aplicada sobre una carga de valor óptimo, elegida de modo de que la potencia eléctrica sea máxima.

e) Potencia Máxima (P_m)

Es la máxima energía que es entregada por una celda solar cuando pasa por un valor máximo para valores determinados de tensión y corriente fijados en función de la resistencia óptima de carga. Su unidad de medición es el Watt.

f) Temperatura límite de funcionamiento

Esta magnitud ronda los 100 grados centígrados.

g) Rendimiento (η)

Esta magnitud es la relación entre la energía eléctrica entregada y la energía luminosa recibida. Su valor ronda el 18 %, según la tecnología constructiva de la celda.

2.5.2 Módulos fotovoltaicos

Un módulo fotovoltaico es un conjunto de celdas interconectadas eléctricamente protegidas contra la intemperie, por lo general tienen una cubierta frontal de vidrio templado y un marco de aluminio templado que facilita su transporte e instalación. El módulo puede incluir desde menos de una docena hasta cerca de 100 celdas.

Debido a que no tiene partes móviles, son muy confiables y duraderos, algunos fabricantes los garantizan hasta por 25 años con defectos de fábrica y reducción de eficiencia.



Figura 15. Módulo solar.

Fuente: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/panel-fotovoltaico>

2.5.2.1 Tipos de módulos o paneles fotovoltaicos

Existen distintos tipos de paneles fotovoltaicos, sin embargo los de silicio cristalino (monocristalino y policristalino) y silicio amorfo se encuentran entre los más populares. Su clasificación depende de su proceso de fabricación, el presupuesto, rendimiento y su aplicación.

TIPO DE MÓDULOS	CARACTERÍSTICAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Mono-cristalinos Eff (%) 15-18%	Hechas de un solo cristal de silicio muy puro, que se cultiva en un lingote utilizando el proceso Czochralski luego se corta en rodajas finas llamadas "wafers". Estas celdas solares son algunas de las formas más antiguas y confiables para producir electricidad a partir del sol.	*Las celdas solares monocristalinas hacen los paneles solares planos más eficientes gracias a su habilidad de convertir la mayor cantidad de energía solar en electricidad. *Han existido por muchos años, lo cual prueba su durabilidad. *Son seguros para el medio ambiente.	Los paneles solares con celdas monocristalinas son más caros que los policristalinos debido a la complejidad de su proceso de fabricación.
Poli-cristalinos Eff (%) 12-14%	Las celdas solares policristalinas están hechas de silicio derretido vertido en un molde. Se fabrican como un mosaico de diversos cristales de silicio.	Los paneles solares de celdas policristalinas son más económicos que los monocristalinos debido a que son más fáciles de fabricar ya que usan pedacería de cristales de silicón.	Los paneles solares hechos de celdas policristalinas son menos eficientes que los paneles solares monocristalinos.
Amorfo Eff (%) <10%	Los paneles solares hechos a partir de celdas solares de película delgada son mucho más delgados que los paneles monocristalinos o policristalinos y utilizan mucho menos silicio para su fabricación.	*Son más económicas. *Pueden aplicarse a casi cualquier tipo de superficie, metal, plástico o vidrio. *Son flexibles y pueden doblarse sin romperse. *Superan el desempeño de otros tipos de paneles a altas temperaturas.	*Son mucho menos eficientes que los mono y policristalinos. *Requieren casi el doble de espacio para generar la misma cantidad de energía. *Utilizan telurio de cadmio, una sustancia tóxica que no trae riesgos mientras se encuentre en el techo, sin embargo trae problemas de contaminación al final de su ciclo de vida cuando los paneles de película delgada necesitan ser desechados.

Tabla 1. Tipos y características de los módulos fotovoltaicos

Fuente: <https://gstriatum.com/2014/07/24/tipos-de-paneles-solares-ventajas-y-desventajas/>

2.5.2.2 Partes básicas de un panel solar

- Salida de aire caliente
- Filtro de aire
- Panel aislante
- Cámara ventilada
- Persiana veneciana
- Doble Cristal aislante
- Cristal exterior fotovoltaico anti transparente
- Ventilación por efecto forzada
- Entrada de aire

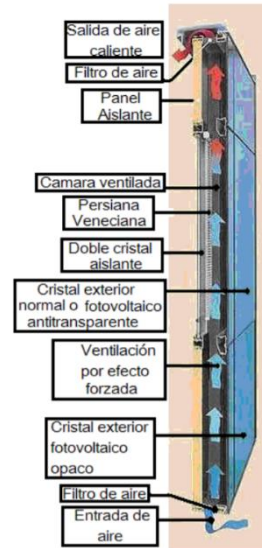


Figura 16. Partes de un panel solar

Fuente:

<http://www.institucio.org/mestral/tecnotreball/centrasol.htm>

2.5.2.3. Arreglo fotovoltaico

Un arreglo fotovoltaico es un conjunto de módulos conectados eléctricamente en serie o paralelo. Las características eléctricas del arreglo son análogas a la de módulos individuales, con la potencia, corriente y voltaje modificados de acuerdo al número de módulos conectados en serie y/o paralelo. La forma más popular de arreglo FV (Fotovoltaico) está hecha de paneles planos y puede responder a la luz difusa (es aquella que proporciona una iluminación homogénea desde múltiples ángulos) de todo el cielo (esto es, puede producir electricidad aún en días nublados). Los paneles FV planos pueden estar fijos en un soporte o moverse para seguir la trayectoria del sol.

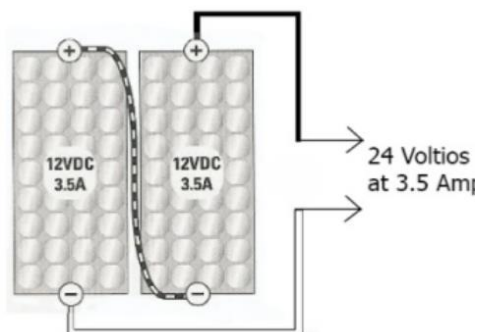


Figura 17. Módulos fotovoltaicos en serie

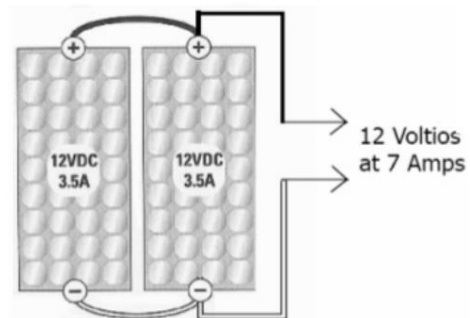


Figura 18. Módulos fotovoltaicos en paralelo

Fuente: <https://www.mpptsolar.com/es/paneles-solares-paralelo.html>

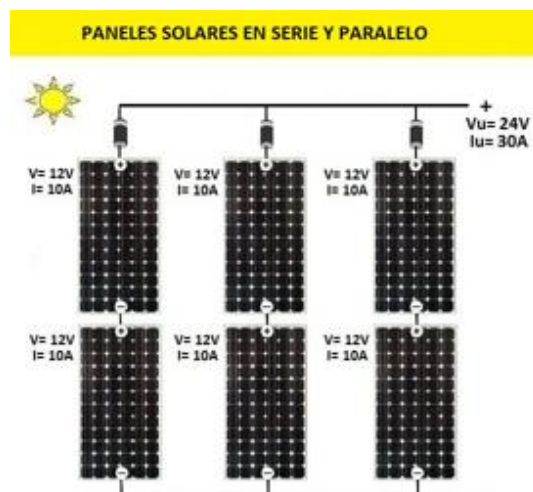


Figura 19. Módulos fotovoltaicos en serie y paralelo

Fuente: <https://www.mpptsolar.com/es/paneles-solares-paralelo.html>

2.5.2.4 Efecto de la irradiancia y la temperatura

Los datos de placa de los paneles solares o módulos solares son verificables en condiciones estándar de prueba ($1\text{KW}/\text{m}^2$ y 25°C). En realidad, durante su operación, la irradiancia y la temperatura raramente corresponden a las condiciones estándar de prueba, y por lo tanto, no se obtienen datos de placa. La irradiancia afecta la corriente y la potencia del módulo en forma proporcional, pero no al voltaje en forma apreciable. La temperatura de la celda afecta al voltaje y la potencia del módulo, pero el efecto ahora es menor. Se puede esperar una reducción en el voltaje y potencia de aproximadamente 0.5% por cada grado Celsius en las celdas por encima de 25°C , lo cual significa que a plena irradiancia sólo pueden producir 85% de la potencia nominal: 15% .

2.5.2.5 Ángulo de inclinación de un panel solar

El ángulo de inclinación es el que nos indica la forma en que se debe colocar el panel o paneles para obtener el mejor rendimiento de este dispositivo a través de los rayos del sol y se encuentra entre el plano horizontal y el panel solar.

El sol se desplaza en el cielo de este a oeste. Los paneles solares alcanzan su máxima efectividad cuando están orientados hacia el sol, en un ángulo perpendicular cuando esté a mediodía. Por lo general, los paneles solares son colocados sobre un techo o sobre una estructura y tienen una posición fija; no pueden seguir la trayectoria del sol en el cielo. Por lo tanto, no estarán orientados hacia el astro con un ángulo óptimo (90°) mientras sea de día.

Hay que tomar en cuenta que al instalarlos hay que orientarlos hacia el sur geográfico. Esto se debe principalmente a que con esta inclinación, el panel solar tendrá un mejor rendimiento anual, la orientación del sol varía según la hora del día y también de acuerdo al día del año.

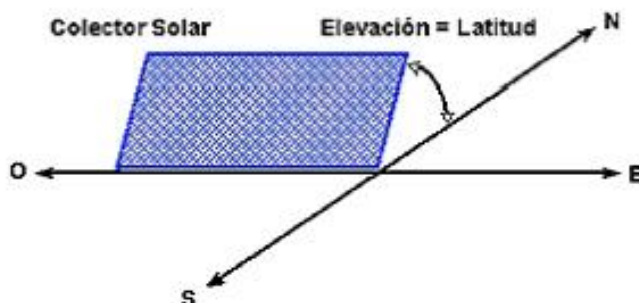


Figura 20. Orientación de una estructura fija para maximizar la captación de radiación solar a lo largo del año.

Fuente: http://solar.nmsu.edu/wp_guide/energia.html

Debido al movimiento terrestre alrededor del sol, existen también variaciones estacionales. Esto quiere decir que en invierno, el sol no alcanzará el mismo ángulo que en verano. Idealmente, en verano los paneles solares deberían ser colocados en posición ligeramente más horizontal para aprovechar al máximo la luz solar. Sin embargo, los mismos paneles no estarán, entonces, en posición óptima para el sol del invierno.

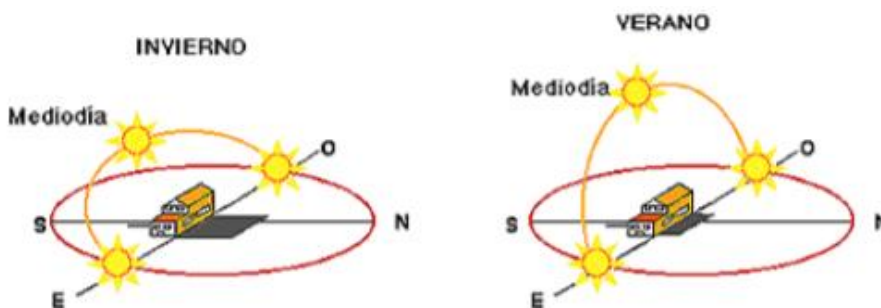


Figura 21. Movimiento aparente del sol en función de la hora del día y la época del año

Fuente: http://solar.nmsu.edu/wp_guide/energia.html

2.5.3 Regulador de carga

Es aquel que tiene la función de proteger a la batería contra las sobrecargas y contra las descargas excesivas al acumulador que le pudieran producir daños irreversibles asegurando que el sistema trabaje con mayor eficiencia. Además se emplea para proteger a las cargas en condiciones extremas de operación.

Los paneles fotovoltaicos pueden producir más electricidad de la que las baterías pueden almacenar, sobrecargar las baterías aumenta la pérdida del electrolito, disminuyendo así la vida útil de las baterías además de que es peligroso.



Figura 22. Regulador de carga

Fuente: <https://www.mpptsolar.com/es/regulador-de-carga-paneles-solares-fotovoltaicos.html>

2.5.3.1 Tipos de Reguladores de carga

Según como se efectúe la regulación de la carga de la batería los reguladores se clasifican:

- Reguladores MPPT (Punto Máximo de Potencia) o maximizador

Este tipo de control incorpora un limitador de corriente, para no sobrepasar la corriente máxima tolerada por las baterías cuando la potencia de entrada sube transitoriamente. Un regulador MPPT modula el voltaje del panel y lo adapta a las características de las baterías conectadas. Son los reguladores usados hoy en día en casi todas las instalaciones fotovoltaicas. Son más caros pero consiguen un aumento de la producción energética de un 30% respecto a los PWM.



Figura 23. Reguladores de carga tipo MPPT

Fuente: <https://www.mpptsolar.com/es/regulador-de-carga-paneles-solares-fotovoltaicos.html>

- Reguladores PWM o convencional

También llamados todo o nada. Fueron los primeros reguladores de carga que aparecieron en el mercado y realizaban el control de carga de la batería según un sistema “todo-nada” mediante la conmutación de elementos electromecánicos (relés), y se les podría denominar reguladores de una etapa. El regulador permitía el paso de toda la corriente disponible en el generador fotovoltaico (FV) hasta que la tensión en la batería alcanzaba un valor predeterminado (más o menos a 14.5 V se considera llena). Llegado a este valor se interrumpía el paso de la corriente. Para valores menores de 12V en la batería volvía a establecer el paso de toda la corriente a las baterías desde los generadores FV.



Figura 24. Reguladores de carga tipo PWM

Fuente: <http://www.saclimafotovoltaica.com/energia-solar/reguladores-pwm-o-mppt/>

Se usara reguladores PWM en caso de instalaciones cuyos paneles suministren una potencia inferior a 200 W. Para el resto siempre reguladores MPPT.

2.5.3.2 Funcionamiento del regulador de carga

Los reguladores de carga son de dos tipos serie o shunt. Ambos reguladores tienen un circuito de sensor y regula la corriente hacia la batería cuando la tensión excede un umbral determinado.

- **Los reguladores en serie** desconectan la batería de los módulos si la tensión se eleva por encima del umbral. Cuando la batería se descarga el regulador conecta nuevamente los módulos. Estos reguladores son simples pero tiene el problema que no toda la energía generada es empleada.
- **Los reguladores shunt** funcionan desviando la potencia hacia otra carga, si la carga es una simple resistencia, estos reguladores disipan la energía lo cual es mejor que sobrecargar la batería o destruir la electrónica. Pero es también posible emplear esta energía excedente en otros usos.

2.5.4 Baterías

Son el almacén de la energía eléctrica generada, permitiendo disponer de la energía eléctrica fuera de las horas de luz o días nublados. En este tipo de aplicaciones normalmente se utilizan baterías estacionarias, las que tienen como característica de operación más importante al ciclado; durante un ciclo diario, la batería se carga

durante el día y se descarga durante la noche; sobrepuesto al ciclado diario hay un ciclo estacional, que está asociado a períodos de reducida disponibilidad de radiación.

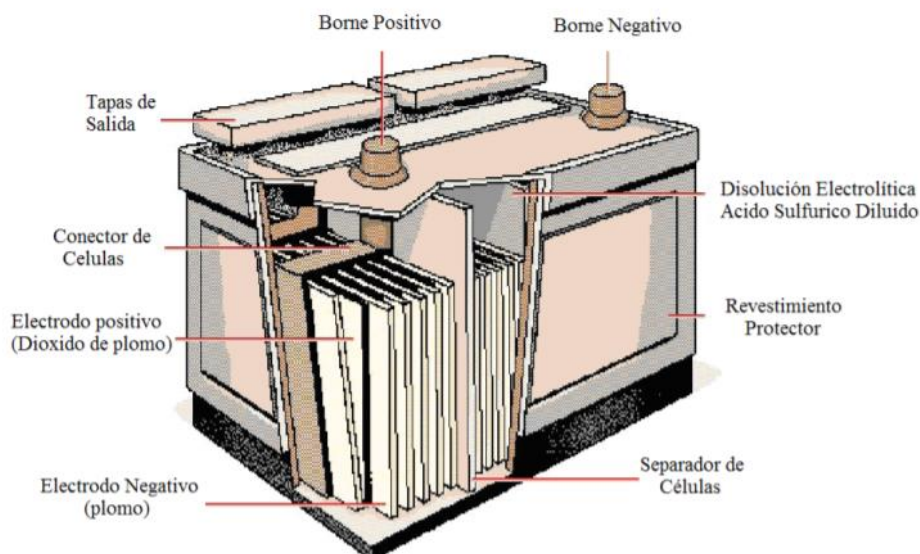


Figura 25. Acumulador o Batería

Fuente: <http://sustainable-tech.inf.um.es/informacion.html>

El uso de baterías tiene algunas desventajas, de hecho es preferible en ciertos casos no utilizarlas cuando se pueda acoplar la carga directamente al arreglo fotovoltaico como es el caso de los sistemas interconectados a la red que no requieren almacenamiento. Las baterías constituyen más del 30% del costo de los sistemas fotovoltaicos autónomos ya que entre mayor sea el número de días de autonomía mayor cantidad de baterías serán requeridas. Además se recomienda un mantenimiento preventivo cada 2 años lo que puede ser considerado en la inversión del sistema. El tiempo de vida útil de una batería fotovoltaica oscila entre los 4 a 6 años.

2.5.4.1 Capacidad de las baterías

La capacidad de las baterías están dadas en Amperes hora (Ah) y son simplemente el número de Amperes que proporciona multiplicado por el número de horas durante las que circula esa corriente. Sirve para determinar, en una instalación fotovoltaica, cuánto tiempo puede funcionar el sistema sin radiación luminosa que recargue las baterías. Esta medida de los días de autonomía es una de las partes importantes en el diseño de la instalación.



2.5.4.2 Factores que afectan la vida de la batería

a) Temperatura de operación

La temperatura de operación tiene importantes efectos en el tiempo de vida de la batería. En general, cuando la temperatura aumenta 10°C las relaciones electroquímicas se doblan dando como resultado una disminución del 30% de su tiempo de vida. La operación a bajas temperaturas aumenta su tiempo de vida pero disminuye su capacidad, especialmente en baterías de plomo-ácido.

b) Profundidad de descarga

Si una batería se descarga muy profundamente se produce una pérdida de materia activa. En los sistemas fotovoltaicos bien dimensionados, la profundidad de descarga diaria promedio es baja, ya que la capacidad de la batería se dimensiona para proporcionar varios días de autonomía durante los periodos de baja radiación solar, y la profundidad diaria de descarga está normalmente entre un 10 al 20% de la capacidad total. Cuantos más días de autonomía se consideren en el dimensionado de la batería, menor será la profundidad de descarga diaria y mayor su tiempo de vida. Obviamente a mayor capacidad instalada, mayor costo inicial.

c) Sobrecarga

La sobrecarga produce un gas excesivo y pérdida de electrolito, reduciendo la vida de la batería. La sobrecarga se previene mediante la utilización de un regulador de carga adecuado.

2.5.4.3 Tipo de baterías

Las baterías se pueden clasificar como celdas primarias y celdas secundarias.

- Celda primaria: se emplea con la intención de ser utilizadas una sola vez. La reacción dentro de la celda ocurre así. Después de lo cual se debe desechar; esto hace que las baterías primarias no sean usadas en los sistemas fotovoltaicos, la única opción son las baterías recargables para los sistemas fotovoltaicos.
- Celdas secundaria: almacena energía eléctrica en una reacción química reversible permitiendo a la batería producir corriente en forma repetida; sin embargo, el proceso de inversión no se da al 100% ya que hay cierta pérdida de energía debido al calentamiento y diferencia de voltaje.

Baterías plomo-acido

Las batería está constituida por dos placas denominadas placas de plomo (negativa) y placa de plomo cubierta con oxido de plomo (positiva) con 35% de ácido sulfúrico y 65% de solución de agua (electrolito) la cual ocasiona una reacción química que produce electrones.

Cuando la batería está en uso, el ácido se combina con el dióxido de plomo sobre la placa positiva para formar $PbSO_4$, esta reacción diluye el ácido y si se deja en forma diluida por un periodo largo de tiempo, reaccionara con la placa negativa y formara una capa dura de sulfato sobre la misma lo que hace que la recarga sea más difícil.

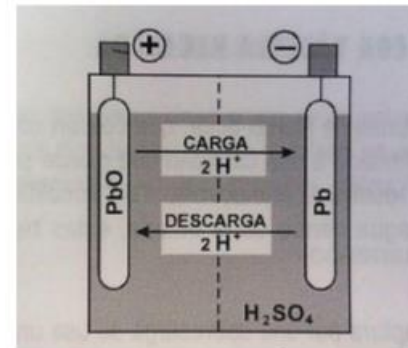


Figura 26. Batería de Pb-ácido

Fuente: <https://www.generatuluz.com/tu-propia-instalacion-aislada/baterias-plomo-acido/>

Baterías tipo gel

Este tipo de celda, se forma una delgada capa de gel mezclando el electrolito con un agente gelicida (fluoruro de silica), tiene la ventaja de estar completamente sellado y no tiene fuga de ácido o gas. La desventaja es que no toleran altos índices de carga o descarga por periodos prolongados aunque sus placas delgadas permiten altos índices por un corto tiempo.

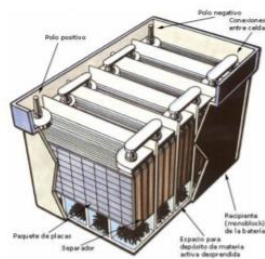


Figura 27. Baterías tipo Gel

Fuente: <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/las-baterias-de-plomo-podrian-dar-vida-a-vehiculos-hibridos-gracias-a-un-nuevo-proceso>

Las baterías son muy robustas y pueden tomar más calor y carga que las baterías plomo-ácido. Para su uso en sistemas fotovoltaicos hechas al tamaño además son más caras comparadas con las de plomo-ácido.

Baterías Níquel-Cadmio

Las baterías alcalinas emplean materiales relativamente costosos en su fabricación, sin embargo se obtiene de ellas un máximo nivel de aplicación. La instalación de una batería de Níquel-Cadmio no requiere de un alto costo de inversión y desde luego a largo plazo resultará mucho más económica que otras baterías industriales.

Las características propias de las baterías de Níquel-Cadmio en trabajos específicos, las hacen más ventajosas que otras baterías industriales. Se encuentran disponibles en recipientes de plástico altamente resistentes al impacto y a los efectos del electrolito.



Figura 28. Baterías de Níquel-Cadmio

Fuente: <http://www.mei-telecom.com/baterias-niquel-cadmio.html>

2.5.4.4 Baterías serie-paralelo

Las baterías pueden conectarse de diferentes formas

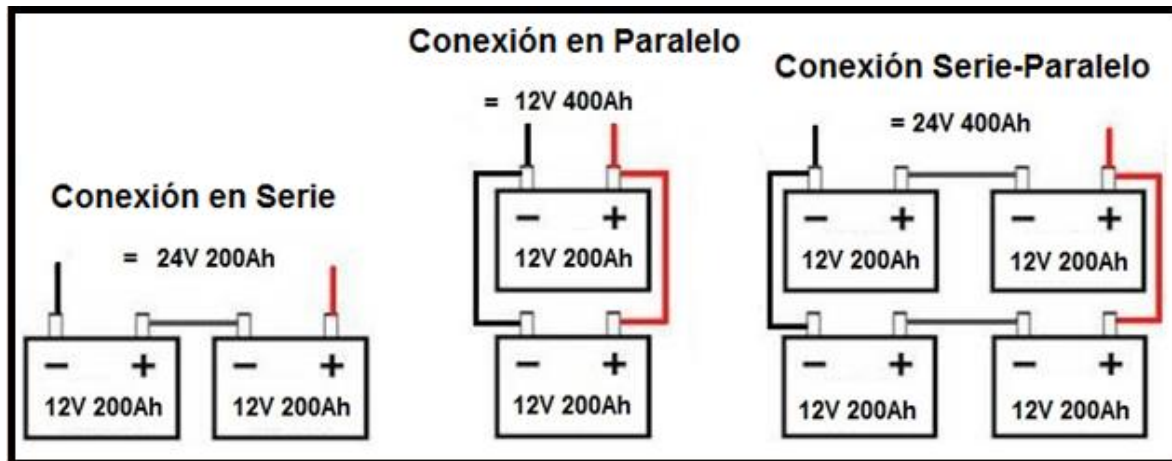


Figura 29. Conexión de baterías serie-paralelo

Fuente: <https://bateriasyamperios.com/conexiones-en-serie-y-en-paralelo-para-varias-baterias/>

2.5.5 Inversor

Dispositivo electrónico que tiene la función de transformar la corriente continua (de 12, 24 o 48 V) generada por las placas fotovoltaicas y es acumulada en las baterías para que después sea entregada, en corriente alterna (127 V y 60 Hz) a los aparatos eléctricos que la necesitan.



Figura 30. Inversor

Fuente:

<https://grupoindustronic.com/inversores-solares/>

2.5.5.1 Funcionamiento de los inversores

Los inversores se pueden utilizar en sistemas interconectados y en sistemas tipo isla.

Los inversores solares pueden ir conectados directamente a la línea eléctrica (CFE), el inversor se encarga de monitorear el volumen, la línea de la instalación eléctrica y la frecuencia, y de esta manera produce una onda senoidal la cual iguala al de la compañía suministradora pero con un mayor volumen.

Cuando los paneles se conectan a un inversor para un sistema de generación interconectado al medidor de luz reducirá su velocidad de giro, en caso de que no haya mucha demanda eléctrica detendrá el medidor o lo hará marcar en sentido contrario.

Los inversores disponen de un sistema automatizado, lo cual crea una sincronización con la red eléctrica, por lo tanto su prioridad es hacer un seguimiento muy detallado de cualquier cambio en la red. Mediante un circuito analógico realiza un control de la red, esto permite ajustes al sistema, mediciones de tensión, corriente y factor de potencia.

Durante la noche el inversor permanece apagado vigilando los valores del generador fotovoltaico, una vez que hay energía generada por los paneles solares el inversor empieza a inyectar energía eléctrica a la red, siempre y cuando la potencia generada supere un valor umbral o mínimo.

Los inversores tienen entrada de CD para recibir la energía que proporcionan las celdas solares, y una salida en CA para conectarse a la línea que se va a alimentar.

2.5.6 Cableado

Los cables juegan un papel muy importante para asegurar que un proyecto solar exitoso trabaje bien. Para la selección de un buen cableado se necesitan las siguientes características:

- El cable que se utiliza para interconectar celdas debe ser resistente a la luz solar.
- Los cables que bajan hacia las baterías deben estar cubiertos para la intemperie.
- Debe ser resistente a la corrosión y humedad.

2.5.6.1 Tipos de cables

Tipo de cable	Nombres
AC	Cable armado
MC	Cable forrado de metal
NM, NM-C	Cable con cubierta no metálica
UF	Alimentador subterráneo y cable de circuito elevado
USE	Acometida subterránea
TC	Cable de fuerza y control en charola

Tabla 2. Tipos de cables

Fuente: https://energypedia.info/images/0/0b/Guía_de_instalación_de_SFD_-_2013.pdf

Hay tres tipos de cables que se requiere considerar, y son:

- ❖ Cables para el arreglo solar

Estos cables conectan entre si los paneles solares; a su vez, conectan el arreglo solar con el controlador. Se compran por rollo para dar longitudes requeridas, y deben ser resistentes a los rayos ultravioleta.

- **Alambre o cable TW**, se usa en instalaciones fijas, edificaciones, interior de locales con ambientes secos o húmedos.



Figura 31. Cable tipo TW

Fuente: https://energypedia.info/images/0/0b/Guía_de_instalación_de_SFD_-_2013.pdf

- **Alambre o cable THW**, es recomendado para altas temperaturas (expuesto al sol) o en lugares con alto nivel de humedad ambiental.



Figura 32. Cable tipo THW

Fuente: https://energypedia.info/images/0/0b/Guía_de_instalación_de_SFD_-_2013.pdf

- **Cable mellizo**, son apropiados para instalaciones en áreas no peligrosas, como conductores para los aparatos domésticos fijos, lámpara colgante o fija. Por lo general, se usan en instalaciones eléctricas visibles, en lugares secos. El calibre no debe ser inferior al N° 16 AWG.



Figura 33. Cable mellizo

Fuente: https://energypedia.info/images/0/0b/Guía_de_instalación_de_SFD_-_2013.pdf

- **Cordones flexibles vulcanizados**, están compuestos por uno o más conductores. Los cables flexibles son fáciles de maniobrar en espacios reducidos y se pueden enrollar y transportar con facilidad. Por su flexibilidad pueden soportar movimientos o vibraciones que se presentan en algunas aplicaciones específicas.



Figura 34. Cable flexible

Fuente: https://energypedia.info/images/0/0b/Guía_de_instalación_de_SFD_-_2013.pdf

❖ Cables para las baterías

Cuando se usan arreglos de baterías en serie, paralelo o serie-paralelo, se utilizan cables de baterías para conectarlas entre sí. También, sirven para conectar las baterías al controlador solar y al inversor. Estos cables con frecuencia son suministrados por los fabricantes de baterías, aunque se pueden adquirir por separado.

❖ Conductores para la instalación eléctricas

Los conductores eléctricos son los elementos que conducen la corriente eléctrica a las cargas o que interconectan los mecanismos del sistema fotovoltaico. Los conductores están compuestos por dos elementos básicos: el conductor y el aislamiento.

Se pueden usar conductores de tipo estándar, normalmente usados en las instalaciones eléctricas convencionales, dependiendo de si los aparatos por alimentar operan con corriente directa (CD) o con corriente alterna (CA), mientras se usa un inversor para alimentar los aparatos. En corriente directa de 12V o 24V.

Identificación de los conductores. El color del conductor permite su fácil identificación e instalación.

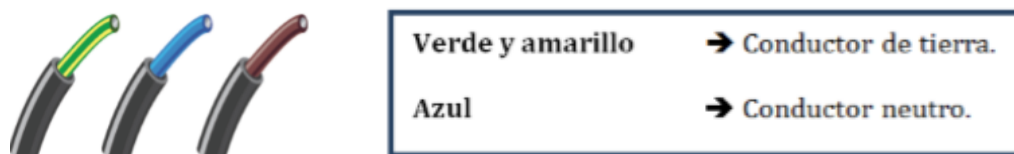


Figura 35. Conductores eléctricos

Fuente: https://energypedia.info/images/0/0b/Guía_de_instalación_de_SFD_-_2013.pdf



2.5.6.2 Tipos de conductores

Tipo	Temperatura y aplicación	Máxima provisión	Tipo de localidad	Aislamiento	Cubierta exterior
THHN	Termoplástico resistente al calor	90°C	Seco o húmedo	Termoplástico retardante de flama, resistente al calor	Cubierta de nylon
THW	Termoplástico resistente a la humedad	75-90°C	Seco o húmedo	Termoplástico retardante de flama, resistente a la humedad y calor	Ninguno
THWN	Termoplástico resistente a la humedad	75°C	Seco o húmedo	Termoplástico retardante de flama, resistente a la humedad y calor	Cubierta de nylon
TH	Termoplástico resistente a la humedad	60°C	Seco o húmedo	Termoplástico retardante de flama, resistente a la humedad y calor	Ninguno
UF	Conductor para alimentar y circuito derivado (sencillo)	60-75°C	Acometida	Resistente al calor y la humedad	Integrado con el aislamiento
USE	Conductor sencillo para cometida subterránea	75°	Acometida	Resistente al calor y humedad, cubierta no metálica	Resistente a la humedad.

Tabla 3. Conductores eléctricos

Fuente: <https://masvoltaje.com/blog/tipos-de-cables-electricos-que-existen-n12>



2.6 Ventajas y desventajas de un sistema fotovoltaico

Ventajas	<ul style="list-style-type: none">❖ Fuente de energía inagotable y gratuita.❖ Escaso impacto ambiental. Silenciosa.❖ Resistencia a condiciones climáticas extremas: granizo, viento, etc.❖ Disponibilidad en todo el mundo.❖ No requiere mantenimiento complejo, sólo limpieza del módulo fotovoltaico y estado de las baterías. Una vez instalada, el costo de mantenimiento es reducido.❖ No consume combustible.❖ No hay dependencia de la compañía suministradora.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none">• Las baterías utilizadas contienen componentes químicos peligrosos.• Puede afectar a los ecosistemas por la extensión ocupada por los paneles en grandes instalaciones.• Depende de factores climáticos.• El costo de los sistemas fotovoltaicos aislados es más del doble en comparación con los sistemas interconectados.

Tabla 4. Ventajas y desventajas de un sistema fotovoltaico

Fuente: <http://www.anelosolar.com/ventajas-e-inconvenientes-de-la-energia-solar-fotovoltaica/>

CAPÍTULO 3. DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO

Se propone abastecer de energía eléctrica a un compresor que tiene una potencia de 370W en la Unidad Acuícola Experimental con un sistema fotovoltaico autónomo.

El diseño incluye el análisis de la demanda energética, el cálculo del número de módulos fotovoltaicos, cálculo de baterías, cálculo del regulador de carga, la selección del inversor fotovoltaico y el cálculo de la sección de los cables.

Durante las horas solares pico, los paneles fotovoltaicos captan la mayor cantidad de radiación solar para poder generar energía eléctrica en forma de corriente continua, esta energía es conducida hacia un regulador o controlador de carga, el cual tiene la función de enviar toda esta energía hasta el banco de baterías, en donde es almacenada; la energía es recogida y conducida hasta un inversor el cual convertirá la corriente directa (CD) en corriente alterna (CA).

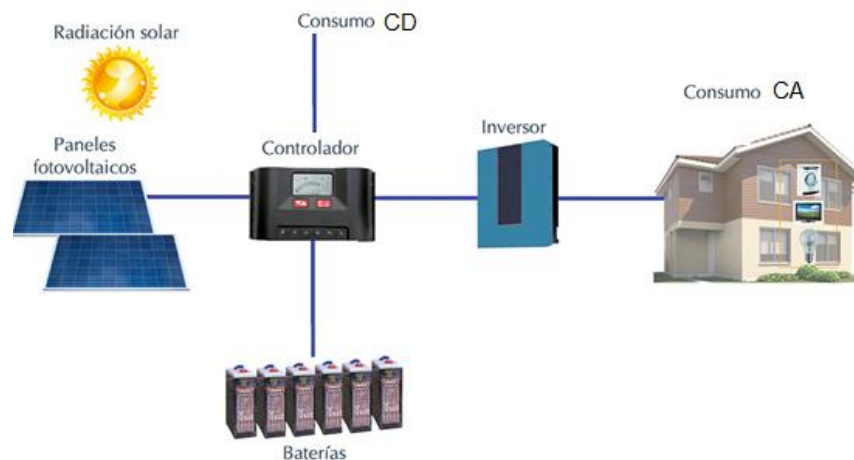


Imagen 1. Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo
Fuente: <https://bester.energy/blog/aplicaciones-sistemas-energia-fotovoltaica-aislados/>

3.1 Localización

La Unidad Acuícola Experimental se encuentra ubicada dentro de las instalaciones de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza UNAM Campus II, Batalla 5 de mayo s/n esquina Fuerte de Loreto, Col. Ejército de Oriente, Iztapalapa C.P. 09230, Ciudad de México; con las siguientes coordenadas:

Latitud (ϕ)	19° 22' 20.1" N	19.372250
Longitud (λ)	99° 02' 07.2" O	-99.035333
Altitud	2257 m	

Tabla 5. Ubicación de Unidad Acuícola Experimental FES Zaragoza UNAM

Fuente: <https://www.google.com.mx/maps>

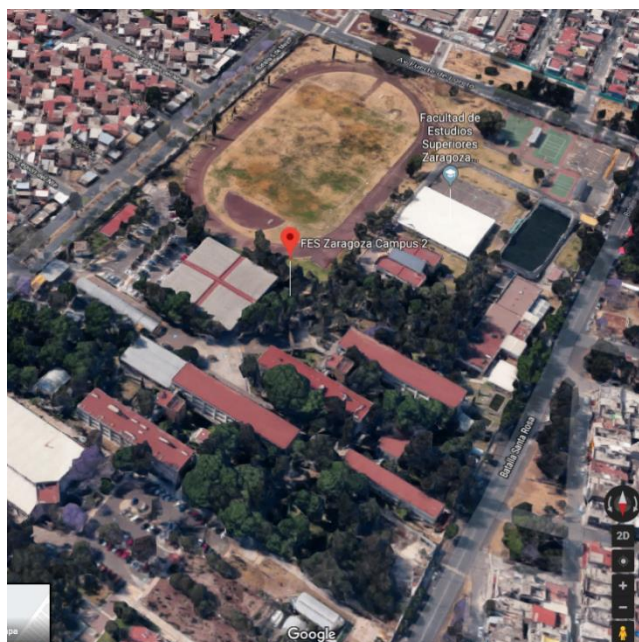


Imagen 2. Mapa satelital 3D FES Zaragoza C-II UNAM

Fuente: <http://google maps>, Imágenes 2019, Datos del mapa 2019 INEGI México.

3.2 Características del compresor

I. Compresor Resun GF-370

- ❖ Voltaje: AC110-120v
- ❖ Frecuencia: 50/60HZ
- ❖ Potencia: 370W
- ❖ Flujo de aire: 620 L/min - 37,200 L/h
- ❖ Peso: 12 kg
- ❖ Dimensiones: 22 x 25 x 26 cm
- ❖ Presión: 11.0/ 10 KPa
- ❖ Compresor de turbina



Figura 36. Compresor Resun GF-370

Fuente: <https://aquatropical.net/presta/blowers-o-turbinas/144-resun-gf-370-620-lts.html>

3.3 Horas solares pico

Para conocer la energía producida a través de los módulos es necesario saber el lugar de la instalación y el ángulo de inclinación que estarán los módulos fotovoltaicos.



Para sistemas fotovoltaicos autónomos se recomienda una inclinación de panel igual a la Latitud + 15°, esto con la finalidad de aprovechar al máximo la radiación solar.

Ángulo de inclinación: $19^\circ + 15^\circ = 34^\circ$

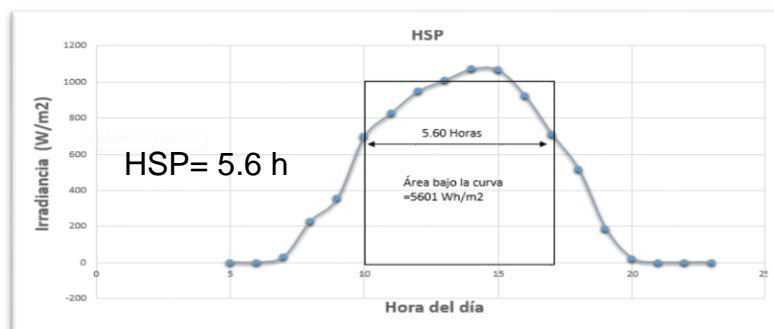
Se continúa a encontrar los datos de la radiación solar según el ángulo de inclinación calculado:

MESES	RADIACIÓN PROMEDIO MENSUAL A DIFERENTES INCLINACIONES (KWh/m ² /día)				
	0°	4°	19°	34°	90°
Enero	4.75	5	5.77	6.2	4.66
Febrero	5.44	5.65	6.21	6.42	4.13
Marzo	6.47	6.61	6.86	6.73	3.24
Abril	6.38	6.41	6.28	5.82	1.98
Mayo	6.2	6.16	5.77	5.14	1.53
Junio	5.57	5.61	5.58	5.27	2.32
Julio	5.48	5.51	5.45	5.12	2.14
Agosto	5.29	5.28	5.11	4.68	1.67
Septiembre	4.9	4.95	4.98	4.76	2.21
Octubre	4.87	5	5.31	5.34	3.11
Noviembre	4.79	5.02	5.69	6.03	4.3
Diciembre	4.34	4.57	5.28	5.68	4.28
Promedio anual	5.373333	5.48083333	5.69083333	5.59916667	2.96416667 ²

Tabla 6. Datos de la radiación solar promedio mensual incidente sobre una superficie orientada hacia el Ecuador, a diferentes grados de inclinación

Fuente: CCH ORIENTE UNAM, 2018

❖ Grafica de las horas solares pico



Gráfica 1. Hora solar pico (HSP)

Fuente: Elaboración propia

² Los datos de la radiación solar en México se encuentran en el ANEXO 2



3.4 Temperatura ambiental media, mínima y máxima del sitio de ubicación del panel e índice de claridad (KT)

Las temperaturas ambientales media, mínima y máxima del lugar en donde se instalarán los paneles solares son esenciales para conocer voltajes e intensidades mínimas y máximas que manejaran los módulos.

A continuación se muestra en la tabla 7, las temperaturas registradas en la zona por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) México, a través de la Red de Estaciones Climatológicas (Estación más cercana y en funcionamiento 00015050):

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL
NORMALES CLIMATOLÓGICAS
PERIODO: 1981-2010

ESTACION: 00015050 LOS REYES LATITUD: 19°21'28" N. LONGITUD: 098°59'30" W. ALTURA: 2,248.0 MSNM.

ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MAXIMA													
NORMAL	20.0	22.3	24.8	27.0	27.5	26.6	25.1	25.5	24.9	25.0	23.9	23.1	24.6
MAXIMA MENSUAL	26.3	26.8	28.5	29.7	31.5	37.3	32.7	33.5	32.8	32.4	32.4	32.3	
AÑO DE MAXIMA	2006	2006	2002	2008	2010	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007	
MAXIMA DIARIA	29.0	29.0	33.5	34.0	34.0	43.0	38.0	37.0	38.0	39.0	35.0	34.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	20/2006	19/2006	20/2002	29/2002	02/1983	03/2007	01/2007	06/2007	25/2007	03/2007	14/2007	03/2007	
AÑOS CON DATOS	17	16	17	16	16	16	16	16	17	17	17	16	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	12.0	13.7	16.1	18.4	19.3	19.1	18.1	18.2	17.7	17.1	14.7	13.9	16.5
AÑOS CON DATOS	17	16	17	16	16	16	16	16	17	17	17	16	
TEMPERATURA MINIMA													
NORMAL	4.0	5.1	7.4	9.9	11.0	11.5	11.2	11.0	10.5	9.2	5.5	4.7	8.4
MINIMA MENSUAL	0.8	0.3	1.4	2.7	4.6	5.2	5.5	4.9	4.5	1.9	-0.1	-0.9	
AÑO DE MINIMA	2005	2005	2005	2007	2007	2007	2005	2007	2005	2007	2007	2007	
MINIMA DIARIA	-4.0	-2.0	-2.5	-2.0	1.0	3.0	4.0	3.0	1.0	-5.0	-4.0	-3.0	
FECHA MINIMA DIARIA	14/1986	05/2005	14/2005	01/2005	06/2010	01/2007	06/2005	09/2007	27/2007	25/2007	05/2007	01/2005	
AÑOS CON DATOS	17	16	17	16	16	16	16	16	17	17	17	16	
PRECIPITACION													
NORMAL	8.4	12.7	13.2	25.2	41.5	90.7	98.7	97.2	79.7	34.7	6.6	1.3	509.9
MAXIMA MENSUAL	26.5	79.6	63.2	72.4	124.9	252.5	198.2	210.6	158.6	110.8	41.0	10.0	
AÑO DE MAXIMA	2004	2010	2009	2005	2001	1986	2010	2005	2009	1981	2006	2001	
MAXIMA DIARIA	22.0	26.0	53.0	37.5	22.0	51.9	25.8	57.4	35.6	45.8	21.0	4.1	
FECHA MAXIMA DIARIA	18/1983	03/2010	24/2009	05/2002	05/2001	29/1985	23/1987	29/2009	04/1988	24/1983	12/2006	26/2001	
AÑOS CON DATOS	17	16	17	16	16	16	16	16	17	16	17	16	
EVAPORACION TOTAL													
NORMAL	125.2	134.7	194.1	210.5	198.7	158.1	138.7	159.8	136.8	136.5	120.6	113.0	1,826.7
AÑOS CON DATOS	12	10	11	10	11	11	11	10	13	12	12	11	
NUMERO DE DIAS CON LLUVIA													
NORMAL	1.9	2.6	3.1	4.8	9.0	13.2	16.9	14.3	12.8	5.9	3.5	0.7	88.7
AÑOS CON DATOS	17	16	17	16	16	16	16	16	17	16	17	16	
NIEBLA													
NORMAL	1.3	0.9	0.2	0.3	0.0	0.3	0.5	0.1	0.4	0.9	1.5	0.5	6.9
AÑOS CON DATOS	14	13	14	12	13	13	13	13	14	14	14	13	
GRANIZO													
NORMAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AÑOS CON DATOS	14	13	14	12	13	13	13	13	14	14	14	13	
TORRENTA E.													
NORMAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AÑOS CON DATOS	14	13	14	12	13	13	13	13	14	14	14	13	

Tabla 7. Registro de temperaturas mínimas, máximas y media por la Comisión Nacional del Agua en el período 1981-2010

Fuente: https://smn.conagua.gob.mx/es/?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75



De la tabla anterior se muestran los siguientes datos:

- Temperatura máxima diaria (T°máx.): Junio (43 °C).
- Temperatura mínima diaria (T°mín.): Octubre (-5.0 °C).
- Temperatura media (T°med.): 16.5 °C.

Par conocer el índice de claridad (KT)³, se relacionan los datos anteriores con la tabla 8.

```

|---BEGIN HEADER---
NASA/POWER SRB/FLASHFlux/MERRA2/ 0.5 x 0.5 Degree Climatologies
22-year Additional Solar Parameter Monthly & Annual Climatologies (July 1983 - June 2005), 30-year Meteorological and Solar Monthly & Annual Climatologies
(January 1984 - December 2013)
Location: Latitude 19.3715 Longitude -99.0353
Elevation from MERRA-2: Average for 1/2x1/2 degree lat/lon region = 2353.12 meters Site = na
Climate zone: na (reference Briggs et al: http://www.energycodes.gov)
Value for missing model data cannot be computed or out of model availability range: -999
Parameter(s):
KT SRB/FLASHFlux 1/2x1/2 Insolation Clearness Index (dimensionless)
SI_EF_TILTED_SURFACE SRB/FLASHFlux 1/2x1/2 Solar Irradiance for Equator Facing Tilted Surfaces (Set of Surfaces) (kW-hr/m^2/day)
SI_EF_OPTIMAL SRB/FLASHFlux 1/2x1/2 Solar Irradiance Optimal (kW-hr/m^2/day)
SI_EF_OPTIMAL_ANG SRB/FLASHFlux 1/2x1/2 Solar Irradiance Optimal Angle (degrees)
SI_EF_TILTED_ANG_ORI SRB/FLASHFlux 1/2x1/2 Solar Irradiance Tilted Surface Orientation (N/S Orientation)
Note(s):
Northward facing tilted surfaces are designated negative (-)
PARAMETER JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC ANN
|---END HEADER---
KT 0.63 0.66 0.67 0.62 0.58 0.52 0.50 0.51 0.50 0.56 0.62 0.63 0.58
SI_EF_TILTED_SURFACE_0 4.75 5.44 6.47 6.38 6.20 5.57 5.48 5.29 4.90 4.87 4.79 4.34 5.37
SI_EF_TILTED_SURFACE_19 5.77 6.21 6.86 6.28 5.77 5.58 5.45 5.11 4.98 5.31 5.69 5.28 5.69
SI_EF_TILTED_SURFACE_34 6.20 6.42 6.73 5.82 5.14 5.27 5.12 4.68 4.76 5.34 6.03 5.68 5.60

```

Tabla 8. Datos registrados de índice de claridad KT, Enero 1984 – Diciembre 2013 (NASA).

Fuente: https://power.larc.nasa.gov/downloads/POWER_SinglePoint_Climatology_019d37N_99d40W_ab7cd3ce.txt

Valores de Temperaturas e índices de claridad respectivos:

- KT=0.52 @ T°máx.
- KT=0.56 @ T°mín.
- KT=0.58 @ T°med.

³ Mide la transparencia de la atmósfera, y en él se apoyan la mayoría de los métodos para estimar la radiación sobre superficies inclinadas.



3.5 Cálculo del sistema fotovoltaico autónomo para el compresor “Resun GF-370”

3.5.1 Demanda energética

Se muestra a continuación en la tabla 9 los requerimientos eléctricos del compresor en la Unidad Acuícola Experimental de la FES Zaragoza Campus II:

Equipo	Cantidad	Potencia (Watts) CA	Potencia pico de arranque ⁴ (Watts)	Tiempo en funcionamiento (h)	Consumo total de energía (Wh/día)
Compresor Marca “Resun GF-370”	1	370	1,110	24	8,880

Tabla 9. Consumo energético

Fuente: Elaboración propia

Para conocer el consumo diario promedio en CA:

$$\begin{aligned}\text{Consumo total de energía diaria promedio CA} &= \text{Potencia} * \text{Tiempo de uso} \\ &= 370W * 24h = 8,880Wh/día\end{aligned}$$

3.5.2 Baterías

Las baterías “CALE Solar” ácido-plomo de ciclo profundo, son ampliamente usadas en sistemas fotovoltaicos aislados por su costo y alta disponibilidad en el mercado. Siendo baterías hechas en México.

Se elige una batería con una capacidad de 115 Ah, para lograr manipularlas de manera manual y sencilla durante la instalación del banco de baterías (baterías de mayor amperaje pueden llegar a pesar hasta más 50Kg).

⁴ Potencia pico de arranque: Proceso de poner en marcha el motor, el rango promedio es 3 veces la potencia nominal del equipo.



Figura 37. Batería " CALE Solar 12V 115 "

Fuente: <https://www.calesolar.com>

Las características de la batería son las siguientes:

MODELO	VOLTAJE NOMINAL	CAPACIDAD NOMINAL (Ah)	CAPACIDAD DE DESCARGA	DIMENSIONES (cm) L x W x H
L-31T/S-190M	12 V	115 Ah @ 20hrs	60%	33 x 17.2 x 23.9

Tabla 10. Características de Batería " CALE Solar 12V 115 Ah"

Fuente: <https://www.calesolar.com>

3.5.2.1 Cálculo de baterías

Eficiencia del banco de baterías = 85%⁵

N=días de autonomía⁶=2

Para la selección del voltaje de sistema se debe conocer la potencia del pico de arranque: 1,110 W

- Sistemas menores a 1000 Wh/día = 12 Volts en corriente directa (VCD)
- Sistemas mayores de 1000 Wh/día = 24 o 48 VCD
- Sistemas de 48 VCD cuando se cuente con equipos de motor en la demanda energética del sistema.

Por lo tanto la selección del voltaje del sistema es: 48 VCD

⁵ Juan Carlos Vega de Kuyper. (2018). Principios y Aplicaciones de Energía Fotovoltaica y de las Baterías. Santiago, Chile: Ediciones UC.

⁶ **Los días de autonomía** se seleccionan a partir de los rangos más largos de días sin sol, en la Ciudad de México se recomiendan de 2 a 3 días. Información brindada por ENERGÍA SOLAR MODULAR, SA DE CV.



Para conocer el número total de baterías se procede a calcular lo siguiente:

▪ **Amp-h/día Promedio (Ah/día)**

Carga Diaria Promedio CA (Wh/día)	÷	Eficiencia del Inversor ⁷ (%)	+	Carga Diaria Promedio CD (Wh/día)	÷	Voltaje CD del Sistema (Volts)	=	Amp-h/ día Promedio (Ah/día)
8,880		90		0		48		205.6

▪ **Baterías en paralelo**

Amp-h/ día Promedio (Ah/día)	X	Días de Autonomía (Días)	÷	Límite de Descarga DOD (%)	÷	Capacidad de las Baterías (Ah)	=	Baterías en Paralelo (Unidades)
205.6		2.00		60		115		6

▪ **Baterías en serie**

Voltaje CD del Sistema (Volts)	÷	Voltaje de cada Batería (Volts)	=	Baterías en Serie (Unidades)
48		12.0		4

▪ **Total de baterías**

Baterías en Serie (Unidades)	x	Baterías en Paralelo (Unidades)	=	Total de Baterías (Unidades)
4		6		24

3.5.3 Módulos fotovoltaicos

Para aprovechar la máxima eficiencia de los módulos es necesario conocer el siguiente dato del lugar de instalación:

- Conocer la superficie para instalación de paneles
- Disponibilidad de la superficie:

El edificio A- 500 de la FES Zaragoza campus II, cuenta con una superficie en su azotea de aproximadamente 870.68 m².

⁷ Scheckel, Paul. (2007) "Efficiency Details for a Clean Energy Change," (pp. 40-45) Canadá: Home Power

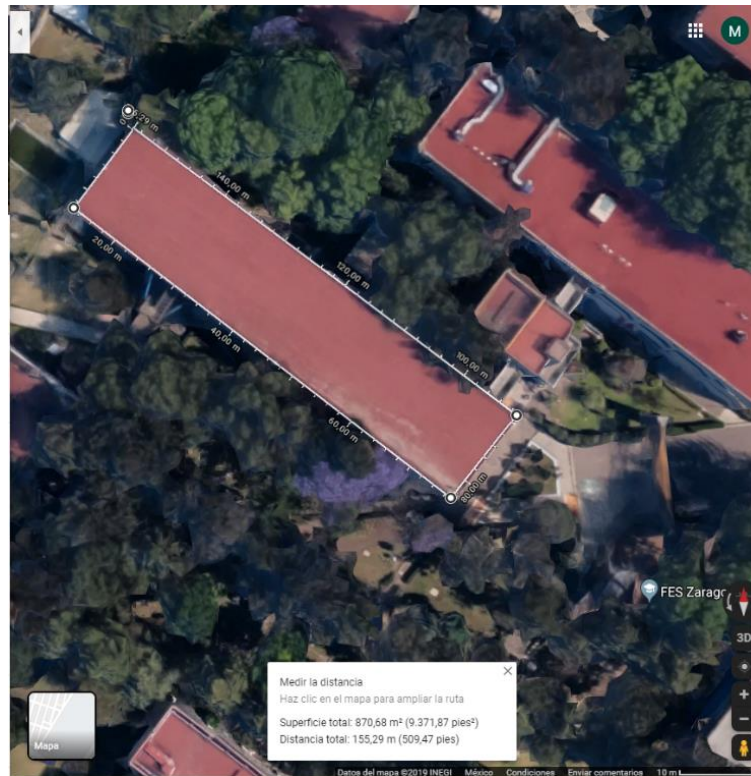


Imagen 3. Mapa satelital edificio A-500 FES Zaragoza C-II UNAM

Fuente: <http://google maps>, Imágenes 2019, Datos del mapa 2019 INEGI México.

Para la selección del módulo fotovoltaico, en caso de que la superficie de instalación sea limitada, se deberán elegir:

- Módulos solares monocristalinos ya que tienen una eficiencia mayor.

Si por el contrario no se tienen problemas de espacio, se puede optar por:

- Módulos solares policristalinos compensando su menor eficiencia con una mayor superficie de instalación del módulo.

Se pueden elegir paneles de diferentes potencias (50W, 100W, 270W, 385W, entre otros), si se eligen:

- Módulos de **potencias pequeñas** habrá que colocar un **mayor número de módulos** para llegar a la potencia necesaria de acuerdo al consumo requerido.
- Si por otro lado se eligen módulos de **potencias grandes**, se tendrá un **número menor número de módulos** pero habrá que considerar el peso y dimensiones por módulo, siendo una situación a considerar al momento de montar el equipo.

Por lo tanto al no tener limitaciones de superficie se opta por elegir módulos solares policristalinos y se eligen paneles de 270W, los cuales pueden ser manipulados fácilmente por el técnico en el montaje e instalación del sistema, además de facilitar otros factores como el transporte del equipo.

Los módulos Canadian solar han tenido una aceptación positiva en el mercado, ofreciendo una amplia gama de paneles (monocristalinos - policristalinos) contando con diversos certificados internacionales que avalan la calidad de su producto. Por lo que se consideró una marca confiable para la selección.

8

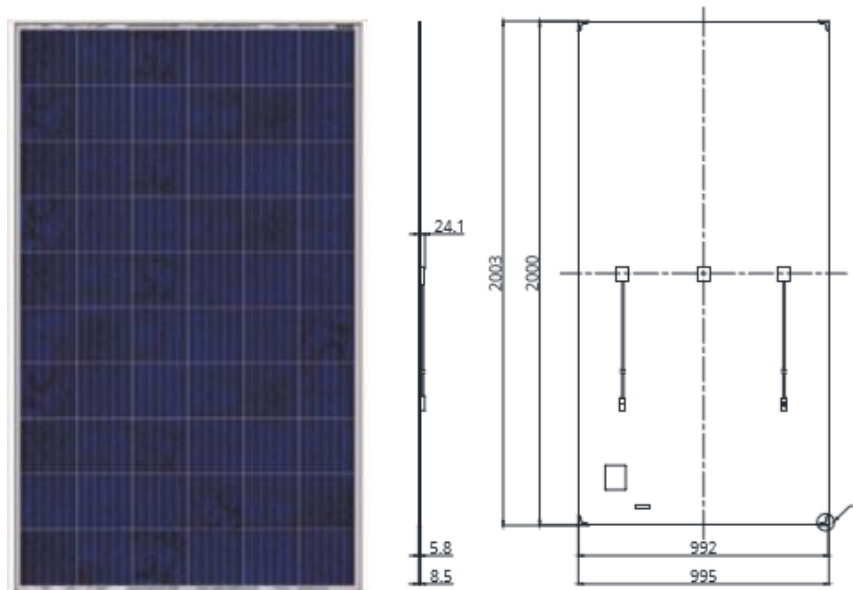


Figura 38. Panel solar “CS6K-270P”

Fuente: <https://www.canadiansolar.com>

⁸ NOTA: Las medidas del panel se encuentran en mm

Características del módulo fotovoltaico:

Datos del Módulo FV a STC ⁹	CS6K-270P	
Potencia	270	W
Voc	37.9	VDC
Vmp	30.8	VDC
Isc	9.32	ADC
Imp	8.75	ADC
Coef. De temp. De potencia (ctp):	-0.4	% / °K
Coef. De temp. De voltaje (ctv):	-0.31	% / °K
Coef. De temp. De corriente (cti):	0.05	% / °K
NOCT ¹⁰	43	°C

Tabla 11. Módulo fotovoltaico “CanadianSolar” CS6K-270P

Fuente: <https://www.canadiansolar.com>

3.5.3.1 Cálculo de módulos fotovoltaicos

❖ Cálculos de efectos por temperaturas ambientales en el panel fotovoltaico:

Las temperaturas del lugar de instalación de los módulos fotovoltaicos inciden directamente sobre las características de voltaje e intensidad del panel. A continuación se muestran las temperaturas del sitio mínima, máxima y media e índice de claridad (KT) que interactúan sobre el panel.

Datos:

Ángulo de inclinación (SM)	$SM = 34^\circ$
Coeficiente térmico ¹¹	$Cf = 1.0$
Temperatura ambiente del día	$T_{amb. día} = T^{med} + 4^\circ = 20.5^\circ C$
Temperatura a condiciones de prueba estándar	$T_{stc} = 25^\circ C$
Índice de claridad (KT)	$KT_{med, mín, máx} = 0.58 / 0.63 / 0.52$
Radiación incidente	$Ri = 800 W/m^2$

⁹ Condiciones de prueba estándar a 25°C

¹⁰ Temperatura de operación normal de la celda

¹¹ W.R.ANIS, R.P. MERTENS AND R.J.VAN OVERSTRAETEN (1985) "Calculation of Solar Cell Operating Temperature in a Fiat Píate PV array". Proc. 5th E.C. Photovolt, Solar Energy. Cobnference. Pp 520-524



Temperatura del módulo promedio (T_{mprom})

$$= (219 + (832 * KT \text{ med.})) * \frac{Noct - 20}{Ri} * Cf + T_{amb. \text{ día}} = 40.7 \text{ °C}$$

Temperatura del módulo mínima ($T_{mmín}$)

$$= (219 + (832 * KT \text{ mín.})) * \frac{Noct - 20}{Ri} * Cf + T_{mín.} = 21.7 \text{ °C}$$

Temperatura del módulo máxima ($T_{mmáx}$)

$$= (219 + (832 * KT \text{ máx.})) * \frac{Noct - 20}{Ri} * Cf + T_{máx.} = 61.7 \text{ °C}$$

Voltajes e intensidades a temperaturas mínimas y máximas del módulo fotovoltaico:

Conociendo las temperaturas promedio, mínimo y máxima del sitio a las que serán expuestos los módulos según el lugar de instalación, se muestran en seguida los efectos de la temperatura sobre el voltaje, intensidad y potencia mínimos y máximos del panel.

Los cálculos se realizan con base a los datos obtenidos anteriormente.

- I. Voltaje en circuito abierto a temperatura mínima ($V_{oc} T^{\circ} \text{mín}$):

$$V_{ocTmín} = V_{oc} x [1 + (T_{mmín} - T_{stc}) x C_{tv}] = 38.29 \text{ VCD}$$

- II. Voltaje en circuito abierto a temperatura máxima ($V_{oc} T^{\circ} \text{máx}$):

$$V_{ocTmáx} = V_{oc} x [1 + (T_{mmáx} - T_{stc}) x C_{tv}] = 33.59 \text{ VCD}$$

- III. V_{mp} a temperatura máxima en operación ($V_{mp} T^{\circ} \text{máx}$):

$$V_{mpTmáx} = V_{mp} x [1 + (T_{mmáx} - T_{stc}) x C_{tv}] = 27.30 \text{ VCD}$$

- IV. V_{mp} a temperatura mínima en operación ($V_{mp} T^{\circ} \text{mín}$):

$$V_{mpTmín} = V_{mp} x [1 + (T_{mmín} - T_{stc}) x C_{tv}] = 31.12 \text{ VCD}$$

- V. V_{mp} a temperatura prom. de los módulos en operación ($V_{mp} \text{ Prom}$):

$$V_{mp \text{ prom}} = V_{mp} x [1 + (T_{mprom} - T_{stc}) x C_{tv}] = 29.30 \text{ VCD}$$

- VI. I_{mp} a temperatura prom. de los módulos en operación ($I_{mp} \text{ Prom}$):

$$I_{mp \text{ prom}} = I_{mp} x [1 + (T_{mprom} - T_{stc}) x C_{ti}] = 8.82 \text{ ACD}$$

- VII. I_{mp} a temperatura mín. de los módulos en operación ($I_{mp} T^{\circ} \text{mín}$):

$$I_{mpTmín} = I_{mp} x [1 + (T_{mmín} - T_{stc}) x C_{ti}] = 8.74 \text{ ACD}$$



VIII. I_{sc} a temperatura máx. de los módulos en corto circuito ($I_{sc} T^{\circ}máx$):

$$I_{sctmáx} = I_{sc} \times [1 + (T_{mmáx} - T_{stc}) \times C_{ti}] = 9.49 \text{ ACD}$$

IX. Potencia a temperatura promedio de los módulos ($P_{prom} T^{\circ}prom$):

$$P_{prom} = V_{mp\ prom} \times I_{mp\ prom} = 258.43 \text{ W}$$

X. Potencia máxima a temperatura mínima de los módulos ($P_{máx} T^{\circ}mín$):

$$P_{máx} = V_{mptmín} \times I_{mptmín} = 271.99 \text{ W}$$

Estos cálculos nos permiten dar un rango para la selección del regulador de carga, ya que tiene que estar dentro de estos parámetros.

❖ Eficiencia de módulos a temperatura promedio

Las especificaciones técnicas del panel fotovoltaico se encuentran a condiciones de prueba estándar (25°C). Para conocer la eficiencia real por efecto de temperatura promedio se realiza lo siguiente:

Datos:

- Potencia a T° prom. de módulo (P_{prom}) = 258.43W
- Potencia a condiciones estándar (P_{stc}) = 270.00W

$$\text{Eficiencia por temperatura} = \frac{P_{prom}}{P_{stc}}$$

$$\text{Eficiencia por temperatura} = 0.96$$

❖ Factor de pérdidas de un Sistema FV Autónomo (Equipos y accesorios):

Para el cálculo de los módulos fotovoltaicos necesarios se requiere conocer la eficiencia por temperatura que se calculó anteriormente y el factor de pérdidas del sistema, en la siguiente tabla se muestran las eficiencias recomendadas por equipos y accesorios del sistema fotovoltaico autónomo.



VARIABLE	DEFAULT	MÍN	MÁX	UTILIZADO
Especificaciones en CD de los módulos	0.98	0.80	1.05	0.98
Transformador	0.99	0.96	0.99	1.00
Inversor	0.93	0.88	0.98	0.93
Controlador de carga	0.98	0.95	0.99	0.98
Banco de baterías	0.85	0.80	0.87	0.85
Diferencias entre módulos	0.98	0.97	1.00	0.98
Diodos y conexiones	0.995	0.99	1.00	0.995
Cableado de CD	0.98	0.97	0.99	0.98
Cableado de CA	0.99	0.98	0.99	0.99
Ensuciamiento	1.00	0.30	1.00	1.00
Disponibilidad del sistema	1.00	0.00	1.00	1.00
Incidencia de sombras	1.00	0.00	1.00	1.00
Seguidor de sol	1.00	0.95	1.00	1.00
Condiciones micro climáticas	1.00	0.85	1.00	1.00
Envejecimiento	1.00	0.70	1.00	1.00
TOTAL (EFICIENCIA POR PÉRDIDAS)	0.710			0.718

Tabla 12. Factor de pérdidas de un Sistema FV Autónomo

Fuente: Scheckel, Paul. (2007) "Efficiency Details for a Clean Energy Change," Home Power 121,40-45.

❖ Eficiencia del sistema

La eficiencia del sistema se calcula con los datos obtenidos de la eficiencia de módulos a temperatura promedio y factor de pérdidas del sistema.

$$\text{Eficiencia del sistema} = (\text{Eficiencia por pérdidas}) (\text{Eficiencia por temperatura})$$

$$\text{Eficiencia del sistema} = 68.7\%$$

❖ Número de módulos solares

El número de módulos necesarios se calcula con los datos siguientes:

Datos:

$$\text{Consumo total de energía diaria promedio CA} = 8,880 \text{ Wh/día}$$

$$\text{HSP} = 5.6 \text{ h/día}$$

$$\text{Eficiencia del sistema} = 68.7\% = 0.687$$

$$\text{Potencia nominal de los módulos} = 270W$$

$$\text{Potencia requerida} = \frac{\text{Consumo total de energía diaria promedio CA}}{\text{HSP}} = \left(\frac{8,880 \text{ Wh/día}}{5.6 \text{ h/día}} \right) = 1,586 \text{ W}$$

$$\text{Potencia del sistema FV} = \frac{\text{Potencia requerida}}{\text{Eficiencia del sistema}} = \left(\frac{1,586 \text{ W}}{0.687} \right) = 2,309 \text{ W}$$

$$\text{No. de módulos necesarios} = \frac{\text{Potencia del sistema FV}}{\text{Potencia nominal de los módulos}} \approx 9 \text{ Módulos}$$

3.5.4 Regulador de carga

Los reguladores de carga del tipo MPPT (Punto Máximo de Potencia), son los equipos más utilizados para aplicaciones solares, ya que consiguen aprovechar la máxima potencia de los paneles que pueden ser afectados por diferentes factores como la hora del día, la temperatura e inclusive otros como la estación del año. Normalmente estos equipos permiten una salida de corriente superior.

Se describen a continuación dos principios fundamentales para la selección del regulador de carga:

- I. Seleccionar en base al voltaje nominal del sistema
- II. Seleccionar una potencia del controlador mayor a la potencia del sistema fotovoltaico (FV).

Se eligió un regulador de carga tipo MPPT Outback, el cual aumenta el rendimiento de la energía del arreglo fotovoltaico hasta un 30% en comparación con otros reguladores, cumpliendo con los siguientes requisitos:

- ✓ Voltaje nominal del sistema: 48 V
- ✓ Potencia del regulador de carga: 3,000W > Potencia del sistema FV: 2,309W



Figura 39. Regulador de carga " MPPT Outback FM60"

Fuente: <https://www.conermex.com.mx/catalogo-2019.pdf>

Características del regulador seleccionado:

Regulador MPPT	FM60	
Voltaje Nominal a Baterías	48.0	V
Corriente Máxima a Baterías	60.0	A
Max. Voltaje Entrada PV Voc	145.0	V
Min. Voltaje Entrada Vmp	72.0	V
Máx. Potencia Entrada PV Watts	3,000.0	W
Max. Corriente Entrada PV Isc	60.0	A

Tabla 13. Características del regulador de carga MPPT Outback FM60

Fuente: <https://www.conermex.com.mx/catalogo-2019.pdf>

3.5.4.1 Cálculos del regulador de carga

❖ Arreglo de módulos en serie-paralelo

El llegar hasta este pasó para configurar el arreglo de los módulos fotovoltaicos, permite adaptarse a las características del regulador de carga elegido. El número de módulos necesarios que se calculó en la sección anterior, permitió hacer una estimación rápida.

Número mínimo de módulos en serie por voltaje

Es la cantidad mínima de módulos fotovoltaicos en serie que son permitidos por el regulador de carga seleccionado.

Datos:

- $V_{min\ arranque} = \text{Min. Voltaje entrada } V_{mp} \text{ (regulador de carga)} = 72.00\text{ V}$
- $V_{octm\acute{a}x\ m\acute{o}dulo} = 33.59\text{ V}$

$$No. \text{ m}\acute{i}n \text{ de m}\acute{o}dulos \text{ en serie por voltaje} = (V_{min\ arranque} * 1.1) / V_{octm\acute{a}x\ m\acute{o}dulo}$$

$$No. \text{ m}\acute{i}n \text{ de m}\acute{o}dulos \text{ en serie por voltaje} = 3 \text{ M}\acute{o}dulos$$

Número máximo de módulos en serie por voltaje

Es la cantidad máxima de módulos en serie que son tolerados por el regulador de carga.



Datos:

- $V_{\text{máx entrada}} = \text{Max. Voltaje entrada (regulador de carga)} = 145.00 \text{ V}$
- $V_{\text{ocmín módulo}} = 38.29 \text{ V}$

$\text{No. máx de módulos en serie por voltaje} = V_{\text{máx entrada}} / V_{\text{ocmín módulo}}$

$\text{No. máx de módulos en serie por voltaje} = 3 \text{ Módulos}$

Número máximo de módulos en paralelo por corriente

Es el número de módulos fotovoltaicos máximos en paralelo que permite el controlador de carga.

Datos:

- $\text{Corriente máxima de entrada al regulador} = 60.00 \text{ A}$
- $\text{Corriente a temperatura máxima del módulo } I_{\text{scTmáx}} = 9.49 \text{ A}$

$\text{No. máx de módulos en paralelo por corriente} = \frac{\text{Corriente máxima de entrada al regulador}}{\text{Corriente a temperatura máxima del módulo } I_{\text{sc}}}$

$\text{No. máx de módulos en paralelo por corriente} = 6 \text{ Módulos}$

Núm. máximo de módulos por voltaje y corriente

Es el número de máximo de módulos por voltaje y corriente que puede admitir el controlador de carga.

$= \text{Número máximo de módulos en paralelo por corriente}$
 $* \text{Número máximo de módulos en serie por voltaje}$

$\text{Núm. máximo de módulos por voltaje y corriente} = 18 \text{ Módulos}$

Configuración del arreglo serie-paralelo de módulos

De acuerdo a la potencia requerida (1,586W), se deberán formar los arreglos de los módulos en serie y paralelo, acorde a los límites permisibles de las cantidades mínimas y máximas de módulos por voltaje y corriente calculados en el paso anterior.

Para conocer el número de arreglos se elabora la siguiente tabla evaluando los criterios permitidos del sistema (se requiere interactuar con la tabla con el fin de optimizar el número de reguladores ya que si los arreglos sobrepasan los límites permisibles pueden aumentar el número de reguladores):

				POTENCIA DEL SISTEMA FV: 2.31 KW	
	Módulos en serie	Módulos en paralelo	Módulos totales por voltaje y corriente	Potencia efectiva*	Observaciones
Criterios	Mín.:3 – Máx.:3	Máx.:6	Máx.: 18	Potencia efectiva \geq Potencia requerida	
Arreglos	3	3	9	1,669 W	Se cumple con los criterios mínimos y máximos del número de módulos.

Tabla 14. Arreglos en serie-paralelo de módulos fotovoltaicos

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la configuración seleccionada:

- ❖ *Numero de Módulos Totales por voltaje y corriente = Módulos en serie * Módulos en paralelo*

$$\text{Numero de Módulos Totales por voltaje y corriente} = 9 \text{ Módulos}$$

- ❖ *Potencia real generada =*

$$\frac{\text{Numero de Módulos Totales por voltaje y corriente} * \text{Potencia nominal de módulos}}{1000}$$

$$\text{Potencia real generada} = 2,430 \text{ W}$$

- ❖ *Potencia efectiva¹² =* $\frac{\text{Potencia real generada} * \text{Eficiencia del sistema}}{100}$

$$\text{Potencia efectiva} = 1,669 \text{ W}$$

El arreglo en serie-paralelo de los módulos fotovoltaicos mostrado en la tabla anterior, se encuentra dentro de los límites permisibles por voltaje y corriente, además la potencia efectiva (1,669W) es mayor a la potencia requerida (1,586W), por lo que se selecciona esta configuración.

¹² Potencia efectiva para 1 hora de operación, multiplicada por el HSP= (1.669KW/h)(5.6h/día)= 9.34KW/día de los 8.8 KW requeridos.

- **Arreglos en serie: 3**

$Voltaje_{sistema\ FV}$

$$= Voltaje\ en\ circuito\ abierto\ a\ temperatura\ m\acute{in}ima * N\acute{u}mero\ de\ m\acute{o}dulos\ en\ serie$$
$$= 38.29\ VCD * 3 = 114.87\ VCD$$

- **Arreglos en paralelo: 3**

$Corriente_{sistema\ FV}$

$$= I_{sc}\ a\ temperatura\ m\acute{a}x.\ de\ los\ m\acute{o}dulos\ en\ corto\ circuito$$
$$* N\acute{u}mero\ de\ m\acute{o}dulos\ en\ paralelo = 9.49\ ACD * 3 = 28.47\ ACD$$

3.5.5 Inversor fotovoltaico

Para la selecci3n del inversor se deben considerar los siguientes requerimientos del sistema (ver consumo energ3tico del compresor "Resun GF 370"):

- La potencia del inversor debe ser igual o mayor a la potencia requerida del (los) equipos a los que se les suministrara el servicio el3ctrico:

$$Potencia\ nominal\ del\ equipo : 370\ W$$

- El compresor debe soportar la potencia pico de arranque del (los) equipos:

$$Potencia\ pico\ de\ arranque : 1,110\ W$$

- El voltaje de entrada del inversor debe corresponder al voltaje del sistema fotovoltaico:

$$Voltaje\ de\ Sistema : 48\ VCD$$

- El voltaje de salida del inversor debe admitir el rango de voltaje del (los) equipos a los que se les suministrará energ3a el3ctrica:

$$Voltaje: 110 - 120\ VCA$$

En base a las especificaciones anteriores se continúa a seleccionar el inversor que más se ajuste a los requerimientos.



Figura 40. Inversor "PHOENIX 48/1200"

Fuente: <https://www.victronenergy.com>.



Características del inversor seleccionado:

Inversor	48/1200	
Potencia CA cont. de salida a 25 °C	1200	W
Voltaje de entrada	48	v
Tensión / frecuencia CA de salida	110VAC o 230VAC +/- 3% 50Hz o 60Hz +/- 0,1%	

Tabla 15. Inversor Phoenix 48/1200

Fuente: www.victronenergy.com

3.5.6 Cálculo de la sección de los cables

Para la sección del cableado en los distintos tramos de la instalación fotovoltaica, se utiliza la siguiente ecuación:

$$S = \frac{(2)(L)(I)}{(K)(\Delta V)}$$

Donde:

S = Sección normalizada calculada

L = longitud del cable

I = intensidad de corriente (A)

K = conductividad¹³ $\frac{m}{\Omega mm^2}$

ΔV = caída de tensión

En la siguiente tabla se muestran las caídas típicas de tensión en el cableado

Tramo del Sistema	Caída de tensión máxima (%)
Paneles - Regulador	3
Regulador – Baterías	1
Baterías – Inversor	1

Tabla 16. Guía general para caídas máximas de tensión

Fuente: Style Oliver. (2012). ENERGÍA SOLAR AUTÓNOMA, "Planificación, dimensionado e instalación de un sistemas fotovoltaico autónomo". Estados Unidos: Style Oliver.

¹³ NOTA: Conductividad de cobre = $56 \frac{m}{\Omega mm^2}$ @ 20°C



❖ PANELES – REGULADOR

Datos:

$$L=15 \text{ m}$$

$$K=56 \frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de módulos en paralelo} = 3$$

$$\text{N}^\circ \text{ de módulos en serie} = 3$$

$$I_{\text{sc}}^{\text{máx}} = 9.49 \text{ A}$$

$$\text{Voltaje máximo del módulo (Vmp)} = 30.8$$

$$I_{\text{paneles}} = \text{Número de módulos en paralelo} * I_{\text{sc}}^{\text{máx}} = 28.47 \text{ A}$$

$$V_{\text{sistema FV}} = \text{Voltaje máximo del módulo} * \text{Número de módulos en serie} = 92.4 \text{ V}$$

$$\Delta V = \frac{(\text{Caída de tensión máxima (\%)}_{\text{Paneles - Regulador}}) * (\text{Voltaje de sistema FV})}{100}$$

$$\Delta V = \frac{(3)(92.4\text{V})}{100} = 2.77\text{V}$$

Selección de cableado

$$S = \frac{(2)(L)(I)}{(K)(\Delta V)}$$

$$S = \frac{(2)(15\text{m})(28.47 \text{ A})}{(56 \frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2})(2.772\text{V})} = 5.50 \text{ mm}^2$$

Una vez determinado el valor de la sección normalizada real ir a la tabla de dimensiones de conductores eléctricos (ANEXO 1) y seleccionar el diámetro próximo mayor. Posteriormente seleccionar el calibre AWG¹⁴ del cable con la sección normalizada nominal encontrada.

Por lo tanto:

$$S_{\text{nominal}} = 8.36 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{AWG} = 8$$

¹⁴ Es un estándar de clasificación de diámetros de origen estadounidense. Su significado literal es calibre de alambre estadounidense (del inglés American Wire Gauge), también utilizado en México.



❖ REGULADOR – BATERÍAS

Datos:

$$L=2 \text{ m}$$

$$K=56 \frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2}$$

$$I= 28.47 \text{ A}$$

Tensión del sistema =48V

$$\Delta V = \frac{(\text{Caída de tensión máxima (\%)}_{\text{Paneles - Regulador}}) * (\text{Tensión del sistema})}{100}$$

$$\Delta V = \frac{(1) * (48V)}{100} = 0.48V$$

Selección de cableado

$$S = \frac{(2)(L)(I)}{(K)(\Delta V)}$$

$$S = \frac{(2)(2\text{m})(28.47 \text{ A})}{(56 \frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2})(0.48V)} = 4.23 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{nominal}} = 5.26 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{AWG} = 10$$

❖ BATERÍAS – INVERSOR

Datos:

$$L=2 \text{ m}$$

$$K=56 \frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2}$$

Tensión del sistema =48V

$$I = \frac{\text{Potencia del inversor}}{\text{Tensión del sistema}} = \frac{1200 \text{ W}}{48 \text{ V}} = 25 \text{ A}$$

$$\Delta V = \frac{(\text{Caída de tensión máxima (\%)}_{\text{Paneles - Regulador}}) * (\text{Tensión del sistema})}{100}$$

$$\Delta V = \frac{(1)(48 \text{ V})}{100} = 0.48 \text{ V}$$

Selección de cableado

$$S = \frac{(2)(L)(I)}{(K)(\Delta V)} = \text{mm}^2$$

$$S = \frac{(2)(2 \text{ m})(25 \text{ A})}{(56 \frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2})(0.48 \text{ V})} = 3.72 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{nominal}} = 5.26 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{AWG} = 10$$

3.5.7 Ubicación de los módulos fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos se instalarán en la azotea de las aulas A-500 que cuentan con una superficie aproximada de 870.68 m². Para la instalación de los módulos se requiere un área de 17.93 m².



Imagen 4. Ubicación para la instalación de módulos fotovoltaicos

Fuente:

<https://www.google.com.mx/maps/place/Facultad+de+Estudios+Superiores+Zaragoza+UNAM+Campus+II>



CAPÍTULO 4. COTIZACIONES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO

4.1 Empresas

Para la obtención de cotizaciones se contactó a 3 empresas las cuales en base a su experiencia, capacidad instalada y servicio, nos brindaron la certeza de ser empresas confiables. A continuación se describen:

✓ MEXSOL

Empresa 100% Mexicana, es una empresa socialmente responsable, hacen que la Energía Solar llegue a hogares, empresas, industrias, organizaciones sin fines de lucro y organizaciones gubernamentales, de toda la República Mexicana, con personal altamente capacitado y profesional; usando en todo momento los más altos estándares de ingeniería para brindar el mejor servicio.

- Potencia Instalada de empresa a nivel nacional: 1,937,046 Watts
- 30 años de experiencia

✓ IM2 ENERGÍA SOLAR

Es una empresa mexicana dedicada a proveer soluciones fotovoltaicas, asesoran para que el diseño arquitectónico, el equipamiento técnico, la construcción y la operación de distintos inmuebles resulte en: una mejor eficiencia energética, mayor confort y ahorro económico. Se han especializado en el desarrollo de proyectos integrales, que implican desde un diagnóstico de viabilidad técnica, económica y ambiental de las ecotecnias, su instalación, monitoreo y evaluación de resultados.

- Potencia Instalada de empresa a nivel nacional: 892,637 Watts
- 9 años de experiencia

✓ ENERGEKA

Es una empresa mexicana, que ofrece soluciones en ahorro de energía. Especialistas en soluciones con fuentes alternativas de energía



principalmente energía solar fotovoltaica, que permite que sus clientes obtengan beneficios comparados con las fuentes tradicionales.

- Potencia Instalada de empresa a nivel nacional: 722,710 Watts
- 7 años de experiencia.

4.2 Cotización para el compresor Resun GF-370

Para la cotización del sistema fotovoltaico requerido se brindó a cada una de las empresas la información que solicitaran para el diseño e instalación del sistema, destacando los siguientes puntos:

- Potencia del compresor marca “Resun GF-370”
- Número de horas de funcionamiento del equipo al día.
- Ubicación donde se requiere el servicio
- Tipo de sistema fotovoltaico

Se muestran a continuación las cotizaciones obtenidas de cada una de las empresas así como una cotización directa con proveedores de equipos en México:

Tecnología de punta, rentabilidad y
eficacia comprobada



REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

Cuadro de cargas					
Descripción (Carga)	Potencia (W)	Unidades	Potencia Instalada (W)	Horas/Día	Consumo (Wh/d)
Compresor	370	1	370	24	8880
					8880

COSTOS

Entonces, la energía necesaria por día es de **8.88 kWh**, por lo cual se necesitan los siguientes componentes que se describen a continuación:

Sistema Fotovoltaico Autónomo				
Cantidad (pza.)	Componentes que integran el sistema	Precio Unitario (USD)	Total (USD)	Total (MXN)
9	Modulo solar 270 W	\$ 131.00	\$ 1,179.00	\$ 22,884.39
1	Controlador fotovoltaico ML4860 MPPT	\$ 395.00	\$ 395.00	\$ 7,666.95
1	Inversor onda modificada 1200W / 48V	\$ 366.00	\$ 366.00	\$ 7,104.06
24	Baterías libres de mantenimiento de 12 V a 115 Ah	\$ 115.00	\$ 2,760.00	\$ 53,571.60
1	Rack metálico para baterías	\$ 188.00	\$ 188.00	\$ 3,649.08
1	Materiales para instalación (KIT)	\$ 473.00	\$ 473.00	\$ 9,180.93
1	Estructura fabricada en aluminio con tornillería de acero inoxidable para montaje de los módulos solares en losa de concreto.	\$ 590.00	\$ 590.00	\$ 11,451.90
1	Instalación y puesta en marcha del sistema. (más viáticos)	\$ 568.00	\$ 568.00	\$ 11,024.88
	Subtotal		\$ 6,519.00	\$ 126,533.79
	16% IVA		\$ 1,043.04	\$ 20,245.4064
	Total		\$ 7,562.04	\$ 146,779.19

Imagen 5. Cotización MEXSOL



Santiago de Querétaro

11 de julio de 2019



COTIZACIÓN

COT-1907-PA-06

Presentamos a su consideración el siguiente presupuesto comercial:

Código	Descripción del producto	Cantidad	Unidad	Precio Unit	Instalación	Total instalado
PFV-PC-PER-270	PANEL SOLAR MONO PERC 270W	9	PZ	\$ 3,150.00	\$ 637.50	\$ 28,987.5
	CONTROL DE CARGA EPSOLAR MPPT DE 60AMP	1	PZ	\$ 11,480.00	\$ 1,722.00	\$ 13,202.00
	BATERIA CICLO PROFUNDO DE 116AH 12V BY JHONSONCONTROLS	24	PZ	\$ 2,320.00	\$ 348.00	\$ 56,028.00
	INVERSOR ONDA PURA 2000W	1	PZ	\$ 8,302.50	\$ 1,245.38	\$ 9,547.88
	SISTEMA DE PROTECCION EN CAJA MISTRAL FUSIBLES Y PORTAFUSIBLES MARCA ABB	1	PZ	\$ 3,500.00	\$ 525.00	\$ 4,025.00
EST-AL-31-24	ESTRUCTURA DE ALUMINIO EXTRUIDO PARA 6 PANELES EN LINEA.MARCA SOLAREVER.	1	PZ	\$ 5,596.50	\$ 839.48	\$ 6,435.98
	CONECTORES MC4 CONECTORES A TIERRA E INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO	1	SET	\$ 4,250.00	\$ 637.50	\$ 4,887.50
	ARMADO DE SISTEMA DE BATERIAS CON HERRERIA DE SOPORTE	1	SET	\$ 8,500.00	\$ 1,275.00	\$ 9,775.00
	GABINETE METALICO PARA PROTECCION DE EQUIPOS EN EXTERIOR Y CABLEADO A CENTRO DE CARGA DE CASA HABITACION.	1	SET	\$ 3,890.00	\$ 583.50	\$ 4,473.50
	CALEADO ELECTRICO CON TUBERIA CON CERTIFICADO UL DE AZOTEA AL AREA DE INSTALACION	1	SET	\$ 4,579.00	\$ 686.85	\$ 5,265.85
	INGENIERIA DE PROYECTO Y VIATICOS DE OBRA	1	LT	\$ 14,250.00	\$ 4,700.00	\$ 18,950.00
					SUB TOTAL	\$ 161,578.21
					IVA	\$ 25,852.51
					TOTAL	\$ 187,430.72

Imagen 6. Cotización MI2 ENERGÍA SOLAR

PROYECTO DE PANELES SOLARES



Modelo	Descripción	Precio Unit.	Cantidad	Importe
ST-325-P	Módulo Solartec 325 Policristalino Certificaciones IEC,CE,UL Hecho en México	\$3,040.00	8	\$24,320.00
S-550	Batería Surrete S-550, Abierta, Ciclo profundo, 6V, 550 Ah @ 100 hr.	\$7,840.00	8	\$62,720.00
SMC4-33V	Kit soporte de aluminio para 4 módulos, marco 31-33mm techo horizontal.	\$3,580.00	2	\$7,160.00
PST-1000-24	Inversor SAMLEX PST-1000W, 24VDC, Onda senoidal pura	\$10,620.00	1	\$10,620.00
FM80	Controlador MPPT Outback 150V-12/24/48V, 80A	14,040.00	1	\$14,040.00
	Accesorios para la instalación (Cable, grapas, cajas de seccionamiento, Cajas de protección contra descargas, etc.). Suministro e Instalación. (Tiempo estimado de entrega 5 días hábiles y 3 días hábiles de Instalación).		-	\$15,550.00
			IVA 16%	\$21,505.60
			TOTAL \$MXN	\$155,915.60

Imagen 7. Cotización ENERGEKA

Costos unitarios de los equipos principales, brindados por diferentes empresas distribuidoras de equipos fotovoltaicos.

EQUIPOS	MODELO	COSTO UNITARIO
Módulo solar 	CanadianSolar "CS6K-270P"	\$ 2,820.00
Regulador de carga 	FLEXmax "MPPT Outback FM60"	\$ 14,295.00
Batería 	CALE Solar "L-31T/S-190M"	\$ 2,649.00
Inversor 	"PHOENIX 48/1200"	\$ 6,191.00

Tabla 17. Cotización del sistema fotovoltaico aislado del compresor "RESUN GF-370"

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 5. INSTALACIÓN DE SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO

5.1 Ubicación de los equipos

5.1.1 Módulo fotovoltaico

Es importante hacer un reconocimiento de la zona donde se pretende instalar el panel solar y considerar los criterios siguientes:

- ✓ Instalar el panel fotovoltaico en un lugar libre de sombras de árboles, casas u otros obstáculos que le impidan recibir directamente los rayos del sol.
- ✓ El panel fotovoltaico se debe ubicar en un lugar seguro donde no pueda ser robado, ni dañado o manipulado por terceras personas.
- ✓ La ubicación del panel permitirá instalar los otros componentes del sistema en un lugar seguro y seco dentro de la vivienda, para ello se consideran las siguientes recomendaciones:
 - I. Espacios de fácil acceso para el mantenimiento.
 - II. Tiene que ser visible para los alumnos como para los profesores.
 - III. Ubicados en un espacio ventilado, que no tenga humedad y donde se evite la presencia de polvo.

5.1.2 Soporte de módulos

Su función es la de sujetar al módulo, colocando el módulo orientado hacia el sur, esto permite que los rayos del sol choquen sobre la superficie del módulo la mayor parte del día, y se obtiene así la mayor generación de energía del módulo fotovoltaico.



Figura 41. Soporte de módulos fotovoltaicos

Fuente: <http://www.archiexpo.es/prod/mprime-by-martifer-solar/product-108567-1108791.html>

5.1.3 Regulador de Carga

El regulador debe estar colocado en un lugar protegido de la intemperie (de preferencia dentro de la Unidad Acuícola Experimental), se procurará que la distancia entre éste y el módulo sea menor de 5 metros y la distancia entre el regulador y el acumulador sea menor de 1.5m (para el tendido del cable), de esta forma se minimizara las pérdidas de energía en el cable haciendo más confiable y eficiente su sistema.

5.1.4 Baterías

Se colocaran en un lugar protegido de la intemperie (dentro de la Unidad), con buena ventilación, para evitar la acumulación de gases generados por el acumulador.

5.2 Herramientas y material de instalación

Herramientas necesarias para armar conexiones en circuito



Figura 42. Herramientas y material de instalación

Fuente: https://energypedia.info/images/0/0b/Guía_de_instalación_de_SFD_-_2013.pdf



Además, en una instalación básica se necesita los siguientes materiales:

- ✓ Panel Solar
- ✓ Estructura metálica
- ✓ Pernos
- ✓ Batería
- ✓ Caja para batería
- ✓ Terminales para batería
- ✓ Bornera con puentes rojo/negro
- ✓ Regulador de carga
- ✓ Caja para controlador
- ✓ Tabla / caja para fijación
- ✓ Accesorios adicionales para fijación
- ✓ Cinta aislante

5.3 Procedimientos para la instalación del sistema fotovoltaico

5.3.1 Instalación y conexión del panel fotovoltaico.

El panel solar puede instalarse ya sea en el techo o en un poste.

Para el compresor Resun GF-370, por la cantidad y el tamaño de los paneles se sugirió colocarlos en el techo del edificio de los 500-A.

- 1) Colocar el panel fotovoltaico en la estructura de metal que se ha construido para soportarlo.

Considere el tipo de estructura metálica puede variar en tamaño y forma. Al momento de colocar el panel en la estructura, hay que tener cuidado de no dañar el panel con los pernos. Una vez instalado, asegúrese que los pernos están bien fijados y el panel asegurado.

- 2) Conectar los cables del panel.

Actualmente, algunos modelos de panel solar, ya traen ensambladas las conexiones a la caja del panel solar, por tanto no es necesario abrirla; esto para evitar está sea dañada al momento de realizar la conexión. Para realizar la conexión de los cables al panel son:

- I. Medir la longitud del cable que se necesitará. Asegurarse que el cable tenga la longitud suficiente para llegar del panel al regulador de carga.
- II. Pelar los extremos del cable con el alicate.
- III. Quitar la tapa de la caja que está en la parte de atrás del panel.

- IV. Identificar el polo positivo y negativo. Utilizar el multímetro para verificar que el voltaje y el amperaje están bien, esto es que el valor obtenido debe corresponder a la etiqueta de atrás del panel o las características ahí especificadas. Esta medición se puede realizar en circuito abierto (sin estar conectado el panel a nada).



Figura 43. Caja de conexiones de panel fotovoltaico

Fuente: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/modulo-fotovoltaico-caja-conexiones-diodos-proteccion-bypass/>

- V. Ajustar el cable a los contactos indicados y asegurarse que el cable no puede zafarse.



Figura 44. Arreglo de cables

Fuente:

https://energypedia.info/images/0/0b/Guía_de_instalación_de_SFD_-_2013.pdf

- VI. Si se utiliza un conector para sellar la salida del cable, hay que tener cuidado que el cable no este tenso ni flojo.
- VII. Cierre la tapa.

3) Montaje del panel

Montar la estructura metálica hacia el panel y fijarla en el techo del edificio.

4) Fijar el panel en el lugar donde quedará instalado.

Para asegurar el funcionamiento adecuado del panel solar, éste debe estar ubicado de tal forma que capte la mayor cantidad de energía solar en el transcurso del día.

5.3.2 Instalación del regulador de carga

Para asegurar su adecuado funcionamiento este debe instalarse en un lugar seguro y libre de humedad.

1) Fijar el regulador en el tablero de control.

Para colocar el regulador en el tablero de control, debe considerarse que debe ir ubicado de tal forma que se deje espacio suficiente para poder realizar el cableado adecuadamente.

- I. Colocar el regulador de carga en la plancha del tablero de control y ajustarlo firmemente con los pernos o tornillos.
- II. De preferencia, poner la plancha dentro de una caja plástica o de metal para protegerla de la humedad, el polvo y/o la manipulación.
- III. Fijar la caja o gabinete de control a la pared. Elegir un ambiente seco y alejado de los rayos del sol. Además debe ser un lugar accesible y visible para las personas.



Imagen 8. Instalación de regulador de carga

Fuente: https://energypedia.info/images/0/0b/Guía_de_instalación_de_SFD_-_2013.pdf

5.3.3 Instalación de la Batería.

- 1) Seleccionar el lugar adecuado para la batería.

La batería debe ser instalada en un espacio donde no lleguen los rayos del sol, que sea ventilado para que los gases se dispersen fácilmente y no se moje por la lluvia.

Lo mejor es colocar la batería en una caja de madera o de plástico para evitar que haga contacto con la tierra y se descargue. Además, debe colocarse cerca del tablero de control para evitar gastar mucho cable.

- 2) Conectar la batería.

Para conectar la batería se debe contar con los siguientes materiales y herramientas.



Imagen 9. Herramientas para conexión de baterías

Fuente: https://energypedia.info/images/0/0b/Guía_de_instalación_de_SFD_-_2013.pdf

Para ensamblar los conductores eléctricos a la bornera, se debe conectar primero el borne negativo (-) y luego el borne positivo (+). Preparar los conductores eléctricos y conectarlos a la bornera, ajustando adecuadamente los pernos con la llave.



Imagen 10. Colocación de conductores eléctricos

Fuente: https://energypedia.info/images/0/0b/Guía_de_instalación_de_SFD_-_2013.pdf

3) Conectar la batería al regulador de carga.

Una vez instalada la batería, los extremos libres de los conductores eléctricos deben conectarse al regulador de carga.

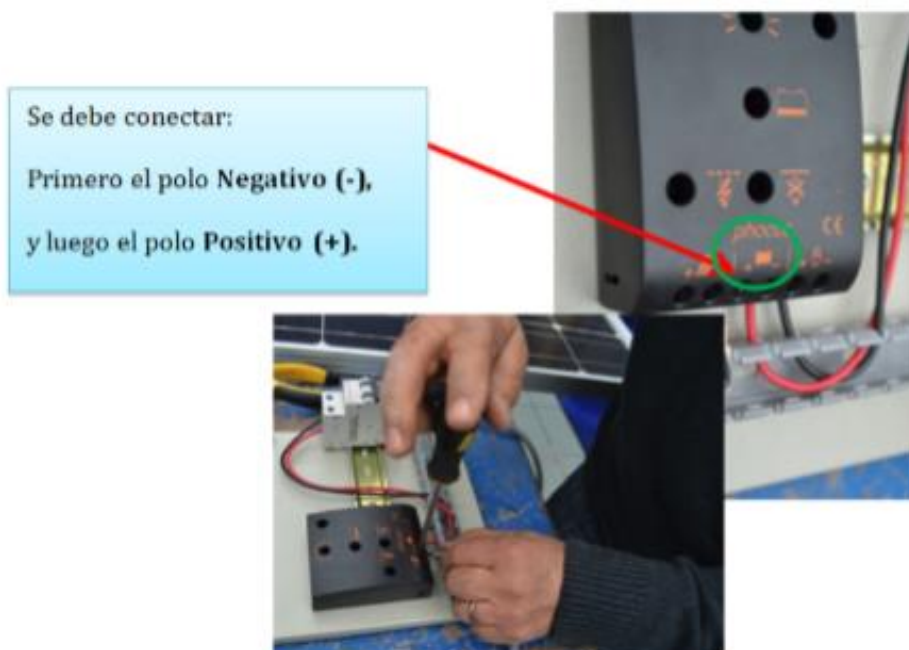


Imagen 11. Conexión de regulador de carga-batería

Fuente: https://energypedia.info/images/0/0b/Guía_de_instalación_de_SFD_-_2013.pdf

4) Conectar el inversor a la batería

El inversor se conecta a la batería para protegerla de descargas profundas. Para realizar la conexión se debe seguir el esquema siguiente:

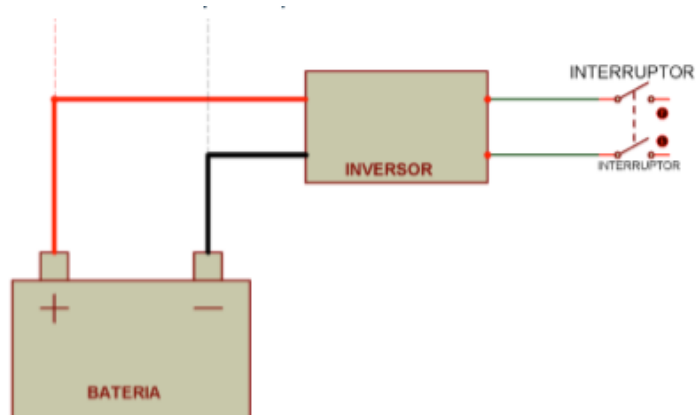


Imagen 12. Esquema para conexión del inversor

Fuente: https://energypedia.info/images/0/0b/Guía_de_instalación_de_SFD_-_2013.pdf

5) Conectar el interruptor de protección al inversor.

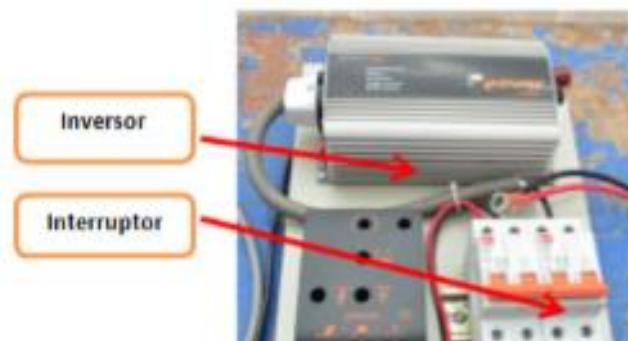


Imagen 13. Conexión de interruptor-inversor

Fuente: https://energypedia.info/images/0/0b/Guía_de_instalación_de_SFD_-_2013.pdf

5.3.4 Conexión del panel fotovoltaico al regulador de carga

Para realizar la conexión del panel fotovoltaico con el regulador, también debemos tener en cuenta lo siguiente:

Primero conectar el polo Negativo (-)
Segundo conectar el polo Positivo (+)



Imagen 14. Conexión de regulador de carga al panel

Fuente: https://energypedia.info/images/0/0b/Guía_de_instalación_de_SFD_-_2013.pdf

5.4 Funcionamiento del sistema fotovoltaico

Una vez instalado y funcionando los diferentes subsistemas del sistema fotovoltaico, debe verificarse que el sistema esté funcionando adecuadamente y el voltaje así como el amperaje sea el indicado en cada uno de los componentes. Para ello, se deben realizar las siguientes acciones:

- 1) Verificar voltaje de baterías

Utilizando el multímetro, se selecciona la variable voltaje en corriente continua (CC) y lo ubicamos en la escala de 20V DC (corriente directa). Posteriormente se mide el voltaje de la batería, lo cual se puede hacer directamente en los bornes de la batería o en las terminales del regulador de carga conectados a la batería.



Imagen 15. Medición con multímetro

Fuente: https://energypedia.info/images/0/0b/Guía_de_instalación_de_SFD_-_2013.pdf

2) Verificar el funcionamiento de los equipos desde el regulador de carga

El regulador tiene indicadores (luces LED) que nos dan información sobre el funcionamiento del sistema fotovoltaico.

El funcionamiento del panel se puede revisar desde el regulador, para ello utiliza el multímetro colocando las puntas correspondientes en la conexión que tiene el regulador de carga con los cables provenientes del panel solar.



Imagen 16. Indicadores de regulador de carga

Fuente: https://energypedia.info/images/0/0b/Guía_de_instalación_de_SFD_-_2013.pdf

3) Verificar el funcionamiento del panel fotovoltaico

Además de verificar el funcionamiento del panel fotovoltaico desde el regulador de carga, también se pueden hacer mediciones en las terminales del panel solar, para ello se realizan los siguientes pasos:

- I. Hacer la prueba en condiciones de pleno sol.
- II. Desconectar los cables del panel que están puestos en el regulador de carga.
- III. Realizar una medida del voltaje con el multímetro y confirmar que la polaridad no está inversa.
- IV. Realizar una medida del amperaje del panel, este debe estar dentro de los rangos establecidos para el panel (ver las especificaciones en la parte de atrás del panel). La medida obtenida debe estar cerca de la corriente máxima especificada para el panel.

- Si el panel está generando un buen voltaje y amperaje, su funcionamiento es el adecuado.
- Si las lecturas no están bien, deben repetirse los pasos III y IV, pero esta vez directamente de la caja de uniones del panel. Si las lecturas siguen mal, el panel tiene un defecto; pero si las lecturas están bien hay una fuga o corto circuito en el cable entre el panel y el controlador.



Imagen 17. Medición de panel con multímetro

Fuente: https://energypedia.info/images/0/0b/Guía_de_instalación_de_SFD_-_2013.pdf

Si hay problemas de carga en el sistema fotovoltaico, se debe medir la generación de amperaje o corriente del panel (hacer uso del multímetro).

4) Verificación y detección de fallas comunes

Error	Causa más probable	Solución
No hay energía en el lado de consumo.	La batería esta baja.	El consumo volverá tan pronto la batería este cargada.
	Sobre corriente / Corto circuito de consumos.	Desconectar todos los consumos. Reparar el corto circuito.
La batería se descarga después de poco tiempo	La batería tiene poca capacidad.	Cambiar de batería.
La batería no se carga durante el día.	Modulo fotovoltaico defectuoso o polaridad equivocada.	Corregir la conexión defectuosa o la polaridad inversa.

Tabla 18. Fallas comunes de sistema fotovoltaico

Fuente: https://energypedia.info/images/0/0b/Guía_de_instalación_de_SFD_-_2013.pdf

CAPÍTULO 6. MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO

Es recomendable hacer por lo menos 3 revisiones periódicas en un sistema fotovoltaico por año, así se pueden detectar y corregir pequeños problemas, antes que lleven a una falla total en la operación del sistema, por esto se dice que el mantenimiento preventivo es el mejor mantenimiento. Es indispensable revisar el sistema cuando está funcionando correctamente y no esperar a que la falla ocurra, es importante aprender del equipo y saber que se espera de él cuando está funcionando correctamente, de hecho se puede hacer la mayor parte de la revisión, con un multímetro y algo de sentido común. Muchas fallas son evitables si se hacen inspecciones y se toman acciones correctivas antes que el problema cause fallas en la operación del sistema.

6.1 Paneles solares

- Para asegurar la vida útil del panel solar y su adecuado funcionamiento, deben realizar las siguientes acciones de mantenimiento:



Figura 45. Mantenimientos y precauciones de paneles

Fuente: <https://panelessolaresfotovoltaicos.org/paneles-solares-fotovoltaicos/limpieza-y-mantenimiento-de-paneles-solares/>

- Revisar las conexiones y pernos estén fijados adecuadamente. En caso contrario ajustarlos correctamente.

6.2 Baterías

- Para asegurar un buen mantenimiento de la batería, debe revisarse el estado de carga de la batería (nivel de voltaje) sea el adecuado, si el voltaje de alguna batería difiere más de un 10% del promedio de los voltajes indica que existe un problema con esa batería. Consultar al fabricante o a un distribuidor más cercano.
- Examinar si la batería está rota o tiene alguna fuga. En este caso, asegurarse que no sea utilizada hasta que sea repuesta.
- Revisar las terminales y asegurarse de que estén limpias. En caso contrario limpiar con una lija fina las borneras.
- Examinar las terminales y asegurarse de los conectores estén bien sujetos.
- Revisar las conexiones de las baterías, puede limpiarse y tratarse periódicamente, con anticorrosivos de uso común en la industria de autopartes.
- Examinar el nivel de densidad específica del electrolito (ácido) en la batería que esté de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, este chequeo debe hacerse después de una recarga completa al banco de baterías, con el nivel de electrolito de acuerdo a las especificaciones técnicas de la batería.



Figura 47. Revisión de carga de batería.



Figura 46. Mantenimiento de las baterías

Fuente: https://energypedia.info/images/0/0b/Guía_de_instalación_de_SFD_-_2013.pdf

6.3 Revisión del tablero de control

- Verificar que el controlador está libre de polvo y obstáculos. En caso contrario limpie con un paño seco.



Figura 48. Verificación del regulador de carga

Fuente: https://energypedia.info/images/0/0b/Guía_de_instalación_de_SFD_-_2013.pdf

- Revisar el regulador de carga y asegurarse que las conexiones no están sueltas.
- Verificar los indicadores del funcionamiento del sistema para asegurar que cada componente funciona adecuadamente.



Figura 49. Revisión del tablero de control

Fuente: https://energypedia.info/images/0/0b/Guía_de_instalación_de_SFD_-_2013.pdf

6.4 Cableado

Realizar un reconocimiento en el sistema de cableado, si el cableado ha estado expuesto al sol o a la corrosión durante algún tiempo, es posible que se puedan formar grietas en la cubierta de éste, esto provocará pérdidas de energía. Aislar lo mejor posible todos los conductores de energía para evitar este tipo de fallas.

6.5 Instalaciones internas

- Registrar que todas las cajas de conexiones estén correctamente selladas, incluyendo las del panel, controladores, etc., puntos de interconexiones, así mismo cerciorarse si existe corrosión o daños causados por el agua. Si tienen componentes electrónicos montados dentro de un gabinete asegurarse que tengan buena ventilación.
- Revisar la operación de los interruptores y fusibles, asegurarse que el movimiento del interruptor sea sólido, ver si existe corrosión tanto en los contactos como en los fusibles.



CONCLUSIONES

Se realizaron diversos cálculos que son necesarios para el diseño y dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico aislado, con la finalidad de suministrar energía eléctrica las 24 horas del día al compresor de la marca “RESUN GF-370” que tiene una potencia de 370W y un voltaje de 120V, el cual abastece de aire a 27 peceras de la Unidad Acuícola Experimental. Mediante el análisis realizado de la demanda energética, se determinó que para cubrir la energía requerida por el compresor (8,800 Wh/día) se necesitarán 24 Baterías de 115 Ah conectadas en serie-paralelo, un controlador de carga, un inversor y 9 módulos fotovoltaicos de 270W cada uno con un ángulo de inclinación de 34° hacia el sur geográfico. Requiriendo un área mínima de 17.93 m² para la instalación del panel que estará ubicado en la azotea de los edificios A-500 de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza C-II UNAM.

La cotización de cada una de las empresas (MEXSOL, IM2 ENERGÍA SOLAR, ENERGEKA) incluyó el precio de los equipos principales, accesorios del sistema y precio de instalación e ingeniería. La empresa ENERGEKA brindo una opción de diseño para el sistema FV aislado requerido, proponiendo módulos de 325 W de potencia y baterías de 55 Ah. Esta opción es válida ya que siguiendo el algoritmo de cálculo para el diseño y dimensionamiento del sistema planteado en la presente tesis se obtiene el número de módulos y baterías definidos en la cotización.

Haciendo énfasis en el costo de los equipos principales (módulos solares, baterías, controlador de carga e inversor) del sistema FV, se observan los siguientes precios por empresa: MEXSOL \$146,779.19 MXN, IM2 ENERGÍA SOLAR \$187,430.72 MXN y ENERGEKA \$155,915.60 MXN.

En nuestra perspectiva podemos deducir que las empresas cuentan con una experiencia comprobable y confiable, el costo del sistema es un factor a considerar siendo el cliente la persona que tiene la decisión final por lo que, en nuestro caso debido a las limitaciones económicas que se nos plantearon para la implementación de este proyecto se optó por seleccionar a la empresa MEXSOL para el suministro de equipos y/o accesorios.

Como punto final podemos asegurar que los objetivos planteados en el presente trabajo han sido alcanzados en tiempo y forma, realizando un estudio de la zona para la instalación de módulos, determinando los requerimientos eléctricos del equipo seleccionado, proponiendo un cálculo para el diseño y dimensionamiento del sistema FV aislado, mostrando la cotización del sistema y explicando el mantenimiento a los equipos instalados para el abastecimiento de energía eléctrica al compresor “RESUN GF 370” de la Unidad Acuícola de la FES Zaragoza UNAM Campus II.



BIBLIOGRAFÍAS

- ❖ Enriquez Harper. (2018). “El ABC de las energías renovables en los sistemas eléctricos.” México: LIMUSA.
- ❖ Enriquez Harper. (2018). “El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos.” México: LIMUSA.
- ❖ Style Oliver. (2012). “Energía solar autónoma, planificación, dimensionado e instalación de un sistema fotovoltaico autónomo.” Traducido al español: ITICA.
- ❖ Julián Cantos Serrano (2016). “Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas.” España: Paraninfo.
- ❖ Castejón Oliva Agustín ft Santamaría Herranz Germán (2010). “Instalaciones solares fotovoltaicas”. España: EDITEX.
- ❖ Mascarós Mateo Vicente (2010). “Instalaciones generadoras fotovoltaicas.” España: Paraninfo.
- ❖ Alonso Abella Miguel (2001). “Sistemas fotovoltaicos. Introducción al diseño y dimensionamiento”. SAPT de Publicaciones técnicas.
- ❖ Héctor L. Gasquet (2004). “Manual teórico práctico sobre los sistemas
- ❖ Gilberto Enríquez Harper (2001). “Tecnologías de generación de energía eléctrica”. México: LIMUSA.
- ❖ Miguel Ángel Sánchez Maza (2007). “Energía solar fotovoltaica”. 1ra edición, México: LIMUSA.
- ❖ Rafael Guirado Torres, Rafael Asensi Orosa, Francisco Jurado Melguizo, José Carpio Ibañez. “Tecnología eléctrica”. 1ra edición. México: Mc Graw Hill.
- ❖ Antony F. Durschner C. y Remmers K. (2006). “Fotovoltaica para profesionales. Diseño, instalación y comercialización de plantas solares fotovoltaicas”. España: Solar Praxis y Censolar. Sevilla.
- ❖ Díaz T. (2010). “Instalaciones Solares Fotovoltaicas”. España: McGraw-Hil
- ❖ Enríquez G. (2009). “Tecnologías de generación de energía eléctrica”. México: Limusa.
- ❖ Julián Cantos Serrano (2016). “Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas”. Ediciones Paraninfo, S.A.
- ❖ Oliver Style. (2012). “Energía Solar Autónoma: Planificación, dimensionado e instalación de un sistema fotovoltaico autónomo”. ITICA: Appropriate Technology.
- ❖ Luque, A. (20039. “Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Inglaterra, Jhon Wiley and Sons Ltd.”



FUENTES CONSULTADAS DE INTERNET

- ❖ Michahel Boxwell (2018). Solar Irradiance Calculator, de Solar Electricity Handbook. Sitio web: <http://www.solarelectricityhandbook.com/solar-irradiance.html>. (consultada: 3/01/ 2019).
- ❖ Blog (2018). Tecnología, regulador de carga. Sitio web: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/regulador-de-carga-solar.html>. (consultada: 27/01/ 2019).
- ❖ Solartec (2009). Solartec Energía Renovable. Sitio web: <http://www.solartec.mx/mod-policristalinos.html>. (consultada: 16/03/ 2019)
- ❖ Proyecto Energía, Desarrollo y Vida (2013). Manual de instalación de un sistema fotovoltaico. Sitio web: https://energypedia.info/images/0/0b/Guía_de_instalación_de_SFD_-_2013.pdf. (consultada: 16/03/ 2019).
- ❖ S. Ashok (2016). Energía solar. Sitio web: <https://www.britannica.com/science/solar-energy>. (consultada: 27/04/ 2019)
- ❖ Blog (2018). Alternative Energy. Sitio web: <http://www.altenergy.org/renewables/solar/the-right-solar-photovoltaic-system.html>. (consultada: 6/05/ 2019).
- ❖ Blog (2018). Celdas solares. Sitio web: <https://juanquique22.files.wordpress.com/2013/08/unidad-3-celdassolares-1-2011.pdf>. (consultada: 17/06/ 2019).
- ❖ Miguel Alonso Abella (2017). Centro de investigaciones energéticas, medioambientales y tecnológicas. Sitio web: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf.



GLOSARIO

Acumulador: Elemento de instalación capaz de almacenar la energía eléctrica, transformándola en energía química. Se compone de diversas baterías conectadas entre sí en serie o en paralelo.

Amperio-hora: Unidad usada para especificar la capacidad de una batería.

Baterías: Acumulan la energía que reciben de los paneles. Cuando hay consumo, la electricidad la proporciona directamente la batería y no los paneles.

Caja de Conexiones: Elemento donde las series de módulos fotovoltaicos son conectados eléctricamente y donde puede colocarse el dispositivo de protección, si es necesario.

Celda Fotovoltaica: Unidad básica del sistema fotovoltaico donde se produce la transformación de la luz solar en energía eléctrica.

Constante solar: Valor de la irradiancia solar en el espacio exterior a la Tierra, calculado a 1 unidad astronómica del Sol. La unidad astronómica vale aproximadamente 150 millones de kilómetros, aproximadamente la distancia promedio de la Tierra al Sol.

Efecto Fotovoltaico: Conversión directa de la energía luminosa en energía eléctrica.

Eficiencia: En lo que respecta a celdas solares, es el porcentaje de energía solar que es transformada en energía eléctrica por la célula. En función de la tecnología y la producción técnica, ésta varía entre un 5% y un 30%.

Electrolito: En el caso de las baterías empleadas en sistemas fotovoltaicos, es una solución diluida de ácido sulfúrico en la que se verifican los distintos procesos que permiten la carga y descarga de la batería.

Estructura de soporte: Conjunto de elementos sobre los que se fijan mecánicamente los paneles fotovoltaicos para construir una planta fotovoltaica y, cuyas funciones son cargar el peso de los paneles y proporcionar una adecuada orientación e inclinación.

Fotón: Cada una de las partículas que componen la luz.

Fotovoltaico (FV): Relativo a la generación de fuerza electromotriz por la acción de la luz.

Inclinación: Ángulo que forma el panel fotovoltaico con una superficie perfectamente horizontal o a nivel.



Insolación: Valor diario (insolación diurna) o anual (insolación anual) de la energía total de irradiación solar directa (excluyendo la reflejada por las nubes y otras partículas en suspensión en la atmósfera) recibida en un lugar o región determinada de la superficie terrestre

Inversor: Equipo electrónico que convierte la corriente continua generada por los paneles fotovoltaicos en corriente alterna. Es necesario para conectar una planta fotovoltaica a la red eléctrica de distribución general.

Irradiancia solar: Potencia (variación temporal instantánea de energía respecto del tiempo) de radiación electromagnética solar incidente por unidad de área (normal a la dirección de propagación de la radiación) en un lugar, día y hora bien especificados

Irradiación solar: Radiación solar incidente sobre una unidad de área normal a la dirección de propagación en algún lugar y tiempo bien especificados de la superficie terrestre. No coincide con la radiación solar debido a la absorción de algunos rangos de longitudes de onda por la atmósfera.

Módulo fotovoltaico: Conjunto de células fotovoltaicas, generalmente construidas a base de silicio, unidas eléctricamente y encapsuladas en una sola unidad capaz de ser manipulada y conectada a un sistema de generación de energía eléctrica.

Orientación: Ángulo de orientación respecto al Sur Solar de la superficie de un panel. El Sur geográfico (o real) no debe confundirse con el magnético, que es el que señala la brújula.

Panel fotovoltaico: Dispositivo electrónico que transforma la energía solar en energía eléctrica.

Punto de máxima potencia de un Panel: Potencia que suministra un panel fotovoltaico cuando el producto de la tensión por la intensidad es máximo.

Radiación Solar: Cantidad de energía procedente del sol que se recibe en una superficie y tiempo determinados.

Rendimiento: Es la relación que existe entre la energía que realmente transforma en energía útil y la que requiere un determinado equipo para su funcionamiento.

Sistema Aislado: Sistema fotovoltaico autónomo, no conectado a red. Estos sistemas requieren baterías u otras formas de acumulación. Suelen utilizarse en lugares remotos o de difícil acceso.

Sistema Conectado a Red: Sistema fotovoltaico que actúa como una central generadora de electricidad, suministrando energía a la red.



Tensión de un Circuito Abierto: Es la diferencia de potencial medida entre dos extremos de un circuito eléctrico, cuando éste está abierto y sin carga.

Tensión Nominal: Diferencia de potencial específica, para la que se diseña un equipo o una instalación. Se llama nominal porque la tensión puede variar por distintas circunstancias durante la operación.

Watts (W): Unidad de potencia eléctrica que equivalente a un julio por segundo.

Watts Pico: Unidad de potencia que hace referencia al producto de la tensión por la intensidad (potencia pico) del panel fotovoltaico en unas condiciones estándares de medida (STC).

Voltaje: Anglicismo del término Tensión.

Voltio (V): Unidad de potencial eléctrico y fuerza electromotriz, equivalente a la diferencia de potencial que hay entre dos puntos de un conductor cuando al transportar entre ellos un coulomb, se realiza el trabajo de un julio.

Voltaje en circuito abierto o VOC (Open circuit Voltage): significa el voltaje en voltios que el panel entrega cuando está desconectado, es decir, que si ponemos un voltímetro en los terminales de un panel que está al sol y desconectado de la instalación, ese será el voltaje que podremos medir. Este dato es muy importante porque hay que tenerlo en cuenta para reguladores de carga, inversores de red, etc.

Intensidad en cortocircuito o ISC (Short Circuit Current): significa la intensidad de corriente en Amperios que el panel puede producir cuando está en cortocircuito. Significa que si unimos el cable positivo del panel con el cable negativo se cortocircuita, y mediante una pinza de medición podremos comprobar la intensidad máxima que es capaz de producir el panel.

Voltaje a máxima potencia o VMP (Maximum Power Voltage): es la cifra que nos determina qué tipo de panel es, 12V, 24V o el que sea. Para ser un panel de 12V la cifra debe estar entre 15 y 19V, mientras que para que sea de 24V esta cifra debe estar entre 36 y 39V. Esto es así porque en aislada, el voltaje que ofrece el panel siempre debe ser superior al voltaje de carga de la batería. En el caso que nos ocupa, es un panel de 12V.

Intensidad a máxima potencia o IMP (Maximum Power Current): Nos indica la intensidad máxima en amperios que produce el panel cuando está conectado a la instalación. Es la cifra a tener en cuenta para no quedarnos limitados por el regulador de carga. Si como el panel de ejemplo de la imagen produce 11.13A, no podremos usar un regulador de 10A, puesto que se quedará corto para la potencia que puede llegar a entregar el panel.



Potencia Máxima o P_{MAX}: es la cifra de potencia que determina el modelo del panel, también la podemos calcular si multiplicamos el V_{MP} x I_{MP}. Esta cifra se da en Watios y en el ejemplo que vemos, son 200W.



ANEXOS

ANEXO 1. Dimensiones de los conductores eléctricos desnudos.

Número AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm ²)	Kg. por Km.	Resistencia (Ohm/Km.)	Capacidad (A)
0000	11,86	107,2		0,158	195
000	10,40	85,3		0,197	165
00	9,226	67,43		0,252	145
0	8,252	53,48		0,317	125
1	7,348	42,41	375	1,40	110
2	6,544	33,63	295	1,50	95
3	5,827	26,67	237	1,63	85
4	5,189	21,15	188	0,80	70
6	4,115	13,30	118	1,27	55
8	3,264	8,36	74	2,03	40
10	2,588	5,26	46,8	3,23	30
12	2,053	3,31	29,4	5,13	20
14	1,628	2,08	18,5	8,17	15

Fuente: Enríquez Harper Gilberto. (2005). El ABC de las instalaciones eléctricas residenciales. (pp.42-43) México: LIMUSA, S.A. DE C.V.

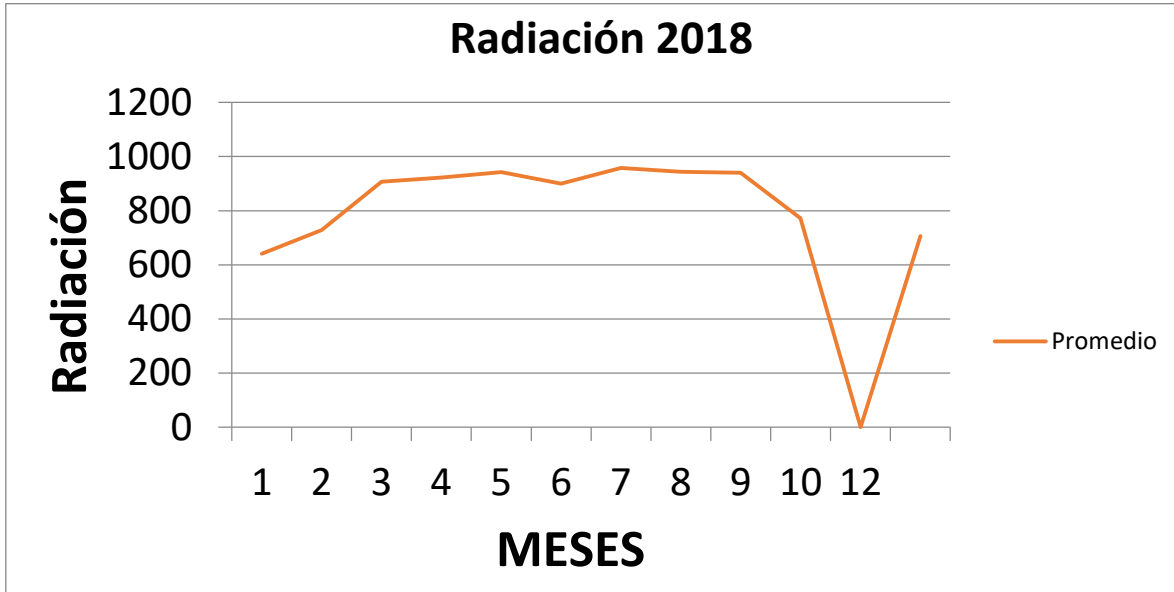


ANEXO 2. Radiación solar en la Ciudad de México 2018

RADIACIÓN SOLAR (W/m²) 2018

DIAS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	600	791	862	962	978	966	944	1051	979	920	0	798
2	611	782	858	926	675	946	954	867	994	809	0	812
3	640	660	884	923	941	1124	1044	762	976	712	0	750
4	646	707	903	902	926	951	1050	457	965	889	0	741
5	599	629	870	913	1001	951	987	1009	1001	878	0	393
6	658	645	855	887	993	872	848	1011	835	860	0	723
7	686	593	860	904	860	944	965	925	1057	797	0	780
8	655	633	896	954	481	907	886	962	981	843	0	772
9	668	618	839	1003	998	821	953	1006	953	914	0	788
10	672	617	914	959	988	947	953	1012	951	764	0	733
11	638	761	921	902	964	841	819	985	741	749	0	659
12	645	730	866	954	983	709	986	799	976	844	0	667
13	694	731	905	984	1000	683	971	1002	811	853	0	735
14	660	747	918	967	926	972	932	1034	960	862	0	771
15	663	763	877	950	1016	756	955	799	976	841	0	733
16	666	752	933	916	992	869	988	970	1012	846	0	736
17	613	743	918	905	968	1016	997	970	954	440	0	623
18	622	753	897	931	977	678	957	976	934	319	0	683
19	627	759	993	922	947	799	941	946	914	813	0	747
20	662	758	929	935	954	998	901	885	944	872	0	748
21	654	722	938	911	937	704	999	1061	979	306	0	765
22	627	699	905	893	941	1014	955	937	913	878	0	738
23	619	721	957	822	975	938	935	1033	944	882	0	709
24	666	710	942	827	980	920	1001	1073	971	893	0	708
25	607	832	969	941	979	951	959	1009	961	878	0	625
26	808	847	920	874	968	927	962	993	959	828	0	537
27	742	851	886	933	977	1011	990	911	983	400	0	687
28	382	834	925	937	978	885	976	981	773	586	0	562
29	324		911	971	984	939	971	851	876	773	0	704
30	766		931	867	951	958	961	979	922	835	0	722
31	756		924		980		970	1005		840	0	743 ¹⁵

¹⁵ Fuente: Datos del CCH ORIENTE, UNAM.



Gráfica 2. Radiación solar en Ciudad de México 2018

Fuente: Elaboración propia

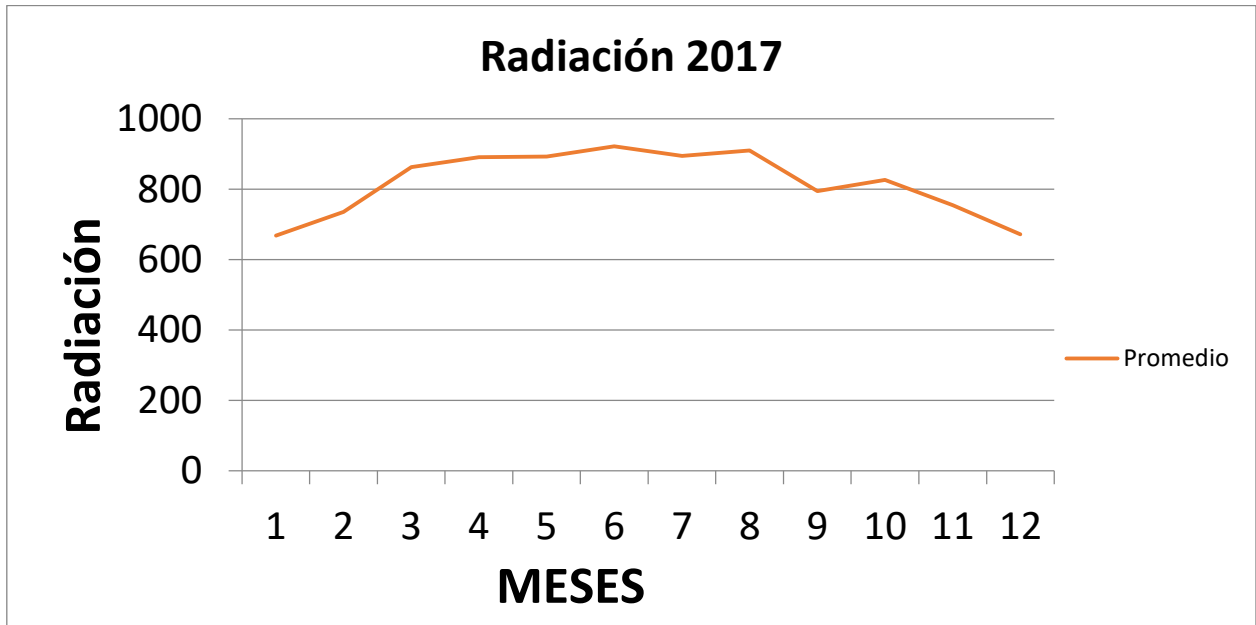


ANEXO 3. Radiación solar en la Ciudad de México 2017

RADIACIÓN SOLAR (W/m²) 2017

DIAS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	593	636	810	912	899	998	732	965	841	690	788	739
2	702	644	798	928	828	918	919	986	541	379	768	699
3	676	671	787	924	826	941	905	1079	903	957	809	741
4	692	686	806	927	813	939	874	992	698	512	816	670
5	683	680	823	902	899	911	966	957	648	1018	819	690
6	690	641	745	850	919	824	967	1084	761	1002	814	717
7	651	667	663	906	875	936	732	955	664	895	820	691
8	615	658	765	881	869	971	736	992	784	944	807	733
9	671	718	831	846	795	990	650	590	1091	875	729	675
10	680	719	919	914	966	1027	733	329	599	842	773	724
11	679	690	849	890	985	1039	937	950	974	937	787	702
12	668	697	854	908	882	908	961	1010	978	908	784	701
13	671	681	853	900	964	939	894	994	811	894	799	685
14	662	758	912	921	847	940	924	963	941	872	814	687
15	690	795	897	895	913	925	964	881	961	792	803	692
16	648	781	896	902	951	977	971	1062	898	885	810	651
17	670	802	882	865	911	956	986	1047	842	824	795	578
18	647	788	911	929	914	979	961	963	931	796	787	636
19	680	797	920	961	916	961	911	1025	952	822	769	665
20	664	800	901	901	914	974	971	1005	907	843	799	636
21	694	764	916	932	915	987	967	874	746	841	757	635
22	685	791	922	929	936	893	975	1005	963	860	768	645
23	700	790	937	938	926	959	873	990	500	802	773	648
24	673	815	848	899	902	931	963	1002	980	696	738	691
25	683	755	901	854	871	817	678	858	1025	856	743	635
26	652	804	907	937	959	964	952	1031	842	823	770	636
27	678	780	919	749	825	908	803	710	728	815	762	634
28	677	775	911	869	946	956	961	873	536	829	751	650
29	625		912	638	892	720	925	759	356	780	719	619
30	661		938	933	852	479	971	567	441	806	730	659
31	664		801		768		973	700		813	0	648 ¹⁶

¹⁶ Fuente: Datos del CCH ORIENTE, UNAM.



Gráfica 3. Radiación solar en Ciudad de México 2017

Fuente: Elaboración propia

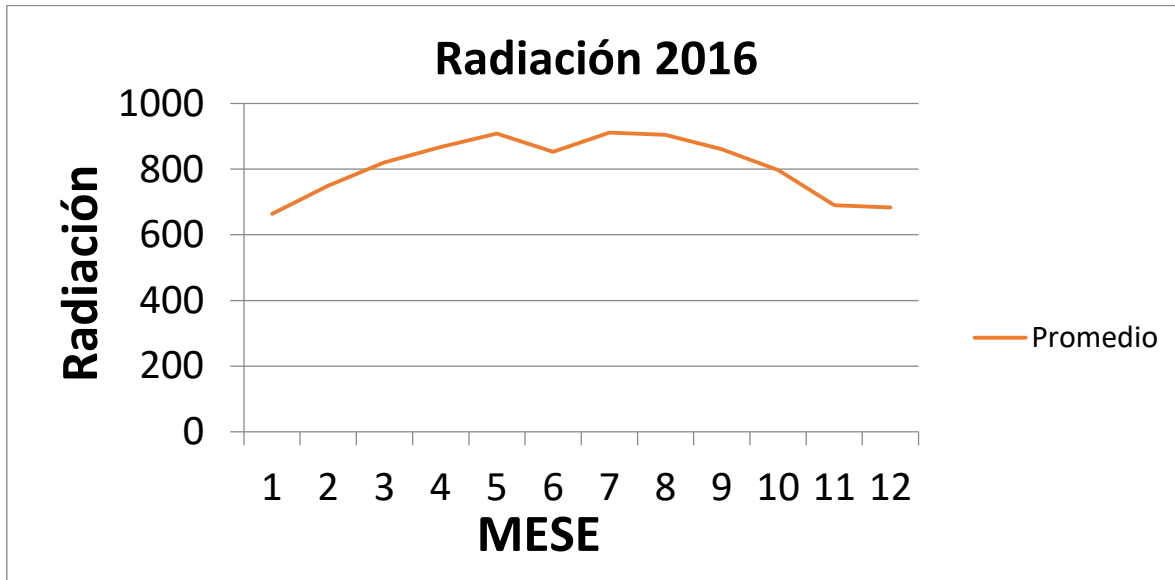


ANEXO 4. Radiación solar en la Ciudad de México 2016

RADIACIÓN SOLAR (W/m2) 2016

DÍAS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	615	763	454	906	1002	701	953	957	840	976	782	741
2	643	790	273	934	923	962	912	962	896	866	804	739
3	659	753	711	960	836	790	893	931	367	900	826	711
4	632	669	631	946	913	779	951	1009	739	904	594	751
5	675	0	882	882	940	909	956	910	919	877	687	743
6	742	0	878	805	948	794	934	598	868	899	787	711
7	723	0	842	872	974	798	905	928	923	894	803	699
8	847	0	869	854	948	962	928	609	939	928	760	671
9	726	0	834	867	908	905	964	1005	919	387	609	497
10	662	0	928	870	908	821	839	747	920	842	387	716
11	711	0	951	882	858	564	915	974	751	926	440	662
12	375	0	914	873	984	842	793	953	932	822	723	681
13	227	0	955	866	925	891	903	936	886	879	665	682
14	859	0	885	932	922	845	748	951	929	872	766	670
15	783	0	859	854	941	901	783	953	1011	858	673	650
16	485	0	810	962	582	911	804	756	967	851	354	704
17	765	0	803	831	922	883	990	872	889	819	727	697
18	759	0	846	890	917	970	904	962	974	823	739	725
19	554	0	604	850	886	954	849	1024	915	743	372	666
20	588	0	759	708	919	461	988	988	927	876	801	681
21	767	0	437	1027	861	759	819	919	927	511	766	701
22	735	0	865	759	899	950	882	861	930	402	753	670
23	777	0	925	363	898	946	1017	952	888	841	759	689
24	700	0	1031	879	884	892	1020	877	763	841	739	671
25	775	0	949	874	931	775	971	894	884	924	718	651
26	777	0	967	900	893	852	964	923	900	839	780	684
27	773	0	976	1037	873	891	841	966	484	444	726	672
28	702	0	896	888	937	977	1000	951	718	454	722	651
29	267	0	937	926	940	964	960	749	847	827	737	676
30	586		876	823	905	953	981	963	970	867	710	612
31	700		910		993		894	977		820		698 ¹⁷

¹⁷ Fuente: Datos del CCH ORIENTE, UNAM.



Gráfica 4. Radiación solar en Ciudad de México 2016

Fuente: Elaboración propia

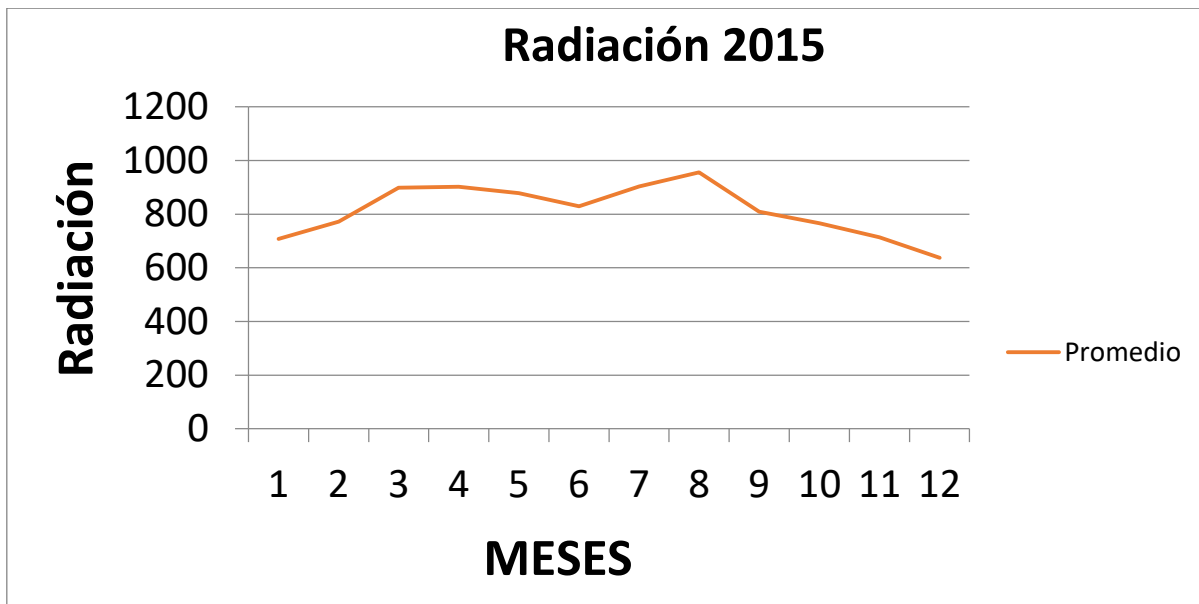


ANEXO 5. Radiación solar en la Ciudad de México 2015

RADIACIÓN SOLAR (W/m2) 2015

DIAS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	749	746	856	885	816	568	883	951	991	563	825	718
2	787	857	884	885	749	922	795	949	857	926	877	686
3	751	424	862	931	917	731	907	988	939	936	865	529
4	598	814	831	997	981	948	801	925	811	904	780	623
5	439	754	831	951	927	465	836	942	967	866	805	690
6	755	748	811	954	924	867	935	972	966	874	792	647
7	799	805	845	928	988	939	772	980	959	864	745	677
8	611	782	877	924	971	1010	999	1001	923	894	476	585
9	628	798	845	942	962	978	842	991	974	837	773	710
10	721	783	963	921	922	931	784	971	880	877	804	662
11	768	757	1077	734	940	959	889	957	943	838	774	630
12	714	804	1105	848	934	801	825	976	932	860	781	614
13	708	601	605	884	931	915	924	907	709	891	588	626
14	746	459	1039	964	894	645	954	1007	809	754	408	715
15	696	645	459	1013	858	892	1005	976	855	882	790	720
16	696	860	959	935	869	839	978	1004	538	870	727	710
17	690	758	782	909	919	972	881	942	849	440	735	692
18	698	833	965	926	939	940	532	920	1003	192	735	560
19	701	838	965	981	928	739	1050	982	957	558	729	654
20	732	808	872	934	872	601	890	929	971	799	701	650
21	715	819	844	937	871	745	982	937	898	518	692	547
22	748	838	918	867	855	919	915	997	839	801	557	442
23	754	847	951	975	908	894	907	999	931	796	590	237
24	744	847	965	954	855	763	958	966	661	753	729	665
25	461	850	977	957	931	1003	980	1053	702	816	701	651
26	742	849	1016	948	945	968	951	926	255	331	692	685
27	755	822	957	907	855	792	924	986	939	851	557	675
28	758	869	904	919	873	740	962	388	428	602	705	792
29	764		984	221	786	760	979	994	405	824	737	680
30	748		961	926	606	648	993	1064	364	907	751	658
31	764		953		506		951	1057		924		631 ¹⁸

¹⁸ Fuente: Datos del CCH ORIENTE, UNAM.



Gráfica 5. Radiación solar en Ciudad de México 2015

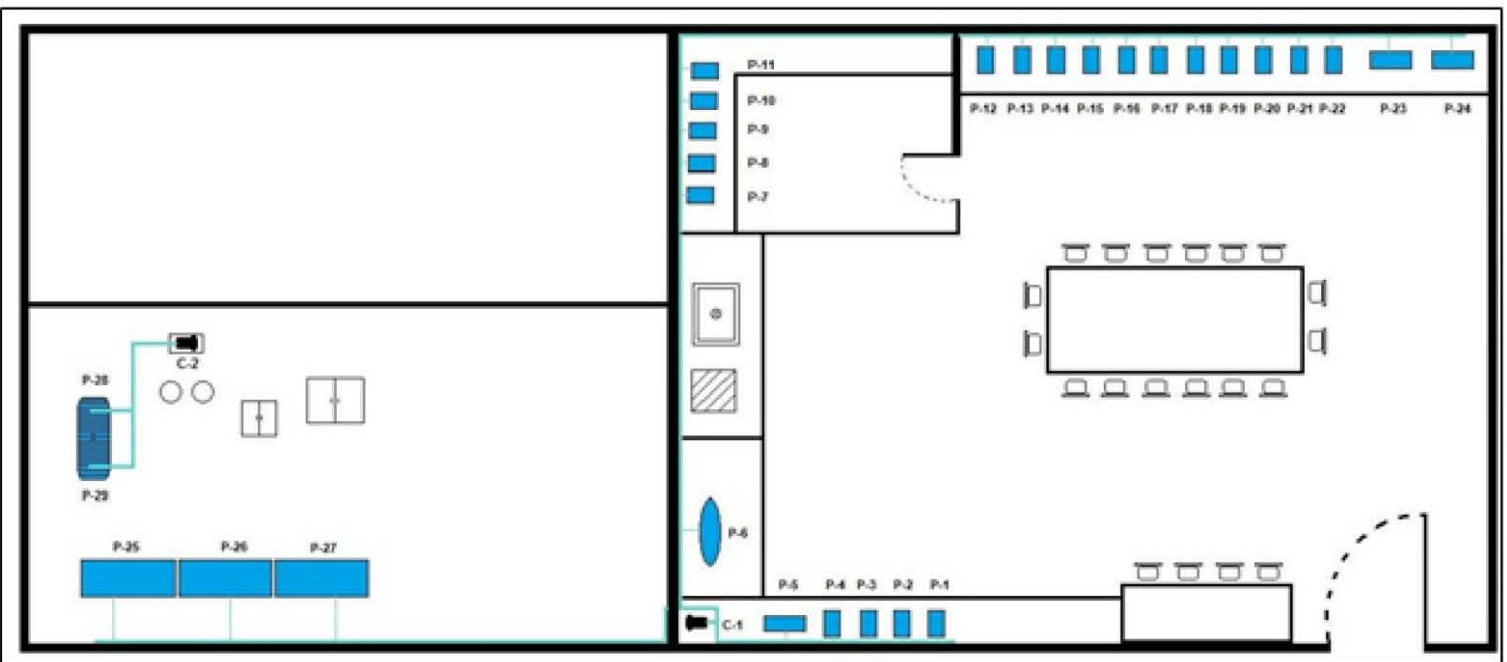
Fuente: Elaboración propia



Compresor “Resun Gf-370”



ANEXO 7. Plano De La Unidad Acuícola Experimental



SIMBOLOGÍA

C-1 COMPRESOR 1	P-7 PECERA	P-16 PECERA	P-25 PECERA
C-2 COMPRESOR 2	P-8 PECERA	P-17 PECERA	P-26 PECERA
P-1 PECERA	P-9 PECERA	P-18 PECERA	P-27 PECERA
P-2 PECERA	P-10 PECERA	P-19 PECERA	P-28 PECERA
P-3 PECERA	P-11 PECERA	P-20 PECERA	P-29 PECERA
P-2 PECERA	P-12 PECERA	P-21 PECERA	
P-3 PECERA	P-13 PECERA	P-22 PECERA	
P-5 PECERA	P-14 PECERA	P-23 PECERA	
P-6 TINA	P-15 PECERA	P-24 PECERA	

TUTOR:

M. EN I. MA. ESTELA DE LA TORRE GÓMEZ TAGLE



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA



REALIZÓ:

BAÍÑO & GARCÍA DIANA ALEJANDRA
VANUA & GARCÍA MICHEL

PROYECTO DE SUMINISTRO DE ENERGÍA
FOTOVOLTAICA AUTÓNOMA A UN
COMPRESOR "RE SUN GF-370"
FES ZARAGOZA UNAM



ESCALA
50

No. PLANO
01

PROPÓSICIÓN

PLANO DE UNIDAD ACUÍCOLA
EXPERIMENTAL FES ZARAGOZA UNAM



Fuente: Elaboración propia



ANEXO 8. Medidas de las peceras de la Unidad Acuícola Experimental

	LARGO	ANCHO	ALTO
P-1	50 cm	25 cm	30 cm
P-2			
P-3			
P-4			
P-5	79.5 cm	29.5 cm	57 cm
P-6	108 cm	76 cm	41 cm
P-7	50 cm	25 cm	30 cm
P-8			
P-9			
P-10			
P-11			
P-12			
P-13			
P-14			
P-15			
P-16			
P-17			
P-18			
P-19			
P-20			
P-21			
P-22			
P-23	52 cm	36 cm	35 cm
P-24	51 cm	26 cm	30 cm
P-25	1 m	60 cm	40 cm
P-26			
P-27			
P-28	1.5 m	1 m	40 cm
P-29			

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 9. Propuesta para el segundo compresor de la Unidad Acuícola Experimental que suministra de aire a las peceras 28 y 29

Se tendrá en cuenta un segundo diseño y dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado con el compresor SPP-40GJ-L PUMP que se encuentra ubicado en la parte de afuera de la unidad, el cual suministrara de aire a las peceras 28 y 29.

Características del compresor

II. Compresor SPP-40GJ-L PUMP

- ❖ Voltaje: 115 V AC
- ❖ Frecuencia: 60 Hz
- ❖ Potencia: 53 W
- ❖ Flujo de aire: 65.2 L/min - 3,908.2 L/h
- ❖ Peso: 8.5 Kg
- ❖ Dimensiones: 9.72 x 7.91 x 8.50 cm
- ❖ Presión: 14 KPa
- ❖ Compresor de membrana



Figura 50. Compresor SPP-40GJ-L PUMP

Fuente: <https://www.wilson-company.com/product/el-100/secoh-septic-air-pump>

Calculo del sistema fotovoltaico autónomo para el compresor SPP-40GJ-L PUMP

➤ Demanda energética

Equipo	Cantidad	Potencia (Watts) CA	Potencia pico de arranque (Watts)	Tiempo en funcionamiento (h)	Consumo total de energía (Wh/día)
Compresor Marca "Resun GF-370"	1	53	159	24	1,272

Se muestra a continuación en la tabla los requerimientos eléctricos del compresor en la Unidad Acuícola Experimental de la FES Zaragoza Campus 2:

Tabla 19. Consumo energético

Fuente: Elaboración propia.

➤ Baterías

Las baterías "CALE Solar 12V 115Amperios" ácido-plomo de ciclado profundo, son ampliamente usadas en sistemas fotovoltaicos aislados por su costo y alta disponibilidad en el mercado. Las características de la batería son las siguientes



Figura 51. Batería "CALE Solar 12V 115 Ah"

Fuente: <https://www.calesolar.com>

MODELO	VOLTAJE	CAPACIDAD (Ah)	CAPACIDAD DE DESCARGA	DIMENSIONES (cm) L x W x H
L-31T/S-190M	12 V	115 Ah @ 20hrs	60%	33 x 17.2 x 23.9

Tabla 20. Características de Batería " CALE Solar 12V 115 A"

Fuente: <https://www.calesolar.com>



Características de la batería:

Denominación	CALE Solar 12V 115 Amperios	
Capacidad nominal	115	Ah @ 20hrs
Voltaje nominal	12	V
Dimensiones	33 x 17.2 x 23.9	cm

Tabla 21. Batería " CALE Solar 12V 115A

Fuente: <https://www.calesolar.com>

Eficiencia = 85%

N=días de autonomía=2

Voltaje del sistema: 24 VCD

▪ **Amp-h día Promedio (Ah/día)**

Carga Diaria Promedio CA (Wh/día)	÷	Eficiencia del Inversor (%)	+	Carga Diaria Promedio CD (Wh/día)	÷	Voltaje CD del Sistema (Volts)	=	Amp-h/ día Promedio (Ah/día)
1,272		90		0		24		58.9

▪ **Baterías en paralelo**

Amp-h/ día Promedio (Ah/día)	X	Días de Autonomía (Días)	÷	Límite de Descarga DOD (%)	÷	Capacidad de las Baterías (Ah)	=	Baterías en Paralelo (Unidades)
58.9		2.00		60		115		2

▪ **Baterías en serie**

Voltaje CD del Sistema (Volts)	÷	Voltaje de cada Batería (Volts)	=	Baterías en Serie (Unidades)
24		12.0		2

▪ **Total de baterías**

Baterías en Serie (Unidades)	x	Baterías en Paralelo (Unidades)	=	Total de Baterías (Unidades)
2		2		4

➤ Módulos fotovoltaicos

Para aprovechar la máxima eficiencia de los módulos es necesario conocer los siguientes datos del lugar de instalación:

- Superficie para instalación de paneles
- Disponibilidad de superficie

Los módulos Canadian solar han tenido una aceptación positiva en el mercado, ofreciendo una amplia gama de paneles (monocristalinos - policristalinos) contando con diversos certificados internacionales que avalan la calidad de su producto.

19

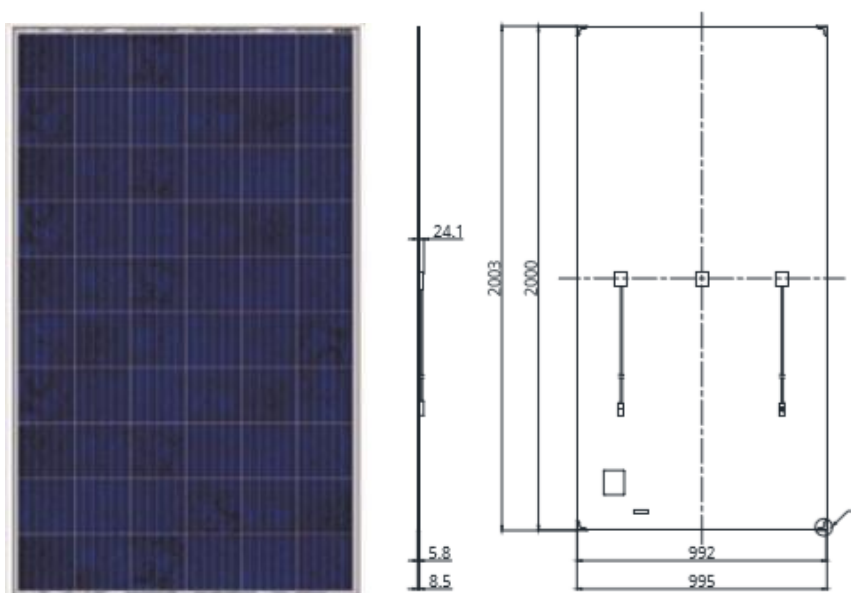


Figura 52. Panel solar “CS6K-270P”

Fuente: <https://www.canadiansolar.com>

¹⁹ NOTA: Las medidas del panel se encuentran en mm

Datos del Módulo FV a STC	CS6K-270P	
Potencia	270	W
Voc	37.9	VDC
Vmp	30.8	VDC
Isc	9.32	ADC
Imp	8.75	ADC
Coef. De temp. De potencia (ctp):	-0.4	% / °K
Coef. De temp. De voltaje (ctv):	-0.31	% / °K
Coef. De temp. De corriente (cti):	0.05	% / °K
Noct	43	°C

Tabla 22. Características del módulo fotovoltaico “CanadianSolar” CS6K-270P

Fuente: <https://www.canadiansolar.com>

❖ Cálculos de efectos por temperaturas en panel solar:

Datos:

Ángulo de inclinación (SM)	$SM = 34^\circ$
Coeficiente térmico	$Cf = 1.0$
Temperatura ambiente del día	$T_{amb. día} = T^{med} + 4^\circ = 20.5^\circ C$
Temperatura a condiciones estándar de prueba	$T_{stc} = 25^\circ C$
Índice de claridad (KT)	$KT_{med, mín, máx} = 0.58 / 0.56 / 0.52$
Radiación incidente	$Ri = 800 W/m^2$

Temperatura del módulo promedio (T_{mprom})

$$= (219 + (832 * KT_{med.})) * \frac{Noct - 20}{Ri} * Cf + T_{amb. día} = 40.7^\circ C$$

Temperatura del módulo mínima ($T_{mmín}$)

$$= (219 + (832 * KT_{mín.})) * \frac{Noct - 20}{Ri} * Cf + T_{mín.} = 20.7^\circ C$$

Temperatura del módulo máxima ($T_{mmáx}$)

$$= (219 + (832 * KT_{máx.})) * \frac{Noct - 20}{Ri} * Cf + T_{máx.} = 61.7^\circ C$$



Voltajes e intensidades a temperaturas mínimas y máximas del módulo fotovoltaico:

XI. Voltaje en circuito abierto a temperatura mínima ($V_{ocmín}$):

$$V_{ocmín} = V_{oc} \times [1 + (T_{mmín} - T_{stc}) \times C_{tv}] = 38.41 \text{ VCD}$$

XII. Voltaje en circuito abierto a temperatura máxima ($V_{ocmáx}$):

$$V_{ocmáx} = V_{oc} \times [1 + (T_{mmáx} - T_{stc}) \times C_{tv}] = 33.59 \text{ VCD}$$

XIII. V_{mp} a temperatura máxima en operación ($V_{mptmáx}$):

$$V_{mptmáx} = V_{mp} \times [1 + (T_{mmáx} - T_{stc}) \times C_{tv}] = 27.30 \text{ VCD}$$

XIV. V_{mp} a temperatura mínima en operación ($V_{mptmín}$):

$$V_{mptmín} = V_{mp} \times [1 + (T_{mmín} - T_{stc}) \times C_{tv}] = 31.21 \text{ VCD}$$

XV. V_{mp} a temperatura prom. de los módulos en operación ($V_{mp \text{ prom}}$):

$$V_{mp \text{ prom}} = V_{mp} \times [1 + (T_{mprom} - T_{stc}) \times C_{tv}] = 29.30 \text{ VCD}$$

XVI. I_{mp} a temperatura prom. de los módulos en operación ($I_{mp \text{ prom}}$):

$$I_{mp \text{ prom}} = I_{mp} \times [1 + (T_{mprom} - T_{stc}) \times C_{ti}] = 8.82 \text{ ACD}$$

XVII. I_{mp} a temperatura mín. de los módulos en operación ($I_{mptmín}$):

$$I_{mptmín} = I_{mp} \times [1 + (T_{mmín} - T_{stc}) \times C_{ti}] = 8.73 \text{ ACD}$$

XVIII. I_{sc} a temperatura máx. de los módulos en corto circuito ($I_{sctmáx}$):

$$I_{sctmáx} = I_{sc} \times [1 + (T_{mmáx} - T_{stc}) \times C_{ti}] = 9.49 \text{ ACD}$$

XIX. Potencia a temperatura promedio de los módulos (P_{prom}):

$$P_{prom} = V_{mp \text{ prom}} \times I_{mp \text{ prom}} = 258.43 \text{ W}$$

XX. Potencia máxima a temperatura mínima de los módulos ($P_{máx}$):

$$P_{máx} = V_{mptmín} \times I_{mptmín} = 272.46 \text{ W}$$



Eficiencia del sistema FV autónomo (Equipos y accesorios):

VARIABLE	DEFAULT	MÍN	MÁX	UTILIZADO
Especificaciones en CD de los módulos	0.98	0.80	1.05	0.98
Transformador	0.99	0.96	0.99	1.00
Inversor	0.93	0.88	0.98	0.93
Controlador de carga	0.98	0.95	0.99	0.98
Banco de baterías	0.85	0.80	0.87	0.85
Diferencias entre módulos	0.98	0.97	1.00	0.98
Diodos y conexiones	0.995	0.99	1.00	0.995
Cableado de CD	0.98	0.97	0.99	0.98
Cableado de CA	0.99	0.98	0.99	0.99
Ensuciamiento	1.00	0.30	1.00	1.00
Disponibilidad del sistema	1.00	0.00	1.00	1.00
Incidencia de sombras	1.00	0.00	1.00	1.00
Seguidor de sol	1.00	0.95	1.00	1.00
Condiciones micro climáticas	1.00	0.85	1.00	1.00
Envejecimiento	1.00	0.70	1.00	1.00
TOTAL (EFICIENCIA POR PÉRDIDAS)	0.710			0.718

Tabla 23. Factor de pérdidas de un Sistema FV Autónomo

Fuente: Scheckel, Paul. (2007) "Efficiency Details for a Clean Energy Change," Home Power 121,40-45.

❖ Eficiencia de módulos a temperatura promedio

Datos:

- $P_{prom} = 258.43 \text{ Watts}$
- $P_{stc} = 270.00 \text{ Watts}$

$$\text{Eficiencia por temperatura} = \frac{\text{Potencia a } T^{\circ} \text{ prom. de módulo}}{\text{Potencia a condiciones estándar}}$$

$$\text{Eficiencia por temperatura} = 0.96$$

❖ Eficiencia del sistema

$$\text{Eficiencia del sistema} = (\text{Eficiencia por pérdidas}) (\text{Eficiencia por temperatura})$$

$$\text{Eficiencia del sistema} = 70.5\%$$

❖ Número de módulos solares

Datos:

Energía requerida por día = 1,270 Wh/día

Radiación promedio = 5,600 Wh/m²/día

Eficiencia del sistema = 70.5%

Potencia nominal de los módulos = 270W

$$\text{Potencia requerida} = \frac{\text{Energía requerida por día}}{\text{Radiación promedio}} = \left(\frac{1.27 \text{ kWh/día}}{5.6 \text{ h/día}} \right) = 226 \text{ W}$$

$$\text{Potencia del sistema FV} = \frac{\text{Potencia requerida}}{\text{Eficiencia del sistema}} = \left(\frac{0.226 \text{ kW}}{70.5 \%} \right) = 320 \text{ W}$$

$$\text{No. de módulos necesarios} = \frac{\text{Potencia del sistema FV} * 1000}{\text{Potencia nominal de los módulos}} = \mathbf{2 \text{ Módulos}}$$

➤ Regulador de carga

Se eligió este regulador de carga, ya que cuenta con las características requeridas para el sistema fotovoltaico autónomo.



Figura 53. Regulador de carga "SRNE-ML 4860"

Fuente: <https://www.conermex.com.mx/catalogo-2019.pdf>

Regulador de carga MPPT	ML4860	
Voltaje Nominal a Baterías	24.0	V
Corriente Máxima a Baterías	60.0	A
Max. Voltaje Entrada PV (Voc)	150.0	V
Min. Voltaje Entrada (Vmp)	145.0	V
Máx. Potencia Entrada PV	1,600.0	W
Max. Corriente Entrada PV (Isc)	60.0	A

Tabla 24. Características del regulador de carga “SRNE-ML4860”

Fuente: <https://www.conermex.com.mx/catalogo-2019.pdf>

Se describen a continuación dos principios fundamentales para la selección del regulador de carga:

- I. Seleccionar en base al voltaje nominal del sistema
- II. Seleccionar una potencia del regulador mayor a la potencia del sistema FV

Regulador de carga seleccionado:

Regulador de carga MPPT	SRNE-ML4860	
Voltaje Nominal a Baterías	24.0	V
Corriente Máxima a Baterías	70.0	A
Max. Voltaje Entrada PV Voc	150.0	V
Min. Voltaje Entrada Vmp	36.0	V
Máx. Potencia Entrada PV Watts	1,600.0	W
Max. Corriente Entrada PV Isc	60.0	A

Tabla 25. Regulador de carga MPPT SRNE-ML 4860

Fuente: <https://www.conermex.com.mx/catalogo-2019.pdf>

Una vez conocidas las características técnicas del regulador de carga se procede a calcular la cantidad mínima y máxima de módulos por voltaje, corriente y potencia.

Número mínimo de módulos en serie por voltaje

- $V_{min\ arranque} = \text{Min. Voltaje entrada Vmp (Regulador)} = 36.00\text{ V}$
- $V_{oc\ máx\ módulo} = 33.59\text{ V}$

$$\text{No. mín módulos por voltaje} = (V_{min\ arranque} * 1.1) / V_{oc\ mín}$$

$$\text{No. mín de módulos por voltaje} = 2\text{ Módulos}$$



Número máximo de módulos en serie por voltaje

- $V_{\text{máx entrada}} = \text{Max. Voltaje entrada PV Voc} = 150.0 \text{ V}$
- $V_{\text{oc máx módulo}} = 38.41 \text{ V}$

$$\text{No. máx módulos} = V_{\text{máx entrada}} / V_{\text{oc máx}}$$

$$\text{No. máx de módulos en serie por voltaje} = 3 \text{ Módulos}$$

Número máximo de módulos en paralelo por corriente

- $\text{Corriente máxima de entrada al regulador} = 60.00 \text{ A}$
- $\text{Corriente a temperatura máxima del módulo } I_{\text{sc}} = 9.49 \text{ A}$

$$\text{No. máx de módulos en paralelo por corriente}$$

$$= \frac{\text{Corriente máxima de entrada al regulador}}{\text{Corriente a temperatura máxima del módulo } I_{\text{sc}}}$$

$$\text{No. máx de módulos en paralelo por corriente} = 6 \text{ Módulos}$$

Núm. máximo de módulos por voltaje y corriente

$$= \text{Número máximo de módulos en paralelo por corriente}$$

$$* \text{Número máximo de módulos en serie por voltaje}$$

$$\text{Núm. máximo de módulos por voltaje y corriente} = 18 \text{ Módulos}$$

Número máximo de módulos por potencia

$$\text{Potencia máxima de entrada al regulador} = 1600.00 \text{ W}$$

$$\text{Potencia máx a temp mín de las celdas} = 272.46 \text{ W}$$

$$\text{No. máx de módulos por potencia} = \frac{1600.00}{272.46} \approx 5$$



CONFIGURACIÓN DEL ARREGLO SERIE-PARALELO DE MÓDULOS / REGULADOR MPPT

De acuerdo a la potencia requerida, se deberán formar los arreglos de los módulos en serie y paralelo, acorde a los límites permisibles de las cantidades mínimas y máximas de módulos por voltaje, corriente y potencia.

Para conocer el número de arreglos se elabora la siguiente tabla evaluando los criterios permitidos del sistema:

				POTENCIA DEL SISTEMA FV: 320 W	
	Módulos en serie (por voltaje)	Módulos en paralelo (por corriente)	Módulos Totales por voltaje y corriente	Potencia efectiva*	Observaciones
Criterios	Mín.:2 – Máx.:3	Máx.:6	Máx.: 18	Potencia efectiva \geq Potencia requerida	
Arreglos	2	1	2	381 W	Se cumple con los criterios mínimos y máximos del número de módulos.

*Numero de Módulos Totales por voltaje y corriente = Módulos en serie * Módulos en paralelo*

$$\text{Numero de Módulos Totales por voltaje y corriente} = 2 \text{ Módulos}$$

Potencia generada

$$= \frac{\text{Numero de Módulos Totales por voltaje y corriente} * \text{Potencia nominal de módulos}}{1000}$$

$$= 540 \text{ W}$$

$$\text{Potencia efectiva}^{20} = \frac{\text{Potencia generada} * \text{Eficiencia del sistema}}{100} = 381 \text{ W}$$

Por lo tanto, el arreglo en serie-paralelo de los módulos fotovoltaicos queda de la siguiente manera:

²⁰ Potencia efectiva para 1 HSP

- Arreglos en serie: 2
- Arreglos en paralelo: 1

➤ Inversor fotovoltaico

Para proponer el tipo de inversor a utilizar se tuvo que realizar primero una medición en el punto de arranque del compresor, ya que hay que asegurarse de que aguante los picos de arranque del compresor y con base a ese dato y el dato de la tensión del sistema se pudo elegir el siguiente equipo:



Figura 54. Inversor " IC4500-E24S120"

Fuente: <http://invercom.com.mx/inversores/4500-24-120.html>

Inversor	IC4500-E24S120	
Potencia CA cont. de salida a 25 °C	1500	W
Pico de potencia	4500	W
Voltaje de entrada	24	V
Tensión / frecuencia CA de salida	120VAC +/- 5% 60Hz	

Tabla 26. Característica de inversor " IC4500-E24S120"

Fuente: <http://invercom.com.mx/inversores/4500-24-120.html>

Para la selección del inversor se deben considerar los siguientes requerimientos del sistema:

Potencia nominal mayor o igual a :	53	W
Potencia pico mayor o igual a :	159	W
Voltaje de entrada ²¹ :	24.0	VCD
Voltaje de salida ²² :	115	VCA

Tabla 27. Requerimientos para el inversor del sistema FV

Fuente: Elaboración propia

²¹ Voltaje de entrada = Voltaje nominal de banco de baterías

²² Voltaje de salida = Voltaje de equipos en Corriente Alterna (VCA)



En base a las especificaciones anteriores se continúa a seleccionar el inversor que más se ajuste a los requerimientos.

Características del inversor seleccionado:

Inversor	IC4500-E24S120	
Potencia CA cont. de salida a 25 °C	1500	Watts
Pico de potencia	4500	Watts
Voltaje de entrada	24	v
Tensión / frecuencia CA de salida	120VAC +/- 5% 60Hz	

Tabla 28. Inversor “IC4500-E24S120”

Fuente: <http://invercom.com.mx/inversores/4500-24-120.html>

➤ Cálculo de la selección de los cables

Para el cálculo de la selección de cable, en los distintos tramos de la instalación fotovoltaica, se utiliza la siguiente ecuación:

$$S = \frac{(2)(L)(I)}{(K)(\Delta V)}$$

Donde:

S =Sección normalizada calculada

L = longitud del cable

I = intensidad de corriente (A)

K = conductividad $\frac{m}{\Omega mm^2}$

ΔV = caída de tensión

En la siguiente tabla se muestran las caídas típicas de tensión en el cableado

Tramo del Sistema	Caída de tensión máxima (%)
Paneles - Regulador	3
Regulador – Baterías	1
Baterías – Inversor	1

Tabla 29. Guía general para caídas máximas de tensión

Fuente: Style Oliver. (2012). *ENERGÍA SOLAR AUTÓNOMA, "Planificación, dimensionado e instalación de un sistemas fotovoltaico autónomo". Estados Unidos: Style Oliver.*



❖ PANELES – REGULADOR

Datos:

$$L=3 \text{ m}$$

$$K=56 \frac{m}{\Omega \text{ mm}^2}$$

I= Intensidad de corriente máxima de los paneles

$$I = \text{Número de módulos en paralelo} * I_{sctm\acute{a}x} = 9.49 \text{ A}$$

V=Voltaje de sistema FV

$$V = \text{Voltaje máximo de modulo} * \text{Número de módulos en serie} = 76.18 \text{ V}$$

$$\Delta V = \frac{(\text{Caída de tensión máxima (\%)}_{\text{Paneles - Regulador}}) * (\text{Voltaje de sistema FV})}{100}$$

$$\Delta V = \frac{(3)(24 \text{ V})}{100} = 0.72 \text{ V}$$

Selección de cableado

$$S = \frac{(2)(L)(I)}{(K)(\Delta V)}$$

$$S = \frac{(2)(3\text{m})(9.49\text{A})}{(56 \frac{m}{\Omega \text{ mm}^2})(0.72 \text{ V})} = 1.4122 \text{ mm}^2$$

Una vez determinado el valor de la sección normalizada real ir a la tabla de dimensiones de conductores eléctricos (ANEXO 1) y seleccionar el diámetro próximo mayor. Posteriormente seleccionar el calibre AWG del cable con la sección normalizada nominal encontrada.

Por lo tanto:

$$S_{\text{nominal}} = 2.08 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{AWG} = 14$$



❖ REGULADOR – BATERÍAS

Datos:

$$L=2 \text{ m}$$

$$K=56 \frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2}$$

$$I=9.49 \text{ A}$$

$$\text{Tensión del sistema} = 24\text{V}$$

$$\Delta V = \frac{(\text{Caída de tensión máxima (\%)}_{\text{Regulador-baterías}}) * (\text{Tensión del sistema})}{100}$$

$$\Delta V = \frac{(1)(24\text{V})}{100} = 0.24\text{V}$$

Selección de cableado

$$S = \frac{(2)(L)(I)}{(K)(\Delta V)}$$

$$S = \frac{(2)(2\text{m})(9.49 \text{ A})}{(56 \frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2})(0.24 \text{ V})} = 2.8244 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{nominal}} = 3.31 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{AWG} = 12$$

❖ BATERÍAS – INVERSOR

Datos:

$$L=2 \text{ m}$$

$$K=56 \frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2}$$

$$\text{Tensión del sistema} = 24\text{V}$$

I= Intensidad de corriente

$$I = \frac{\text{Potencia mínima del inversor}}{\text{Tensión del sistema}} = \frac{1500\text{W}}{24\text{V}} = 62.5 \text{ A}$$

$$\Delta V = \frac{(Caída\ de\ tensión\ máxima\ (\%)\ Paneles - Regulator) * (Tensión\ del\ sistema)}{100}$$

$$\Delta V = \frac{(1)(24V)}{100} = 0.24V$$

Selección de cableado

$$S_{real} = \frac{(2)(L)(I)}{(K)(\Delta V)}$$

$$S_{real} = \frac{(2)(2m)(62.5\ A)}{(56\ \frac{m}{\Omega\ mm^2})(0.24\ V)} = 18.6011\ mm^2$$

$$S_{nominal} = 21.15\ mm^2 \rightarrow AWG = 4$$

Ubicación de los módulos fotovoltaicos

Para el este compresor se pondrán dos postes, ya que la cantidad de paneles son muy pocos.



Imagen 18. Ubicación para instalación de módulos fotovoltaicos

Fuente: <https://www.google.com.mx/maps/>

COTIZACION DE SISTEMA

Para este compresor se eligió realizar la cotización con la empresa MEXSOL, ya que nos ofrecieron equipos de alta calidad y con costos muy accesibles. Además de que es una de las empresas con más años de experiencia en sistemas fotovoltaicos.

Tecnología de punta, rentabilidad y
eficacia comprobada



REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

Cuadro de cargas					
Descripción (Carga)	Potencia (W)	Unidades	Potencia Instalada (W)	Horas/Día	Consumo (Wh/d)
Compresor	53	1	53	24	1272
					1272

COSTOS

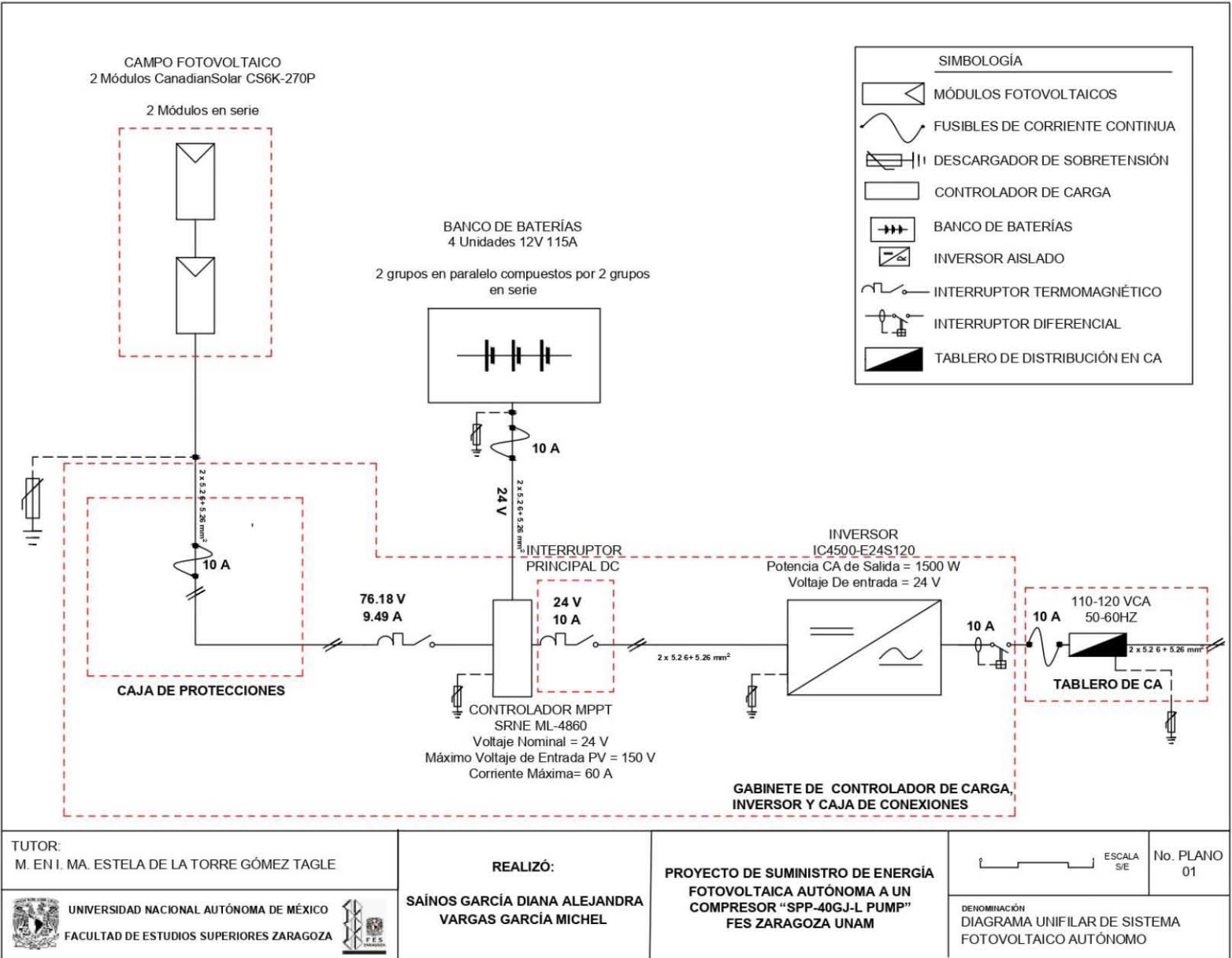
La energía necesaria por día es de 1272 Wh, por lo cual se necesitan los siguientes componentes que se describen a continuación:

Sistema Fotovoltaico Autónomo				
Cantidad (pza.)	Componentes que integran el sistema	Precio Unitario (USD)	Total (USD)	Total (MXN)
2	Modulo solar 270 W	\$ 131.00	\$ 262.00	\$ 5,085.42
1	Controlador 24V 20 Amperes	\$ 29.00	\$ 29.00	\$ 562.89
1	Inversor onda modificada 1500W / 24V	\$ 130.00	\$ 130.00	\$ 2,523.30
4	Baterías libres de mantenimiento de 12 V a 115 Ah	\$ 115.00	\$ 460.00	\$ 8,928.20
1	Rack metálico para baterías	\$ 42.00	\$ 42.00	\$ 815.22
1	Materiales para instalación (KIT)	\$ 239.00	\$ 239.00	\$ 4,638.99
1	Estructura fabricada en aluminio con tornillería de acero inoxidable para montaje de los módulos solares en losa de concreto.	\$ 132.00	\$ 132.00	\$ 2,562.12
1	Instalación y puesta en marcha del sistema. (más viáticos)	\$ 185.00	\$ 185.00	\$ 3,590.85
	Subtotal		\$ 1,479.00	\$ 28,707.39
	16% IVA		\$ 236.64	\$ 4,593.18
	Total		\$ 1,715.64	\$ 33,300.57

Imagen 19. Cotización MEXSOL



ANEXO 10. Diagrama Unifilar Del Sistema Fotovoltaico Autónomo Compresor "SPP-40GJ-L PUMP"



Fuente: Elaboración propia

TUTOR:
M. EN I. MA. ESTELA DE LA TORRE GÓMEZ TAGLE

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA



REALIZÓ:

SAÍNOS GARCÍA DIANA ALEJANDRA
VARGAS GARCÍA MICHEL

PROYECTO DE SUMINISTRO DE ENERGÍA
FOTOVOLTAICA AUTÓNOMA A UN
COMPRESOR "SPP-40GJ-L PUMP"
FES ZARAGOZA UNAM

ESCALA
SE

No. PLANO
01

DENOMINACIÓN
DIAGRAMA UNIFILAR DE SISTEMA
FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO



ANEXO 11. Plano de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza UNAM, Campus II



**ÁREAS DE INTERÉS
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA
C A M P U S I I**

1	SANITARIOS	7	PASAJE CULTURAL
2	AUDITORIO	8	JEFATURAS CARRERAS BIOLOGÍA Y QFB
3	UNIDAD DE FORMACIÓN INTEGRAL	9	GIMNASIO
4	JEFATURA CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA	10	ESTACIONAMIENTO DE BICICLETAS
5	FORO CULTURAL	11	PUMAS
6	ESTACIONAMIENTO DE MOTOCICLETAS		

