



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO
PARA UNA RESIDENCIA DE
ACUERDO AL ESTÁNDAR DE COMPETENCIA EC0586**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTA:

MADELYN SANDRA RAMÍREZ VERDUZCO

ASESOR:

DR. PEDRO GUZMÁN TINAJERO



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.



Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Implementación de un Sistema Fotovoltaico para una residencia de acuerdo al Estandar de Competencia EC0586

Que presenta la pasante: MADELYN SANDRA RAMÍREZ VERDUZCO
Con número de cuenta: 40603794-3 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería Mecánica Eléctrica

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 19 de febrero de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Ing. Oscar Cervantes Torres	
VOCAL	M. en I. Ramón Osorio Galicia	
SECRETARIO	Dr. Pedro Guzmán Tinajero	
1er. SUPLENTE	Ing. Ángel Isaías Lima Gómez	
2do. SUPLENTE	Ing. Arturo Ávila Vázquez	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/ntm*

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por su apoyo incondicional y ser un pilar fundamental en mi formación tanto académica, como personal.

A cada uno de mis profesores que participaron en mi desarrollo y formación profesional durante mi carrera, compartiendo sus conocimientos y experiencias.

A mi asesor, por haber confiado en mi persona, por su paciencia y dirección en el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE.....	1
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1 Carga Eléctrica.....	20
2.2 Corriente y voltaje	23
2.3 Luz.....	27
2.4 Calor.....	28
2.5 Circuito Eléctrico	29
2.6 Leyes de Kirchhoff.....	31
2.8 Potencia y Energía	35
2.9 Inductor	35
2.10 Capacitor	37
2.11 Circuito Abierto y Cortocircuito	38
2.12 Fuentes	39
2.13 Circuitos en Serie y en Paralelo	41
2.14 Generación de Tensión de CA Senoidal.....	43
2.15 Valores efectivos (rms).....	54
2.16 Sistema de Energía Eléctrica	55
2.16.1 Plantas Generadoras.....	56
2.16.2 Subestaciones Elevadoras.....	56
2.16.3 Líneas de Transmisión.....	57
2.16.4 Subestaciones Reductoras.....	57
2.16.5 Redes de Distribución.....	58
2.16.6 Cargas.....	58
2. 17 Generación Solar.....	59
2.17.1 Efecto Fotoeléctrico.....	63
2.17.2 Módulo Fotovoltaico.....	68

3.1 Sistemas Fotovoltaicos Aislados.....	75
3.2 Sistemas Fotovoltaicos Interconectados a la Red.....	78
3.3 Componentes del Sistema Fotovoltaico.....	80
3.3.1 Generador Solar.....	80
3.3.2 Inversor.....	81
3.3.3 Batería.....	86
3.3.4. Elementos de Protección.....	87
3.3.5 Puesta a tierra.....	90
3.3.6 Cableado y Cajas de Conexión.....	91
3.3.7. Medidor Bi-direccional.....	93
3.4. Montaje de un sistema fotovoltaico.....	95
3.4.1. Tipos de montaje.....	97
3.4.2 Operación en Modo Isla.....	100
3.4.3. Mantenimiento.....	101
CAPÍTULO 4. CERTIFICACIÓN Y NORMATIVIDAD.....	102
4.1 NOM 017-STPS-2008.....	103
4.2. NOM 001-SEDE-2012.....	105
4.3. NOM-009-STPS-2011.....	106
4.4. Estándar de Competencia EC587.....	107
4.5. Especificación CFE G0100-04 “Interconexión a la red eléctrica de baja tensión de sistemas fotovoltaicos con capacidad hasta 30 kW”.....	113
CAPÍTULO 5. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	117
CONCLUSIONES.....	137
ANEXO A. SOLICITUD PARA LA CONEXIÓN DE UN CLIENTE CON GENERACIÓN RENOVABLE.....	139
ANEXO B. HOJA DE DATOS MICROINVERSOR M215 ENPHASE.....	140
ANEXO C. HOJA DE DATOS PANEL FOTOVOLTAICO TSM-PC05A.....	142
ANEXO D. CHECK LIST EC0586.....	144
REFERENCIAS.....	150

ÍNDICE DE FIGURAS.

CAPÍTULO 1.

Figura 1.1. El sol.....	1
Figura 1.2 La tierra.	2
Figura 1.3. Lámpara de queroseno.....	3
Figura 1.4. Mina de carbón.	4
Figura 1.5. Máquina de vapor Stephenson.....	5
Figura 1.6. Energía renovable y energía no renovable.....	6
Figura 1.7. Consumo mundial de energía.	7
Figura 1.8. Energías solar y eólica.	8
Figura 1.9. Auto eléctrico Leaf.	9
Figura 1.10. Logotipo FIDE.....	9
Figura 1.11. Ahórrate una luz.	10
Figura 1.12. Satélite Vanguard I.	13
Figura 1.13. Evolución de la producción fotovoltaica instalada en el mundo.	14
Figura 1.14. Programa de certificación FIDE.....	15
Figura 1.15. Registro Nacional de Estándares de Competencia	16

CAPÍTULO 2.

Figura 2.1. Estados de la materia.	18
Figura 2.2. Composición de la materia en sus partículas eléctricas.....	19
Figura 2.3. Cargas del mismo signo.....	20
Figura 2.4. Cargas de signo opuesto.	20
Figura 2.5. Ley de Coulomb.	21
Figura 2.6. Ley de Coulomb expresada en forma vectorial.	22
Figura 2.7. Ecuación de Magnitud vectorial.	22
Figura 2.8. Vector unitario en cargas del mismo signo.....	22
Figura 2.9. Vector unitario en cargas de signo opuesto.	23
Figura 2.10. Ecuación del Flujo de corriente.....	23
Figura 2.11. Flujo de electrones en un circuito con una batería.	24
Figura 2.12. Flujo de corriente en el elemento de un circuito.....	25
Figura 2.13. Corriente alterna (C.A).	25
Figura 2.14. Corriente directa (C.D.).....	25
Figura 2.15. Ecuación de energía.....	26
Figura 2.16. Voltaje C.D.....	26
Figura 2.17. Voltaje a través de un elemento en un circuito eléctrico.	27
Figura 2.18. Voltaje producido por luz.	28
Figura 2.19. Voltaje producido por calor.	29
Figura 2.20. Ley de la corriente de Kirchhoff.....	31
Figura 2.21. Ecuación de Corriente de entrada y salida.....	31
Figura 2.22. Ley de los voltajes de Kirchhoff.....	32
Figura 2.23. Ley de ohm.	33

Figura 2.24. Símbolo de resistencia.....	33
Figura 2.25. Ley de ohm en forma gráfica.....	34
Figura 2.26. Ecuación de Potencia.....	35
Figura 2.27. Símbolo eléctrico para un inductor.....	36
Figura 2.28. Ecuación de Inductancia.....	36
Figura 2.29. Ecuación de Inductancia.....	37
Figura 2.30. Símbolo eléctrico de un capacitor.....	37
Figura 2.31. Capacitor.....	37
Figura 2.32. Ecuación de Capacitancia.....	38
Figura 2.33. Cortocircuito.....	38
Figura 2.34. Circuito abierto.....	39
Figura 2.35. Tipos de fuentes que suministran energía.....	40
Figura 2.36. Ecuación de Corriente total en un circuito en paralelo.....	41
Figura 2.37. Ecuación de Voltaje total en un circuito en paralelo.....	41
Figura 2.38. Ecuación de Resistencia total en un circuito en paralelo.....	41
Figura 2.39. Circuito en paralelo.....	41
Figura 2.40. Ecuación de Corriente total en un circuito en serie.....	42
Figura 2.41. Ecuación de Voltaje total en un circuito en serie.....	42
Figura 2.42. Ecuación de Resistencia total en un circuito en serie.....	42
Figura 2.43. Circuito en serie.....	42
Figura 2.44. Distintas fuentes de energía de ca.....	43
Figura 2.45. Generador síncrono.....	44
Figura 2.46. Ley de Faraday.....	44
Figura 2.47. Turbina y generador.....	45
Figura 2.48. Planta hidroeléctrica.....	45
Figura 2.49. Turbinas submarinas.....	46
Figura 2.50. Central nuclear.....	47
Figura 2.51. Turbina eólica.....	48
Figura 2.52. Eficiencia energética.....	49
Figura 2.53. Triángulo de potencias.....	50
Figura 2.54. Factor de potencia.....	50
Figura 2.55. Relación radianes y grados.....	51
Figura 2.56. Generación de una onda senoidal mediante la proyección vertical.....	51
Figura 2.57. Ecuación de Velocidad angular.....	51
Figura 2.58. Ecuación de Frecuencia.....	52
Figura 2.59. Formato general para tensión y corriente senoidales.....	52
Figura 2.60. Función senoidal básica.....	53
Figura 2.61 Relación de fase entre una onda senoidal y una cosenoidal.....	53
Figura 2.62. Relación entre cantidades de ca y cd.....	54
Figura 2.63. Ecuación de Potencia en ca en una onda senoidal.....	54
Figura 2.64. Ecuación de Igualdad entre potencia en ca y potencia en cd.....	55
Figura 2.65. Sistema de energía eléctrica.....	56
Figura 2.66. Red de distribución monofásica y trifásica.....	57
Figura 2.67. Curva de potencia diaria.....	59
Figura 2.68. Esquema del sol y características de la radiación emitida.....	60
Figura 2.69. Representación de la constante solar.....	60
Figura 2.70. Radiación directa y difusa.....	61

Figura 2.71. Valores de radiación solar en el mundo (kWh/m ² /año).....	62
Figura 2.72. Curva de radiación real.....	63
Figura 2.73. Efecto fotoeléctrico.....	64
Figura 2.74. Esquema de generación fotovoltaica.....	65
Figura 2.75. Estructura célula fotovoltaica.....	65
Figura 2.76. Curva de célula fotovoltaica.....	67
Figura 2.77. Ecuación del factor de forma.....	68
Figura 2.78. Ecuación de eficiencia.....	68
Figura 2.79. Partes de un módulo fotovoltaico.....	69
Figura 2.80. Ecuaciones de asociación en serie.....	70
Figura 2.81. Asociación de módulos fotovoltaicos en serie.....	71
Figura 2.82. Ecuaciones de asociación en paralelo.....	71
Figura 2.83. Asociación de módulos fotovoltaicos en paralelo.....	72
Figura 2.84. Asociación mixta.....	72
Figura 2.85. Caja de conexiones de un módulo FV.....	73
Figura 2.86. Módulos fotovoltaicos.....	74

CAPÍTULO 3.

Figura 3.1. Clasificación de los sistemas fotovoltaicos.....	75
Figura 3.2. Sistema fotovoltaico aislado.....	76
Figura 3.3. Iluminación para vía pública.....	76
Figura 3.4. Satélite con celdas solares.....	77
Figura 3.5. Sistema fotovoltaico con salida de 1-10 W.....	78
Figura 3.6. Esquema de un sistema fotovoltaico interconectado a la red.....	79
Figura 3.7. Módulos fotovoltaicos.....	80
Figura 3.8. Inversor Fronius IG.....	81
Figura 3.9. Visualización por ordenador de un Fronius.....	83
Figura 3.10. Configuración de un inversor en un sistema fotovoltaico.....	84
Figura 3.11. Microinversor.....	85
Figura 3.12. Monitoreo de un SFVI con microinversor.....	86
Figura 3.13. Batería para uso solar.....	87
Figura 3.14. Diodos by pass en módulos solares en serie.....	88
Figura 3.15. Interruptor termomagnético BTDIN.....	89
Figura 3.16. Localización de los interruptores de desconexión con la red, responsabilidad del usuario....	90
Figura 3.17. Cable desnudo de cobre para conexión a tierra.....	91
Figura 3.18. Cable solar.....	92
Figura 3.19. Cables THW.....	92
Figura 3.20. Conectores MC4.....	93
Figura 3.21. Medidor bi-direccional.....	94
Figura 3.22. Aparatos electrodomésticos.....	95
Figura 3.23. Definición de Latitud (ϕ) y longitud (Lon).....	96
Figura 3.24. Efecto de la inclinación en la energía solar capturada.....	97
Figura 3.25. Estructura metálica.....	98
Figura 3.26. Montaje tipo lastre.....	99
Figura 3.27. Montaje en techo por separado.....	100

CAPÍTULO 4

Figura 4.1. Símbolo de advertencia de seguridad.	103
Figura 4.2. Logos NMX y NOM.....	104
Figura 4.3. Equipo de protección.	105
Figura 4.4. Uso de sistemas personales de restricción.	108
Figura 4.5. Red CONOCER de Prestadores de Servicios.....	109
Figura 4.6. Programas de capacitación red CONOCER.	110
Figura 4.7. Elementos del EC0586.	112
Figura 4.8. Estándar de Competencia.	113
Figura 4.9. Esquema de protección contra fallas a tierra para generadores aterrizados.....	114
Figura 4.10. Servicio monofásico a dos hilos con carga hasta 5 kW en baja tensión, red aérea.	115
Figura 4.11. Servicio monofásico a tres hilos con carga hasta 10 kW en baja tensión, red aérea.	116

CAPÍTULO 5.

Figura 5.1. Techo de la casa.....	119
Figura 5.2. Plano de la estructura.....	122
Figura 5.3. Plano del proyecto.	123
Figura 5.4. Parte de atrás del panel fotovoltaico.	125
Figura 5.5. Estructura metálica, plano y torquímetro.....	126
Figura 5.6. Estructura metálica armada.	127
Figura 5.7. Caja de conexiones KAEDRA.	129
Figura 5.8. Etiqueta para el microinversor.....	130
Figura 5.9. Etiqueta para centro de carga y caja KAEDRA.....	130
Figura 5.10. Etiqueta para módulos fotovoltaicos.	131
Figura 5.11. Etiqueta para cableado de C.D.	131
Figura 5.12. Etiqueta para el punto de interconexión (caja de conexiones).....	131
Figura 5.12. Medición de corriente con amperímetro de gancho.....	133
Figura 5.13. Datos de placa del módulo fotovoltaico.	132

ÍNDICE DE TABLAS.

CAPÍTULO 1.

Tabla 1.1. Evolución de la tecnología fotovoltaica.....	11
---	----

CAPÍTULO 2.

Tabla 2.1. Carga de las partículas elementales.	21
Tabla 2.2. Conductividad relativa de varios metales.	30
Tabla 2.3. Conductividad relativa de varios metales	30
Tabla 2.4. Características de cristalinidad del silicio.	66

CAPÍTULO 3.

Tabla 3.1. Ventajas y desventajas de tipos de montajes de los paneles.	101
---	-----

CAPÍTULO 4.

Tabla 4.1 Equipo de protección personal.....	105
Tabla 4.2. Código de colores de acuerdo a la NOM 001.	107
Tabla 4.3. Diferencias entre IEC y UL.	113

CAPÍTULO 5.

Tabla 5.1. Lista de herramientas.	120
Tabla 5.2. Lista de Material.	121
Tabla 5.3. Datos de salida del microinversor Enphase M215.....	124
Tabla 5.4. Características eléctricas de los módulos fotovoltaicos.	127
Tabla 5.5. Datos de entrada del microinversor Enphase M215	128
Tabla 5.6. Datos de salida del microinversor M215	132
Tabla 5.7. Registro de mediciones del SFVI funcionando.....	135
Tabla 5.8. Conceptos de los símbolos de consumo.....	136

OBJETIVO.

Implementar un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica 3H, 220 V, 60 Hz, para una residencia de acuerdo al estándar de competencia EC0586.

HIPÓTESIS.

La implementación de un sistema fotovoltaico de acuerdo al estándar de competencia EC0586 permitirá alcanzar un beneficio económico y ecológico directo, al usuario final.

CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE

La existencia de la vida en la tierra no sería posible sin el sol. El sol es la fuente principal de la luz y el calor que recibe la tierra. A lo largo del tiempo, varias culturas como la china, griega, egipcia, azteca y tribus nativas norteamericanas le han venerado, debido a la gran influencia que ha tenido sobre ellas. Hoy en día, esta influencia se puede apreciar con los vestigios que dejaron en forma de esculturas, construcciones y calendarios.

El sol es una estrella compuesta principalmente de hidrogeno y de helio, que maneja una temperatura en su capa exterior de 5,500 grados Celsius, y una temperatura en su núcleo de 15 millones de grados Celsius. La temperatura que se mantiene en el núcleo, hace posible que constantemente se sostengan fusiones termonucleares. Esta energía que se produce en el núcleo del sol es llevada hacia su exterior por efectos de radiación, es por esto, que la energía solar que se recibe del sol se le conoce como radiación solar.

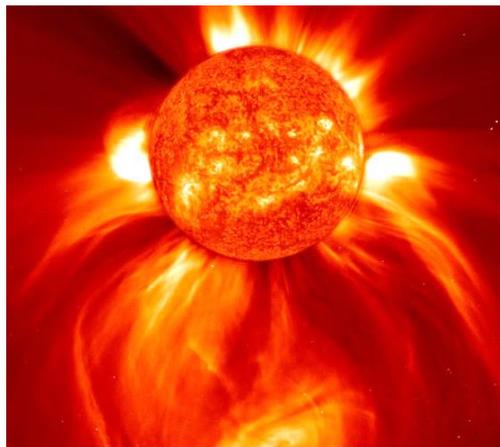


Figura 1.1. El sol.

Fuente: NASA (2016)

El sol genera ondas de radiación de energía en forma de luz y calor, sin esto nuestro planeta no tendría vida. Las ondas del sol se mueven tan rápidamente como la velocidad de la luz, como

delgados haces de energía llamados fotones. Los fotones viajan grandes distancias a través del espacio vacío desde el sol y llegan a nuestro planeta con energía solar diariamente.

La distancia que separa a la tierra del sol es de 149 millones de kilómetros de la tierra, a consecuencia de esto, la energía que llega a la tierra es solo una pequeña parte de toda la que el sol produce y es recibida en forma de radiación electromagnética. La energía del sol juega importante papel en la tierra, ya que hace posible los ciclos como: el ciclo del agua, el ciclo del oxígeno y el ciclo del carbono; además de determinar su clima.

La tierra tiene un sistema de equilibrio térmico, con una entrada de energía y una salida, el equilibrio entre ambas determina su temperatura. La entrada de energía en la tierra se obtiene principalmente del sol; la energía de salida, es la energía radiada por la tierra de manera natural. El ser humano ha dependido de la energía del sol desde sus orígenes, sin embargo, su habilidad para sobrevivir fue que la que lo llevo a varias descubrimientos como el descubrimiento del fuego.



Figura 1.2 La tierra.

Fuente: Erenovable (2016)

El fuego fue la primera fuente externa a la energía solar, el fuego le dio la posibilidad al hombre de poder cocer sus alimentos, además de contar con luz y calor durante la noche. Las antiguas civilizaciones se caracterizaban por su incapacidad para concentrar grandes cantidades de energía en un espacio relativamente pequeño, ya que solamente se valían de fogatas creadas a partir de leña.

En China, se empezó a utilizar el gas encendido artificialmente en lugar de leña, para el alumbrado, la cocción de alimentos y para generar calor, trasladándolo por tuberías hechas de bambú. Fue en Italia en donde se perforo por primera vez un pozo para la extracción del petróleo, utilizado también para la iluminación. En Estados Unidos, años después, se comercializó y exportó a todo el mundo como queroseno para las lámparas.



Figura 1.3. Lámpara de queroseno.

Fuente: Energías Renovables (2016)

Otras fuentes de energía aparecieron como lo fue la energía eólica utilizada comúnmente para la navegación y en los molinos de viento, y la energía hidráulica, en la que una rueda hidráulica fue usada para proporcionar energía a los molinos de harina, o bien colocadas en represas para utilizar su potencial como principal fuente de energía para la industria.

En esa época, prácticamente la totalidad de las fuentes de energía eran de carácter renovable: la leña, el viento, el agua para el accionamiento de naves, los molinos y la tracción animal para carretas, minas, galeras y arados. Todavía para el año de 1850 la madera proveía gran parte de las necesidades energéticas. Culturas mesoamericanas utilizaron asfaltos y petróleo para impermeabilizar sus canoas, como incienso en ceremonias religiosas, o bien, como remedios medicinales. En México, los totonacas por citar un ejemplo fue una de las culturas en hacer uso de estos elementos.

La era del carbón se caracterizaba por la utilización mayoritaria del carbón, que ya, para el año de 1920 más del 70% del consumo total de energía provenía del carbón. En los primeros

años del siglo XIX, el uso del carbón estaba asociado con el gasógeno que iluminaba las varias calles de las principales ciudades europeas.



Figura 1.4. Mina de carbón.

Fuente: History (2016)

Todo este gran avance en la iluminación tuvo repercusión gracias a Murdock, quien en el año 1772, descubrió que al calentar carbón, junto con madera y turba, en un lugar en el que no existiera aire para evitar que produjera la combustión, se producía un gas altamente inflamable. El gas inflamable al hacerlo salir por una espita de paso variable, podía conseguirse una llama de altura variable a voluntad.

A finales del siglo XVIII James Watt logra perfeccionar y patentar una primitiva máquina construida para extraer agua de las minas y surge la máquina de vapor, rápidamente aplicada a los transportes, la industria textil. También en ese siglo surgieron las calderas y las turbinas. Un siglo más tarde la invención del motor de combustión interna produciendo una gran demanda de combustible. La industrialización cambio en el sector agrario y rural a industrial y urbano, pasando de usar herramientas a máquinas lo que conllevó a menor mano obrera.



Figura 1.5. Máquina de vapor Stephenson.

Fuente: Sobrehistoria (2016)

A principios del siglo XIX, el carbón pasa a ser utilizado a gran escala debido a la revolución industrial. En Alemania, por ejemplo, Nicolás Augusto Otto desarrolló el motor de combustión interna, generando con este invento una gran demanda de gasolina. En 1892, Rodolfo Diesel patentó un motor que podía usar como combustible el polvo de carbón desechado en las minas.

El humo resultante de la extracción, producción y uso de las diferentes fuentes energéticas tuvo impactos muy serios sobre los residentes de los centros urbanos. Contaminantes de fábricas y chimeneas, mezclados con la condensación del aire mató a miles de personas en Londres sobre el curso de varios días. La lluvia ácida fue otro de los problemas resultantes de las plantas generadas con quema de combustibles.

El incremento de la población es la causante de una mayor demanda de recursos año con año, generando una perturbación ambiental que se manifiesta en la contaminación del aire, del agua, de los suelos y de los alimentos en las zonas urbanas e industriales.

Dicha demanda de energía, junto con la expansión de las industrias, no ha permitido que este crecimiento se detenga. Las compañías de luz por estas razones, demandan a las centrales generadoras mayores cantidades de energía, y esto, ha dado origen a forzar una producción continua de energía a niveles excesivos, provocado que las compañías del sector energético generen un daño a la tierra por la quema excesiva de combustibles fósiles.

Para satisfacer la demanda de electricidad de la población, en la actualidad se tiene una gran cantidad de plantas generadoras de energía eléctrica en diferentes escalas, estas plantas generadoras de energía pueden provenir de fuentes renovables y no renovables. Las fuentes renovables son aquellas en la que la energía proviene del mar, viento, sol.



Figura 1.6. Energía renovable y energía no renovable.

Fuente: Energías Renovables (2016)

La energía que proviene de las fuentes no renovables son aquellas que se generan a partir de combustibles fósiles. Las centrales generadoras de energía que provienen de fuentes renovables y de no renovables, son por mencionar algunas las centrales: hidroeléctricas, eólicas, mareomotrices, geotérmicas, nucleares, turbogas y ciclo combinado.

En la figura 1.6 del consumo mundial de energía (Global energy consumption), se puede observar que el 86% proviene del petróleo, el gas natural y el carbón, haciendo prácticamente imposible poder detener el crecimiento de la emisión de gases de invernadero, debido a la quema de estos combustibles fósiles. En los países industrializados, el uso constante de combustibles fósiles, ha llevado a una emisión continua de los gases de efecto invernadero, provocando que el cambio climático global se disipe con mayor rapidez, y con ello, ocasionando daños en el medio ambiente.

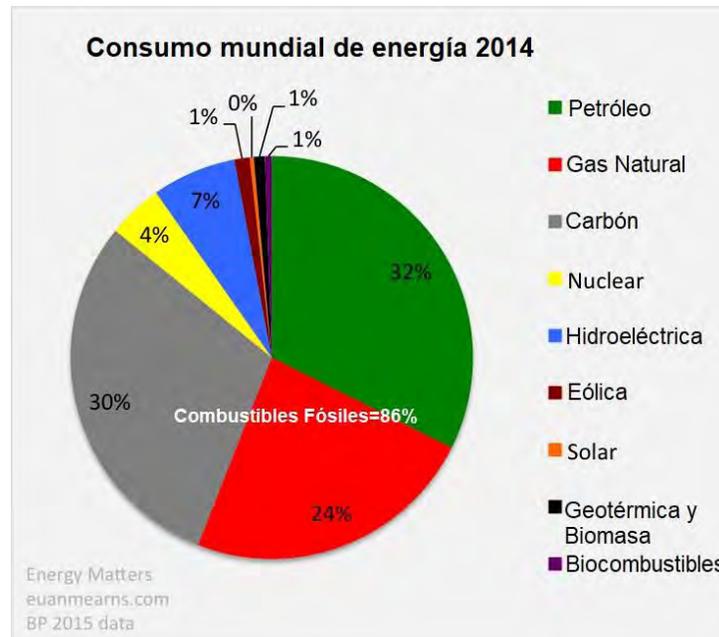


Figura 1.7. Consumo mundial de energía.

Fuente: Euanmearns (2016)

Además de la quema de combustibles fósiles, el planeta Tierra, ha visto afectado su equilibrio térmico por los productos utilizados para la actividad agrícola e industrial, y por la deforestación de los bosques, generando lo que se conoce como gases de efecto invernadero. Los gases de efecto invernadero (GEI) originan la retención del calor en la tierra, haciendo que la temperatura en la Tierra sea más alta.

El gas de efecto invernadero se compone de una mezcla de gases como el metano, ozono, óxido de nitrógeno y el dióxido de carbono. En años recientes, se están haciendo esfuerzos y se están creando programas para regresar a la utilización de energías naturales, ya que, se ha visto afectado el bienestar del ser humano, la fauna y los recursos naturales.

Cada año el respirar las partículas producidas por la contaminación ocasiona severos daños a la salud. Algunas de las causas son desordenes respiratorios como dificultad al respirar, empeorar el asma, tos e irritabilidad en las vías respiratorias; en casos peores puede contribuir a arritmias cardíacas, ataques en el corazón, nacimientos y muertes prematuras.

Hoy en día, ya se están utilizando aún más las energías renovables para la generación de electricidad para evitar este tipo de situaciones en contra de la salud. Energías renovables como

la mareomotriz, hidroeléctrica, eólica y la energía solar han ido ganando terreno con respecto a años anteriores aunque aún predominan las que provienen de combustibles fósiles.



Figura 1.8. Energías solar y eólica.

Fuente: Energías Renovables (2016)

La energía nuclear no contamina, no produce bióxido de carbono y con los reactores en uso, pueden producir suficiente combustible nuclear para ofrecer energía durante los próximos años. En el año de 1991, cinco países se valieron de este tipo de energía y produjeron más de la mitad de su energía total. Sin embargo la tendencia mundial se ha inclinado hacia la reducción en el uso de este tipo de energía.

Una de las principales causas de contaminación del aire es causada también por el combustible quemado por vehículos de transporte, sus emisiones también incrementan los niveles de gases invernadero en la atmosfera y esto contribuye en gran medida al calentamiento global. En el ámbito del transporte mundialmente se ha tratado de contribuir con tipos los autos híbridos y los eléctricos, incluyendo el transporte público eléctrico para la reducción de emisiones de dióxido de carbono.

En México se está tratando de reducir esta emisión de gases contaminantes a la atmosfera y se están creando y ejecutando varios programas para normalizar la emisión de gases. El gobierno de la Ciudad de México está tomando diversas acciones como la implementación del programa hoy no circula. El hoy no circula, es un programa que limita el flujo vehicular en el Distrito Federal y Estado de México, cuyo fin es reducir la contaminación generada por los gases emitidos por los vehículos.



Figura 1.9. Auto eléctrico Leaf.

Fuente: Energías Renovables (2016)

El programa hoy no circula determina con el holograma y el último dígito de la placa, que vehículos no pueden circular en la ciudad, en un horario de 5:00 am a 10:00 pm. Además, este programa promueve el uso de formas alternativas de transporte y contribuye en gran medida cuando surgen contingencias atmosféricas.

El Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE) es otro organismo del gobierno creado por la necesidad de reducir los efectos del calentamiento global. Su propósito es contribuir al desarrollo sustentable del país y el aprovechamiento sustentable de la energía. FIDE busca promover el ahorro de energía por medio de varios programas sustantivos y de apoyo.



Figura 1.10. Logotipo FIDE

Fuente: FIDE (2016)

En sus programas de apoyo, FIDE cuenta con programas educativos; uno de ellos es EDUCAREE, que está destinado a generar en la población la cultura del ahorro de energía por

medio de cursos, talleres y proporcionando material didáctico; y el otro programa educativo es para capacitar y certificar en instalaciones fotovoltaicas en comercio, residencia e industria.

FIDE tiene un Programa de Nacional de sustitución de focos en el que invita a la población a llevar sus focos incandescentes y a cambio te proporciona focos ahorradores, todo ello para concientizar a la población en el ahorro de energía y en su recibo de luz. Dentro de sus programas sustantivos de FIDE, se encuentra el de eficiencia energética.

En el programa de eficiencia energética el FIDE que otorga asesoría y asistencia técnica con o sin financiamiento para la modernización de instalaciones, desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías de tal forma que con el ahorro y la eficiencia energética se contribuya a la conservación de los recursos naturales no renovables, el aprovechamiento sustentable de la energía y la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero.

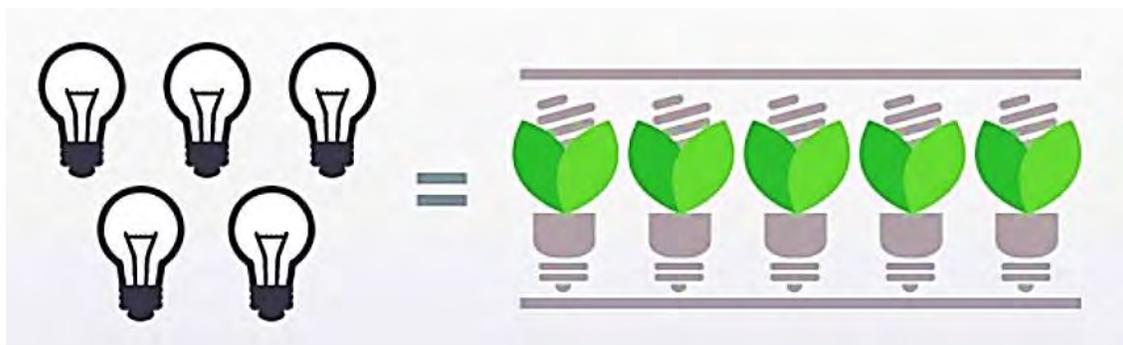


Figura 1.11. Ahórrate una luz.

Fuente: FIDE (2016)

Los Proyectos de Eficiencia Energética de FIDE apoyan a los sectores de comercios y servicios, industrias y a las micro, pequeñas y medianas empresas. El beneficio es la disminución de costos de facturación eléctrica, costo de los equipos, deducibles de impuestos y los equipos a financiar van desde el aire acondicionado hasta generadores de energía eléctrica en pequeña escala hasta 500 kW con fuentes alternas.

El monto a financiar para cada depende de conceptos variables con base en la capacidad de pago del usuario, ahorro energético proyectado y tarifa contratada con CFE. Con este tipo de

programas FIDE busca fomentar el uso de fuentes alternas de energía como lo son la eólica, biogás, gas natural y la fotovoltaica.

La energía solar fotovoltaica es en la energía en la que se genera electricidad por medio del efecto fotovoltaico a partir de la luz del sol mediante las células solares. La palabra fotovoltaica proviene del origen griego y se divide en dos partes *photos*, que significa luz, y *voltaica*, que significa electricidad.

Tabla. 1.1. Evolución de la tecnología fotovoltaica.

Año	Acontecimiento
1839	El efecto fotovoltaico fue descubierto por el francés Edmund Becquerel, quien observó un aumento de luz y, por ende, la existencia de un fotovoltaje mientras estaba experimentando con dos electrodos metálicos en una solución electrolítica
1954	Los investigadores D. M. Chapin, C. S. Fuller y G. L. Pearson, producen la primera célula de silicio y publican un artículo titulado “A new silicon p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power”. Ese mismo año otro científico de nombre P. Rappaport describió la aplicación de una unión p-n a la conversión de energía radioactiva en energía eléctrica.
1955	Los primeros elementos solares fotovoltaicos los produce la industria americana para aplicaciones espaciales. Hoffman Electronic, empresa de Illinois, ofrece células solares con un rendimiento del 3% con una potencia de 14 mW.
1957	Las células solares de la empresa Hoffman Electronic alcanzan un rendimiento de 8%.
1959	Las células solares de la empresa Hoffman Electronic alcanzan un 10% de rendimiento.

Tabla. 1.1. Evolución de la tecnología fotovoltaica (continuación).

Año	Acontecimiento
1958	Se lanza el primer satélite alimentado con energía solar fotovoltaica (Vanguard I). Este satélite se alimentaba con células fotovoltaicas con tecnología de silicio, las cuales alimentaban a un transmisor de respaldo de 5 mW y estuvo operando por 8 años.
1962	Se lanza el Telstar, que fue el primer satélite comercial de telecomunicaciones con una potencia de 14 W.
1963	La marca Sharp consigue una forma práctica de producir módulos de silicio. En ese mismo año se instala un sistema fotovoltaico de 242 W para un faro en Japón.
1964	El navío espacial Nimbus se lanza con 470 W de paneles fotovoltaicos.
1966	El observatorio astronómico espacial lleva ya 1 kW de paneles solares.
1977	La producción e paneles solares fotovoltaicos en el mundo es de 500 kW.
1980	ARCO Solar es la primera empresa con una producción industrial de 1 MW de módulos al año.

Fuente: Bayod, A. (2009)



Figura 1.12. Satélite Vanguard I.

Fuente: Smithsonian Air and Space Museum (2017)

Actualmente la energía fotovoltaica se ha convertido en una tecnología con un crecimiento del 40% anual desde el año de 1997. En el año del 2002, en Holanda se desarrolló una instalación sobre el tejado más grande del mundo de paneles fotovoltaicos, donde uno de los edificios de la exhibición hortícola Floriade contó con un tejado de 2,3 MWp.

Las aplicaciones en las que las instalaciones de energía fotovoltaica están consideradas con mayor futuro hoy en día son, las instalaciones del orden de los megawatts, y en las pequeñas instalaciones de electrificación rural, para residencias en zonas rurales para los países en desarrollo, denominadas SHS (Solar Home Systems).

Las cifras de crecimiento de los sistemas solares fotovoltaicos instalados en el mundo han tenido un disparo impresionante debido a que los costos de los paneles han disminuido considerablemente, según cifras de Greenpeace y de la Asociación europea de la Industria Fotovoltaica (EPIA), en el 2010 se alcanzó los 22,878 MW de potencia fotovoltaica instalada en el mundo.

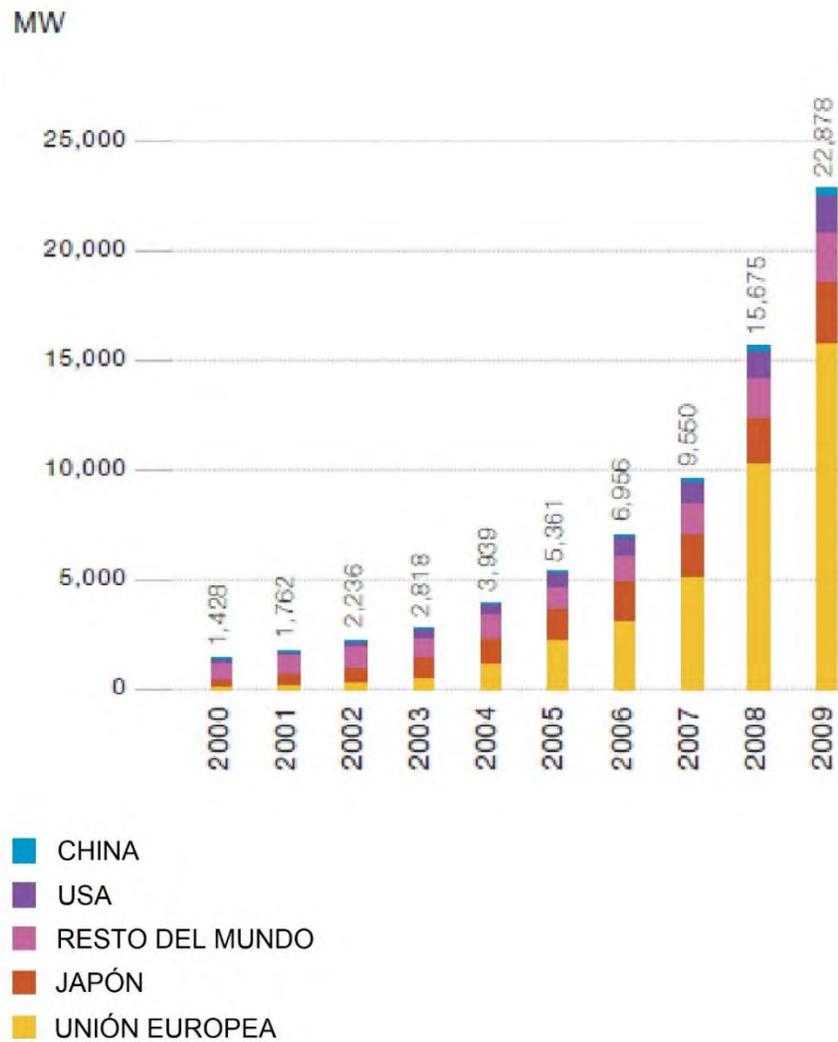


Figura 1.13. Evolución de la producción fotovoltaica instalada en el mundo.

Fuente: Greenpeace (2016)

A nivel mundial la tecnología fotovoltaica ha reducido sus precios permitiendo que sea accesible para un rango de más grande en el mercado. Es por ello que en la última década ha sido más accesible este tipo de instalaciones para instalaciones de pequeños comercios, servicios y residenciales. El beneficio supone el ahorro en el costo del recibo de luz además de contribuir con el medio ambiente.

En México la CFE creó una especificación G0100-04 llamada Especificación para la Interconexión a la Red Eléctrica de Baja tensión de Sistemas Fotovoltaicos con capacidad hasta 30 kW. El objetivo de esta especificación es definir los requerimientos para el diseño,

instalación, inspección, autorización y utilización de los sistemas fotovoltaicos interconectados a la red que garanticen la seguridad de su personal y de los usuarios.

FIDE por su parte ofrece un financiamiento en su programa Generación Distribuida a las pequeñas y medianas empresas y el sector doméstico para instalar sistemas fotovoltaicos interconectados a la red, además de promover la certificación en el estándar de competencia laboral EC0586 “Instalación de sistemas fotovoltaicos en residencia, comercio e Industria”.

El FIDE desde mayo de 2014 funge como Entidad de Certificación y Evaluación por parte del Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales, mejor conocido por sus siglas como CONOCER, esto quiere decir que está autorizado para capacitar, evaluar y certificar competencias laborales en materia de eficiencia energética y generación de energías limpias.



Figura 1.14. Programa de certificación FIDE.

Fuente: FIDE (2016)

El CONOCER es una entidad del gobierno federal encargado de coordinar y promover el Sistema Nacional de Competencias (SNC) para que México cuente con capital humano más competente y de esta manera incrementar el crecimiento económico y el progreso social del país. El SNC se encarga de facilitar los mecanismos para que instituciones públicas o privadas, se beneficien con personal competente.



Figura 1.15. Registro Nacional de Estándares de Competencia

Fuente: CONOCER (2016)

El SNC se compone de tres niveles: Estructural, Estratégico y Operativo. Dentro del SNC se llevan a cabo diversas acciones generadoras de valor para los trabajadores y empleadores de México, entre ellas destacan la integración de comités sectoriales de Gestión por Competencias que definan la agenda de capital humano para competitividad de los diversos sectores del país, y el desarrollo de Estándares de Competencia que describen los conocimientos, habilidades, destrezas y actitudes que una persona debe tener para realizar sus funciones con un alto nivel de desempeño.

Para satisfacer la formación de personal competente, la red CONOCER cuenta con diferentes prestadores de servicios como lo son: Entidades de Certificación y Evaluación de Competencias, Organismos Certificadores, Centros de Evaluación, Evaluadores Independientes, Centros de Capacitación y Capacitadores Independientes.

CONOCER cuenta con un gran número de certificaciones en estándares, estos estándares de Competencia son desarrollados por un conjunto de empresarios y trabajadores. Los Estándares de Competencia inscritos en el Registro Nacional de Estándares de Competencia del CONOCER, sirven como referentes para la certificación de Competencias de personas.

El interesado puede consultar de acuerdo a su perfil, el Estándar de Competencia en la página de CONOCER, en donde se encuentra un catálogo que contiene todos los Estándares de Competencia, además cuenta con un apartado en el que instituciones pueden consultar personas que ya cuentan con una o varias certificaciones en dichos estándares.

Además de CONOCER, existen normas que el gobierno se encarga de emitir para identificar riesgos y evaluarlos. Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), se conforman por comités

técnicos integrados no exclusivamente por el gobierno, sino también, por otros sectores interesados en el tema como lo son: investigadores, profesionistas o por personas de la industria.

Las NOM son obligatorias para México y sirven para regular y para ello se valen de un amplio contenido de información en donde se encuentran requisitos, especificaciones, procedimientos y metodologías, que ayudan a establecer los parámetros necesarios para evitar riesgos a la población, medio ambiente y a los animales.

Día con día estamos utilizamos la energía eléctrica en nuestros trabajos, en la escuela, en los establecimientos comerciales o en nuestra propia casa. En diversas ocasiones en cualquiera de estos lugares suceden accidentes provocados por cortocircuitos debido a una instalación que no se realizó apegada a las normas.

En los proyectos eléctricos, instalaciones eléctricas o en modificaciones y/o ampliaciones a cualquiera de estos, la NOM-001 es la responsable de establecer las especificaciones y lineamientos de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones destinadas a la utilización de energía eléctrica.

Su finalidad es que se ofrezcan las condiciones adecuadas de seguridad para las personas y sus propiedades, en lo referente a la protección contra descargas eléctricas, efectos térmicos, sobrecorrientes, corrientes de falla y sobretensiones. Todo esto para las instalaciones eléctricas en industrias, comercios y viviendas.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

El ser humano está rodeado de objetos visibles que se encuentran en su entorno y que están compuestos de materia. La materia está compuesta por moléculas, que son pequeñas partículas que podemos encontrar en el medio ambiente en tres estados: líquido, sólido y gaseoso. Las moléculas se mantienen juntas por una fuerza que se puede descomponer en fuerzas de atracción o repulsión.



Figura 2.1. Estados de la materia.

Fuente: Portal Educativo (2016)

A la fuerza de atracción que existe entre las moléculas se le conoce como fuerza cohesiva. La fuerza cohesiva es la que establece la fuerza, rigidez y solidez de un objeto. De acuerdo a la composición de la molécula es la magnitud de la fuerza cohesiva que hay entre ellas, es por ello que, la fuerza de atracción entre algunas moléculas es más grande que en otras.

Las fuerzas de cohesión en líquidos son más débiles que en los sólidos, por ejemplo, para separar materia en estado sólido como el acero, se requiere de una fuerza mucha más grande que la necesitada para separar materia en estado líquido como el agua. Una molécula es la partícula más pequeña que puede ser dividida y mantener sus propiedades, a estas partículas en las que se divide una molécula se les conoce como átomos.

El átomo se compone de electrones, protones y neutrones. La carga asociada con el electrón es asociada como negativa, la carga asociada con el protón como positiva y el neutrón no tiene

carga o se considera de cero. Los electrones se encuentran en la parte exterior del átomo orbitando alrededor de su núcleo. En el centro del átomo se encuentran los protones y los neutrones, ambos formando el núcleo del átomo.

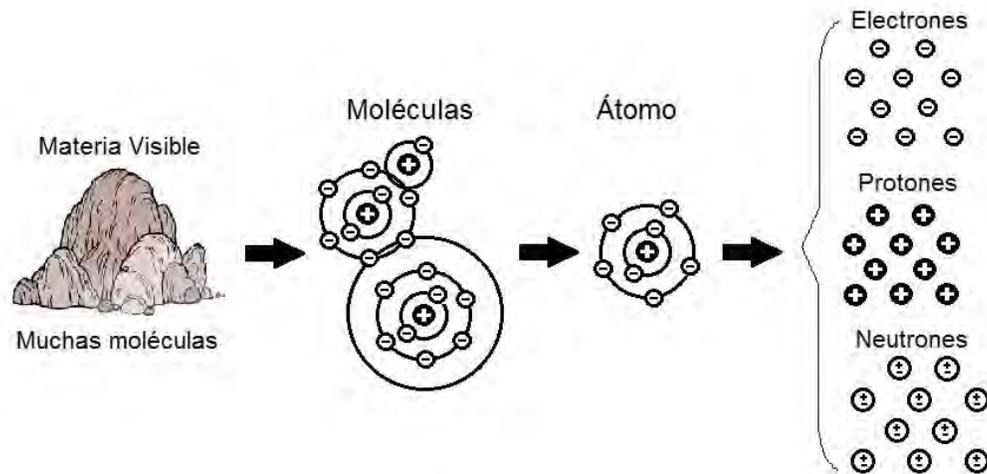


Figura 2.2. Composición de la materia en sus partículas eléctricas.

Fuente: Multi-Amp Institute (1992)

El átomo puede ser afectado por diversos factores como: el calor, la luz, los campos electrostáticos, los campos magnéticos o las reacciones químicas. Este tipo de factores son capaces de desbalancear al átomo y como resultado, éste puede ganar o perder electrones. Al átomo que no está balanceado se le conoce como ion, y al proceso de cambiar un átomo en ion se le conoce como ionización. Las características eléctricas de diferentes tipos de materiales son determinadas por el número de iones y de electrones libres dentro de un material.

La cultura griega descubrió que el ámbar, una piedra de color amarillento compuesta de resina fosilizada, posee propiedades eléctricas. Al frotar el ámbar con una tela se crean unas fuerzas de atracción y repulsión. Para ellos no había una explicación que tuviera sentido pero para estas fuerzas misteriosas, a lo que, ellos utilizaban las palabras: fuerza eléctrica. Las fuerzas de atracción y repulsión son el resultado de los campos eléctricos asociados con los átomos que forman las moléculas.

2.1 Carga Eléctrica

La carga eléctrica se produce cuando se frota un pedazo de tela con una barra de ebonita. Los electrones son transferidos del pedazo de tela a la barra de ebonita y como resultado, la barra queda cargada negativamente y el pedazo de tela positivamente. Si dos objetos que tienen cargas diferentes entran en contacto, los electrones fluirán. La dirección en la que fluyen los electrones hacia otro lado, va de la carga negativa a la carga positiva.

Una carga eléctrica es una propiedad que existe dentro de las moléculas y causa un patrón predecible de comportamiento. La carga eléctrica es la responsable de los fenómenos eléctricos. Existen dos tipos de carga eléctrica, la carga positiva y la carga negativa, ambas tienen comportamientos opuestos.

La rama de la física que se encarga de lidiar con cargas eléctricas en reposo es la electrostática. Charles Augustin Coulomb, en el año de 1777, enunció la ley de la electrostática. La ley de la electrostática enuncia que las cargas del mismo signo se repelen y cargas de signos diferentes se atraen.

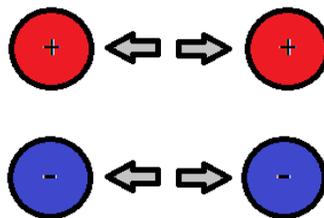


Figura 2.3. Cargas del mismo signo.

Fuente: Multi-Amp Institute (1992)

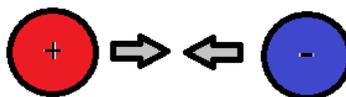


Figura 2.4. Cargas de signo opuesto.

Fuente: Multi-Amp Institute (1992)

La carga que se presenta en un objeto se mide en coulomb (C) y se presenta en múltiplos enteros de la carga de un electrón (ver Tabla 2.1). La fuerza eléctrica con la cual dos cargas eléctricas se atraen o se repelen, es directamente proporcional al producto de sus cargas (q_1 y q_2) e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.

Tabla 2.1. Carga de las partículas elementales.

Partícula	Carga eléctrica
Electrón	$-1.609 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Protón	$1.609 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Neutrón	0

Fuente: Dorf, Svoboda (1997)

$$F = K \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

Figura 2.5. Ley de Coulomb.

Fuente: Dorf, Svoboda (1997)

Donde:

F: La fuerza de atracción entre cargas distintas o la fuerza de repulsión entre cargas iguales en Newtons (N).

q_1 : La carga de un cuerpo en Coulomb (C).

q_2 : La carga de un segundo cuerpo en Coulomb (C).

r^2 : La distancia entre los dos cuerpos en metros (m).

K: Constante de Coulomb, para el vacío su valor es de $9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$.

El campo eléctrico queda asociado con la ley de coulomb y es generado por la una carga q_1 , entonces si la carga es positiva el campo eléctrico que se genera alrededor es positivo, o bien, si la carga q_1 es negativa, se genera un campo eléctrico negativo. La fuerza eléctrica queda asociada entonces con una magnitud vectorial.

$$\vec{F} = K \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \cdot \vec{u}_r$$

Figura 2.6. Ley de Coulomb expresada en forma vectorial.

Fuente: Dorf, Svoboda (1997)

Donde:

\vec{u}_r : Es un vector unitario en la dirección que une ambas cargas.

\vec{r} : Es un vector que va desde la carga que ejerce la fuerza hacia la carga que la sufre.

El vector unitario \vec{u}_r , indica la dirección del vector \vec{r} , cuando la fuerza de ambas cargas (q_1 y q_2) tienen signos iguales se repelen y cuando la fuerza de las cargas tienen signos diferentes (q_1 y q_2) sufren una atracción como se muestra en la figura 2.6. Para ambos casos la fuerza eléctrica siempre tiene la misma dirección que el vector unitario \vec{u}_r y el mismo sentido si tienen el mismo signo, y sentido opuesto si tienen signo distinto.

$$\vec{u}_r = \frac{\vec{r}}{r}$$

Figura 2.7. Ecuación de Magnitud vectorial.

Fuente: Dorf, Svoboda (1997)

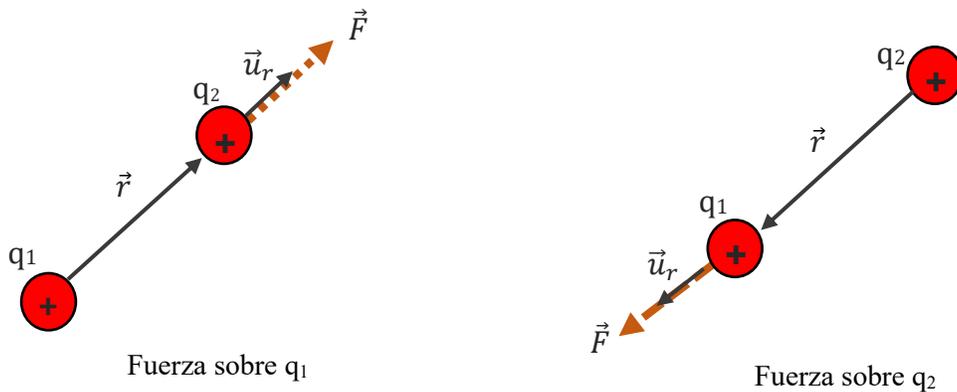


Figura 2.8. Vector unitario en cargas del mismo signo.

Fuente: Fisicalab (2016)

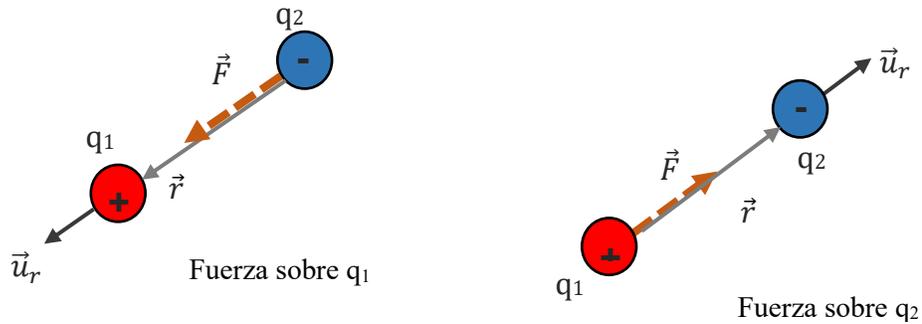


Figura 2.9. Vector unitario en cargas de signo opuesto.

Fuente: Fisicalab (2016)

2.2 Corriente y voltaje

La corriente eléctrica es el flujo continuo y controlado de electrones en un circuito eléctrico. La intensidad de corriente es la variación de carga con respecto al tiempo. La corriente es la cantidad de electrones que existen en un punto en el tiempo, y se representa con la letra i en el sistema internacional.

El flujo de corriente es el movimiento de electrones que van de un punto a otro punto en un medio conductor. La unidad de corriente es el ampere, y se representa con la letra A. Para un flujo de electrones, equivalente a un coulomb ($6.25 \cdot 10^{18}$) que pasa por un punto en un segundo, entonces la corriente va a ser igual a la de un ampere.

$$\text{amperes} = \frac{\text{coulombs}}{\text{segundos}}$$

Figura 2.10. Ecuación del Flujo de corriente.

Fuente: Dorf, Svoboda (1997)

La batería es un dispositivo en el cual se pueden almacenar electrones. La batería tiene dos terminales o dos polos, un polo negativo y otro positivo. En una batería se produce una reacción química, es decir, cambia energía química por energía eléctrica. Esta reacción química produce un exceso de electrones, a este polo se le conoce como el polo negativo. La terminal positiva tiene una deficiencia de electrones.

En un circuito eléctrico el conductor sirve como medio para la unión de varios elementos eléctricos unidos en una trayectoria cerrada por el que fluyen los electrones continuamente. La batería facilita que los electrones fluyan de un punto a otro, el lado de negativo de la batería repele a los electrones mientras que la parte positiva los atrae.

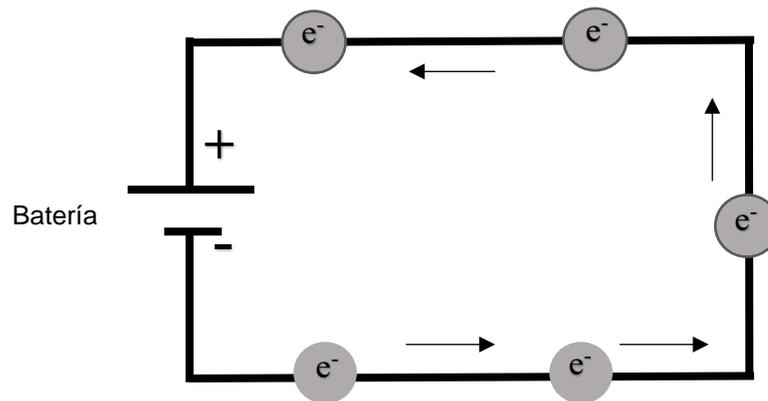


Figura 2.11. Flujo de electrones en un circuito con una batería.

Fuente: Dorf, Svoboda (1997)

Un flujo de corriente exista cuando una fuerza externa es aplicada para que exista un flujo de electrones, esta fuerza puede ser la batería. La dirección de la corriente que pasa por un elemento se puede explicar por medio de la Figura 2.11. La corriente i_1 , es el flujo de carga eléctrica que va del punto a al punto b . La corriente i_2 , es el flujo de carga eléctrica que va del punto b al punto a . Por lo tanto, las corrientes i_1 e i_2 tienen distintas direcciones, y por consiguiente, i_2 es la corriente negativa con respecto a i_1 : entonces $i_1 = -i_2$.



Figura 2.12. Flujo de corriente en el elemento de un circuito.

Fuente: Dorf, Svoboda (1997)

Para describir la corriente se necesita un valor que puede ser positivo o negativo, y una dirección, como las que indican las flechas de la Figura 2.12. Entonces, la corriente eléctrica es el flujo continuo y controlado de electrones en un circuito eléctrico. La intensidad de corriente es la variación de carga con respecto al tiempo y se mide en C/s. En la corriente alterna su polaridad se invierte periódicamente.

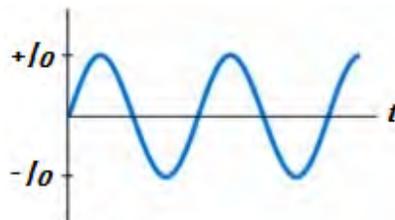


Figura 2.13. Corriente alterna (C.A.).

Fuente: Hayt, Kemmerly & Durbin (2007)

La corriente que se mantiene constante y se visualiza como una línea recta se le llama corriente continua, C.C., o corriente directa, C.D. La corriente continua es aquella en la que los electrones siempre fluyen en la misma dirección se mantiene constante en magnitud y en el tiempo, siempre fluye de negativo a positivo. A diferencia de que en la corriente alterna la polaridad se invierte periódicamente.



Figura 2.14. Corriente directa (C.D.)

Fuente: Hayt, Kemmerly & Durbin (2007)

La energía eléctrica es la capacidad para realizar un trabajo y se transporta por medio de un conductor. La energía es la potencia en un periodo de tiempo determinado. Su unidad de medida son los julios (J) y se representa con la letra W en el sistema internacional. Se debe hacer un trabajo o se debe aportar energía para que la carga se mueva entre dos puntos en un circuito. El trabajo total por unidad de carga asociado con el movimiento de la carga entre dos puntos se llama voltaje.

$$W = P \cdot t$$

Figura 2.15. Ecuación de energía.

Fuente: Hayt, Kemmerly & Durbin (2007)

El voltaje, o la diferencia de potencial, entre dos puntos en un circuito, indica la energía necesaria para mover la carga de un punto a otro, es decir, la fuerza que se necesita para mover a los electrones de un lado a otro; por eso al voltaje también se le conoce como: fuerza electromotriz o FEM, la fuerza que ocasiona que los electrones se muevan. El voltaje a través de un elemento es el trabajo necesario (energía necesaria) para mover una carga eléctrica unitaria y positiva desde la terminal $-$ hasta la terminal $+$.

La unidad de voltaje es el volt (V), la polaridad y la dirección del voltaje se determinan si se disipa o se genera energía en el proceso, estos pueden darse de manera positiva o negativa. El valor de un voltaje puede ser positivo o negativo. La figura 2.17 muestra que el voltaje v_{ba} es proporcional al trabajo o la fuerza necesaria para mover una carga positiva desde la terminal b hasta la terminal a .

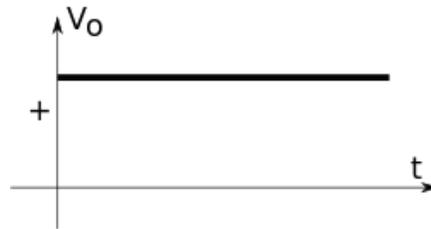


Figura 2.16. Voltaje C.D.

Fuente: Hayt, Kemmerly & Durbin (2007)

El voltaje v_{ab} es el trabajo necesario para mover una carga positiva desde la terminal a hasta la terminal b . Para el voltaje v_{ba} , la terminal b es positiva y la terminal a es negativa. Por otro lado cuando se habla de v_{ab} , la terminal a es la “terminal +” y la b es la “terminal -”. Los voltajes v_{ab} y v_{ba} entonces tienen sus direcciones son opuestas. Por lo que de esto se deduce que: $v_{ab} = -v_{ba}$.

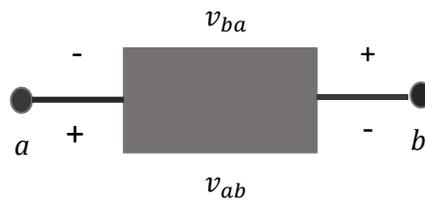


Figura 2.17. Voltaje a través de un elemento en un circuito eléctrico.

Fuente: Dorf, Svoboda (1997)

2.3 Luz

La luz es una forma de energía compuesta de partículas llamadas fotones. Cuando los fotones que forman la luz chocan contra un material, liberan energía. Con algunos materiales, la energía de los fotones puede causar que los átomos liberen electrones. A esto se le llama como efecto fotoeléctrico. Materiales como el potasio, el sodio, el litio, el selenio, el germanio, el cadmio reaccionan de esta manera a la luz.

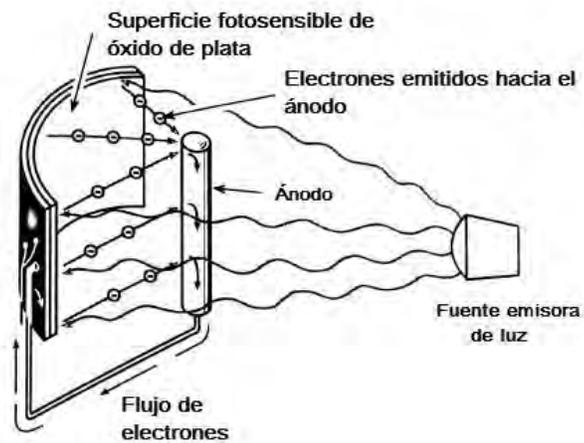


Figura 2.18. Voltaje producido por luz.

Fuente: Multi-Amp Institute (1992)

2.4 Calor

Una transferencia de electrones toma lugar cuando dos metales diferentes son unidos. La energía calorífica de un cuarto a temperatura normal es suficiente para hacer que estos metales liberen electrones. El cobre y el zinc, por ejemplo, actúan de esta manera. Los electrones dejarán los átomos del cobre para ingresar a los del zinc. El zinc entonces tienen un exceso de electrones y su carga se convierte en negativa, mientras que la del cobre al haber perdido electrones se convierte en positiva.

La carga desarrollada a temperatura ambiente es pequeña porque no hay suficiente energía calorífica para liberar aún más electrones. Pero si calor es aplicado a la unión de metales de los dos metales para proveer más energía, más electrones para ser liberados. Este método es llamado termoeléctrico. Mientras más calor es aplicado, más grande será la carga. Cuando el calor es removido, el metal se enfriará y las cargas se disiparán.

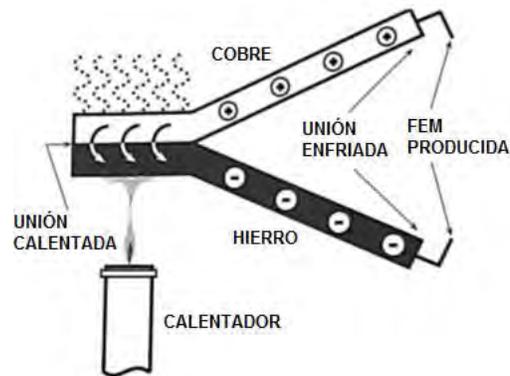


Figura 2.19. Voltaje producido por calor.

Fuente: Multi-Amp Institute (1992)

2.5 Circuito Eléctrico

Un circuito eléctrico simple está formado de principalmente de tres partes: una fuente de energía eléctrica, una carga que usa energía eléctrica y conductores que proveen el flujo de energía desde la fuente de energía hacia la carga y de la carga hacia la fuente de energía. Una bombilla y una fuente conectadas por medio de conductores, por ejemplo, son un buen ejemplo de un circuito simple.

El propósito de una fuente es la de proveer la fuerza necesaria para generar un flujo de electrones. Si se utiliza una batería nueva como fuente y se conecta a la bombilla por medio de conductores la bombilla va a brillar con gran intensidad en un principio. Después de cierto tiempo si la batería y la bombilla se quedan conectadas, la batería se va a descargar y la bombilla dejará de brillar, además que los valores del voltaje y la corriente caerán.

Los conductores permiten el flujo de electrones, es decir, ofrecen poca resistencia al paso de corriente eléctrica. Los mejores conductores son aquellos que permiten el flujo de electrones mediante la aplicación de poca fuerza electromotriz. El oro, la plata, el aluminio y el cobre son algunos de los metales con mejor conductividad. Algunos conductores pueden ir aislados o bien, al desnudo.

Tabla 2.2. Conductividad relativa de varios metales.

Metal	Conductividad relativa (%)
Plata	105
Cobre	100
Oro	70.5
Aluminio	61
Tungsteno	31.2
Níquel	22.1
Hierro	14

Fuente: Boylestad, R (2002)

Los materiales que tienen muy pocos electrones libres, es decir, que ofrecen más resistencia al paso de electrones se les conoce como materiales aislantes. Los aislantes no conducen electricidad bajo condiciones normales debido a su gran densidad y alta estabilidad del material. Los aislantes requieren de más fuerza electromotriz para que exista un flujo de electrones en ellos. El uso más común que se le da a los materiales aislantes es recubrir conductores con el fin de reducir riesgos.

Tabla 2.3. Conductividad relativa de varios metales

Material	Rigidez dieléctrica (kv/cm)
Aire	30
Porcelana	70
Aceites	140
Baquelita	150
Caucho	270
Vidrio	900
Mica	2000

Fuente: Boylestad, R (2002)

En un circuito eléctrico, un nodo es la unión de dos o más conductores. Los circuitos eléctricos más sofisticados están conformados, aparte de fuentes de energía, conductores y cargas; de elementos de protección y accesorios de control necesarios para su correcto funcionamiento. Las cargas de los circuitos pueden ser resistivas, inductivas o capacitivas.

2.6 Leyes de Kirchhoff

La primera ley de Kirchhoff es la ley de la corriente de Kirchhoff. Esta ley establece que debido a que la carga no se puede crear, la suma de las corrientes en un nodo que entran o sales, debe ser igual a cero. Las corrientes que entran al nodo se toman como negativas y las que salen del nodo se toman como positivas.

$$\sum_{n=1}^N i_n = 0$$

Figura 2.20. Ley de la corriente de Kirchhoff.

Fuente: Hayt, Kemmerly & Durbin (2007)

La ley de la corriente de Kirchhoff es fundamental para el análisis de circuitos eléctricos. Esta ley permite expresar las corrientes de un circuito en términos de cada una de las demás; por ejemplo, se puede expresar la corriente que sale de un nodo en términos de todas las demás corrientes en el nodo. Las ecuaciones resultantes de este análisis son de gran ayuda para la solución sistemática de grandes circuitos eléctricos.

$$\sum I_{entrada} = \sum I_{salida}$$

Figura 2.21. Ecuación de Corriente de entrada y salida.

Fuente: Boylestad, R. (2002)

La segunda ley de Kirchhoff, es la ley de los voltajes de Kirchhoff. Esta ley, enuncia que la energía no se pierde ni se crea en un circuito eléctrico. De ello, se deduce que la suma de los voltajes asociados con las fuentes debe ser igual a la suma de los voltajes de las cargas, de tal forma que el voltaje en un circuito cerrado es igual a cero.

$$\sum_{n=1}^N v_n = 0$$

Figura 2.22. Ley de los voltajes de Kirchhoff.

Fuente: Hayt, Kemmerly & Durbin (2007)

Donde:

v_n : Voltajes individuales alrededor del circuito cerrado.

2.7 Resistencia y la Ley de Ohm

Cuando una corriente eléctrica fluye en un conductor metálico o a través de otros elementos del circuito, se presenta una resistencia cuya magnitud depende de las propiedades eléctricas del material. La resistencia al flujo de la corriente puede ser no deseable o se puede explotar en una forma útil en un circuito eléctrico. Los factores más importantes que afectan la resistencia de un material son:

- La longitud: la resistencia de un conductor cilíndrico como un cable eléctrico es directamente proporcional a su longitud.
- Área transversal: La resistencia de un conductor es inversamente proporcional a su área transversal.
- Temperatura: La resistencia de los materiales cambia con la temperatura. A mayor temperatura disminuye capacidad del cable.

La corriente en un elemento, causará una disipación de energía en forma de calor en los elementos de un circuito que presentan alguna resistencia. Una resistencia ideal es un dispositivo que presenta una resistencia lineal, de acuerdo con la ley de Ohm. La corriente es directamente

proporcional al voltaje aplicado e inversamente proporcional a la resistencia del circuito. Así mismo se puede afirmar que el voltaje es directamente proporcional a la corriente por la resistencia.

$$V = I \cdot R$$

Figura 2.23. Ley de ohm.

Fuente: Hayt, Kemmerly & Durbin (2007)



Figura 2.24. Símbolo de resistencia.

Fuente: Hayt, Kemmerly & Durbin (2007)

El voltaje entre las terminales de un elemento es directamente proporcional a la corriente en el elemento. R corresponde al valor de la resistencia en ohmios (Ω), donde $1 \Omega = 1V/1 A$. La propiedad de un material de resistir el flujo de corriente se llama resistividad, ρ . Los materiales que son buenos aislantes eléctricos tienen una alta resistividad. Los que son buenos conductores de la corriente eléctrica tienen baja resistividad. El inverso de la resistividad se llama conductividad y se representa por medio del símbolo σ .

Un elemento con una resistencia R se llama resistor. La ley de Ohm hace que la relación $i-v$ sea lineal. La dirección del voltaje se indica con una terminal marcada con $+$ y la otra con $-$. La corriente pasa de la terminal $+$ a la terminal $-$. Esta relación entre las direcciones de la corriente y la fuente del voltaje es la llamada convención pasiva. La ley de Ohm establece que cuando el voltaje y la corriente que pasan por el elemento (resistor) se apegan a la convención pasiva, entonces $V = R \cdot I$.

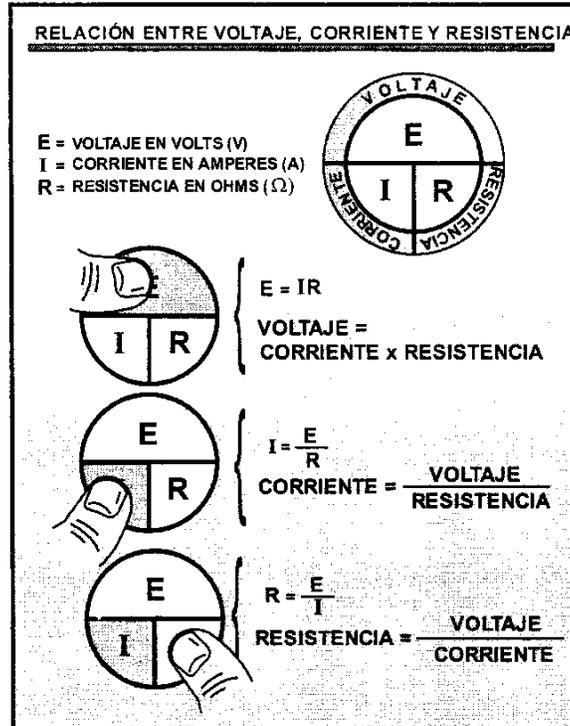


Figura 2.25. Ley de ohm en forma gráfica.

Fuente: Pareja, M. (2010)

La ley de Ohm, también puede escribirse como sigue $I = GV$ donde G denota la conductancia en siemens (S) y es el recíproco de R , esto es, $G=1/R$. La unidad de conductancia es el mho con una omega invertida como símbolo. Los resistores son sensibles al cambio de temperatura, a partir de una temperatura ambiente, que se considera de 27°C .

La potencia entregada a un resistor es $P = P \cdot I = V \left(\frac{V}{R} \right) = \frac{V^2}{R}$. Por otra parte, puesto que $V = IR$ la ecuación de la potencia puede escribirse como $P = V \cdot I = (I \cdot R)I = I^2R$. Recordando la definición de elemento pasivo como aquel en el que la energía absorbida es siempre no negativa. Puesto que I^2 es siempre positiva, la energía es siempre positiva y el resistor es un elemento pasivo. La resistencia es una medida de la capacidad de un elemento para disipar energía de forma irreversible.

La relación lineal entre el voltaje y la corriente en los conductores no se aplica para altos valores de voltaje y de corriente. Además, no todos los materiales conductores eléctricamente tienen un desempeño lineal, aun para pequeños valores de voltaje y de corriente. Sin embargo,

usualmente es verdad que para algunos rangos de voltaje y de corriente, la mayoría de los elementos presentan una característica i-v lineal.

2.8 Potencia y Energía

La potencia es la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado. La potencia generada o disipada por un elemento de un circuito. La potencia es igual al producto del voltaje entre las terminales del elemento y la corriente a través de él. Por lo tanto, la potencia es simplemente el producto del voltaje a través de un elemento por la corriente que fluye por el elemento La unidad de potencia es el watt (W).

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Trabajo}}{\text{Carga}} \cdot \frac{\text{Carga}}{\text{Tiempo}} = \frac{\text{Trabajo}}{\text{Tiempo}} = \text{Voltaje} \times \text{Corriente} = V \cdot I$$

Figura 2.26. Ecuación de Potencia.

Fuente: Hayt, Kemmerly & Durbin (2007)

Los elementos del circuito eléctrico pueden clasificarse en dos categorías dependiendo de si éstos absorben energía o suministran energía. Si el elemento absorbe energía se dice que es un elemento pasivo, si por el contrario, suministra energía es un elemento activo.

Un elemento es pasivo si la energía total que se le suministra del resto del circuito es siempre de cero o positiva. Un elemento pasivo absorbe energía y un claro ejemplo de este tipo de elemento es la resistencia o resistor. Un elemento activo es aquel capaz de entregar o suministrar energía. Los elementos activos son fuentes de energía, algunos los ejemplos de elementos activos están las baterías y las fuentes generadoras de energía.

2.9 Inductor

Un inductor es un componente pasivo que almacena energía en forma de campo magnético. Un inductor está constituido normalmente por una bobina de material conductor, usualmente

cable de cobre al que se le enrolla un alambre. El voltaje es inducido por una bobina cuando el campo magnético es creado por el flujo de corriente en otra bobina. Cuando la corriente fluye a través de un conductor, se crea un campo magnético alrededor del conductor, mientras más sea la corriente que fluya por el conductor, más fuerte será el campo magnético.

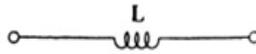


Figura 2.27. Símbolo eléctrico para un inductor.

Fuente: Hayt, Kemmerly & Durbin (2007)

Los conductores son más inductivos cuando son enrollados unos con otros espirales formando una bobina, porque existe más flujo (acoplamiento inductivo) cuando el conductor gira de un lado a otro sobre la espira de la bobina. Los factores que afectan a la inductancia son: el número de vueltas del conductor, el diámetro del área transversal de la bobina y su largo, la permeabilidad del material.

$$L = \mu_r \frac{N^2 A}{l}$$

Figura 2.28. Ecuación de Inductancia

Fuente: Hayt, Kemmerly & Durbin (2007)

Donde:

L: Inductancia en Henrys (H)

μ_r : Permeabilidad

N: Numero de vueltas.

A: Área del cable

l: largo del cable (1.26×10^{-6} = factor constante de la permeabilidad absoluta del aire).

La constante de proporcionalidad entre la tensión generada en un campo magnético variable y la variación en el tiempo de la corriente es la inductancia (L). La unidad de medida de la inductancia es el Henry (H). De la ecuación que se muestra en la figura 2.28, podemos deducir

entonces que mientras mayor sea la corriente que circula a través de una inductancia menor será el voltaje.

$$V = L \frac{di}{dt}$$

Figura 2.29. Ecuación de Inductancia

Fuente: Hayt, Kemmerly & Durbin (2007)

2.10 Capacitor

Es un dispositivo formado por dos conductores metálicos (placas o láminas) separados por un material dieléctrico o no conductor, que, sometidos a una diferencia de potencial o voltaje adquieren una carga eléctrica determinada. El símbolo convencional del capacitor. La capacitancia es la carga almacenada en el capacitor y su unidad de medida son los faradios (F).

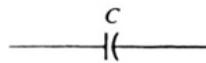


Figura 2.30. Símbolo eléctrico de un capacitor.

Fuente: Hyat, Kemmerly & Durbin (2007)

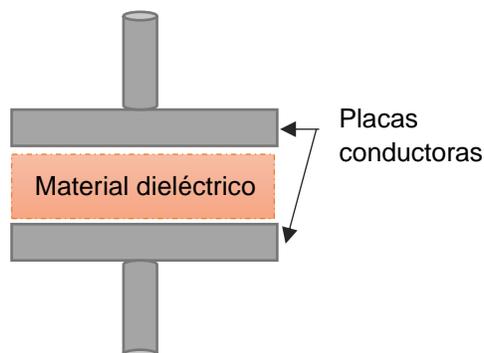


Figura 2.31. Capacitor.

Fuente: Hayt, Kemmerly & Durbin (2007)

$$i = C \frac{dv}{dt}$$

Figura 2.32. Ecuación de Capacitancia.

Fuente: Hayt, Kemmerly & Durbin (2007)

La inductancia es una propiedad que se opone al cambio de corriente, la capacitancia es la propiedad que se opone al cambio de voltaje. La inductancia almacena la energía en un campo magnético, la capacitancia almacena la energía en un campo electrostático. En circuitos eléctricos, el capacitor sirve para almacenar una carga creada por un campo electrostático.

2.11 Circuito Abierto y Cortocircuito

Los casos límite de la ley de Ohm ilustran dos situaciones ideales y convenientes de un elemento resistivo, cuando la resistencia del elemento de circuito se aproxima a cero o infinito. Cuando la resistencia de un elemento del circuito tiende a cero, se denomina cortocircuito. Los conductores metálicos tienen un desempeño semejante al de un cortocircuito. Un cortocircuito es un elemento del circuito cuyo voltaje es igual a cero, independientemente de su corriente.

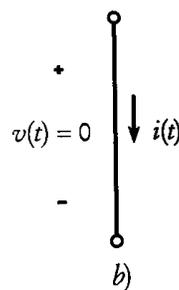


Figura 2.33. Cortocircuito

Fuente: Dorf, R. (1997)

Cualquier alambre o conductor metálico presenta alguna resistencia, sin embargo, en ciertas condiciones muchos elementos se desempeñan como un cortocircuito. Un elemento del circuito

cuya resistencia tiende a infinito recibe el nombre de circuito abierto. En donde ninguna corriente fluye por un circuito abierto, ya que éste ofrece una resistencia infinita para cualquier corriente. En un circuito abierto, se esperaría una corriente igual a cero, independientemente del voltaje externo aplicado.

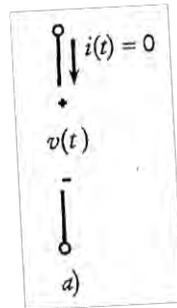


Figura 2.34. Circuito abierto.

Fuente: Dorf, R. (1997)

En un circuito abierto: cualquier discontinuidad en un conductor es un circuito abierto. Sin embargo, la forma ideal de un circuito abierto, no existe para voltajes muy altos. Si el aislador es aire, las partículas ionizadas en los dos elementos conductores producirán el fenómeno del arco eléctrico; en otras palabras, se puede generar un pulso de corriente que momentáneamente salte a través del espacio entre los conductores.

2.12 Fuentes

Las fuentes son dispositivos encargados de suministrar energía a un circuito. Las fuentes se dividen en dos clases: fuentes reales y fuentes ideales. El voltaje de una fuente se especifica, pero la corriente que pasa por ella la determina el resto del circuito. Un elemento activo de dos terminales que suministra energía a un circuito es una fuente de energía. Una fuente real es aquella en la que el voltaje o la corriente que proporciona dicha fuente dependen de la carga a la que estén conectados.

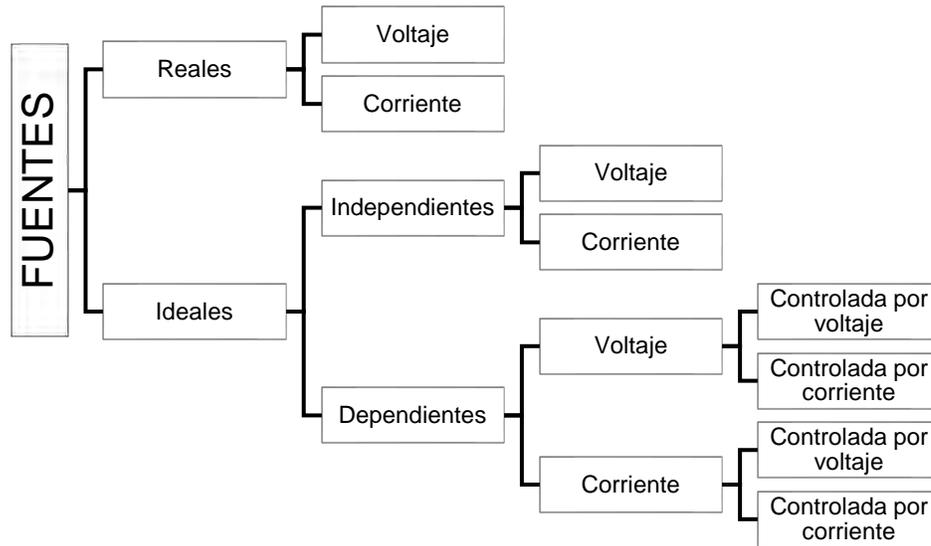


Figura 2.35. Tipos de fuentes que suministran energía.

Fuente: Dorf, R. (1997)

Una fuente ideal es un elemento muy utilizado en la teoría para el análisis y la creación de modelos que permitan analizar el comportamiento de los componentes electrónicos o circuitos reales. Las fuentes ideales se dividen en independientes si sus voltajes o corrientes son siempre constantes y dependientes en caso de que dependan de estas magnitudes.

Una fuente independiente, es independiente de cualquier otro voltaje o corriente en el circuito. Una fuente dependiente es un generador de voltaje o corriente que depende de otras variables del circuito.

El cortocircuito y el circuito abierto son casos especiales de fuentes ideales. Un cortocircuito es una fuente ideal de voltaje en la que $v(t)=0$. La corriente en un cortocircuito queda determinada por el resto del circuito. Un circuito abierto es una fuente ideal de corriente para la cual $i(t)=0$. El voltaje a través de un circuito abierto queda determinado por el resto del circuito.

Los circuitos abiertos y los cortos se pueden agregar a un circuito sin perturbar las corrientes y voltajes derivados de los demás elementos del circuito. Los circuitos abiertos y los cortocircuitos también se pueden considerar como casos especiales de resistores.

2.13 Circuitos en Serie y en Paralelo

Los circuitos en paralelo tienen conectados sus elementos en paralelo con respecto a la fuente que los alimenta, es decir, sus terminales o nodos están conectados a un mismo punto en común, ya sea en sus entradas y sus salidas a otro mismo punto del circuito. En un circuito en paralelo la suma de su corriente total es la suma de la corriente que pasa por cada uno de sus elementos.

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 \dots$$

Figura 2.36. Ecuación de Corriente total en un circuito en paralelo.

Fuente: Boylestad, R. (2002)

El voltaje en este tipo de circuitos es el mismo y la resistencia total o equivalente se de los elementos conectados en paralelo se muestra en la figura 2.36. Una característica de este tipo de circuitos es que si un elemento deja de funcionar, los demás elementos siguen funcionando.

$$V_T = V_1 = V_2 = V_3 \dots$$

Figura 2.37. Ecuación de Voltaje total en un circuito en paralelo.

Fuente: Boylestad, R. (2002)

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

Figura 2.38. Ecuación de Resistencia total en un circuito en paralelo.

Fuente: Boylestad, R. (2002)

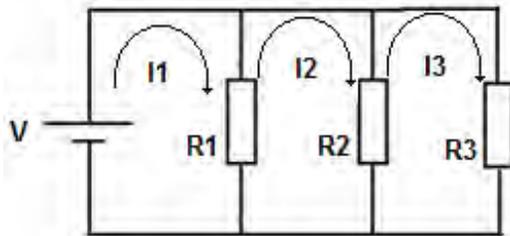


Figura 2.39. Circuito en paralelo.

Fuente: Boylestad, R. (2002)

Un circuito en serie es aquel en el que sus elementos se encuentran conectados de manera seguida, es decir, la entrada de uno a la salida del otro. Los elementos conectados en serie tienen la misma intensidad de corriente y su tensión o voltaje total es la suma de cada una de las tensiones que pasan por cada uno de los elementos.

$$I_T = I_1 = I = I_3 \dots$$

Figura 2.40. Ecuación de Corriente total en un circuito en serie.

Fuente: Boylestad, R. (2002)

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 \dots$$

Figura 2.41. Ecuación de Voltaje total en un circuito en serie.

Fuente: Boylestad, R. (2002)

La resistencia total de los elementos conectados en serie es la suma de la resistencia en cada uno de los elementos que lo componen. Los circuitos en serie tienen la característica de que si un elemento deja de funcionar, los demás dejan de funcionar.

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 \dots$$

Figura 2.42. Ecuación de Resistencia total en un circuito en serie.

Fuente: Boylestad, R. (2002)

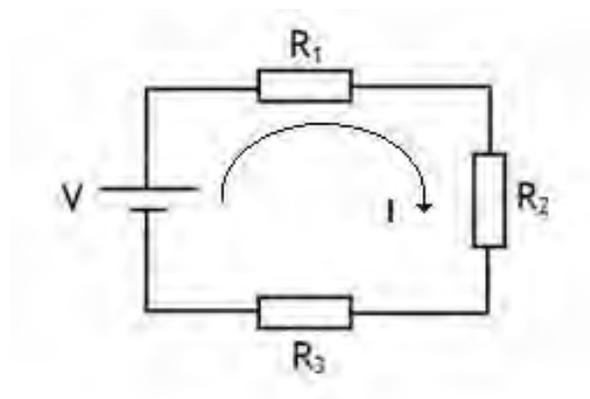


Figura 2.43. Circuito en serie.

Fuente Boylestad, R. (2002)

2.14 Generación de Tensión de CA Senoidal

El estudio del voltaje senoidal de ca es de gran importancia debido a que la mayoría de los servicios públicos en todo el mundo generan este tipo de voltaje. El voltaje senoidal se obtiene de diferentes fuentes, pero la fuente más común se origina en una planta de energía. Las plantas de energía se alimentan mediante energía hidráulica, combustibles fósiles o por fusiones nucleares. El generador es el principal dispositivo capaz de generar energía eléctrica.

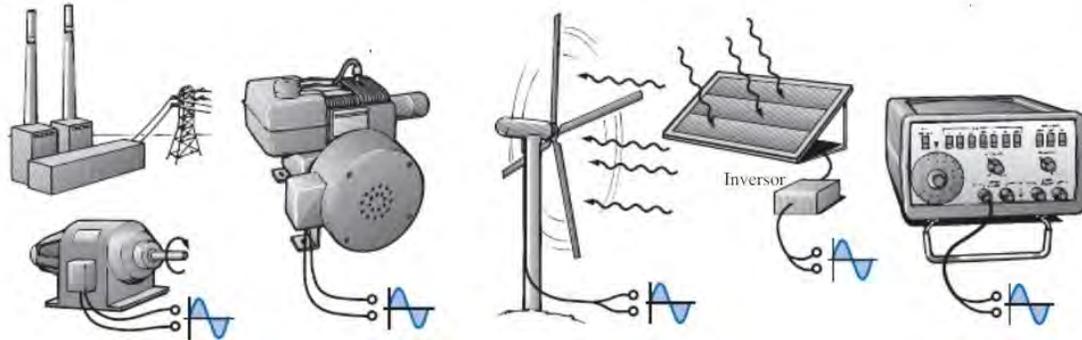


Figura 2.44. Distintas fuentes de energía de ca.

Fuente: Boylestad, R (2002)

El generador eléctrico es una máquina cuyo principio de funcionamiento está basado en el principio de inducción electromagnética y está formado por un eje giratorio (rotor) con grandes electroimanes que giran accionados por el eje de la turbina al que esta acoplado en una estructura estacionaria llamada estator. Esta rotación produce un voltaje en las terminales de las bobinas, y de aquí salen los cables de fuerza que suministran la energía eléctrica. Este fenómeno definido por la Ley de Faraday entre el rotor y el estator, induce un voltaje en los devanados del mismo estator.

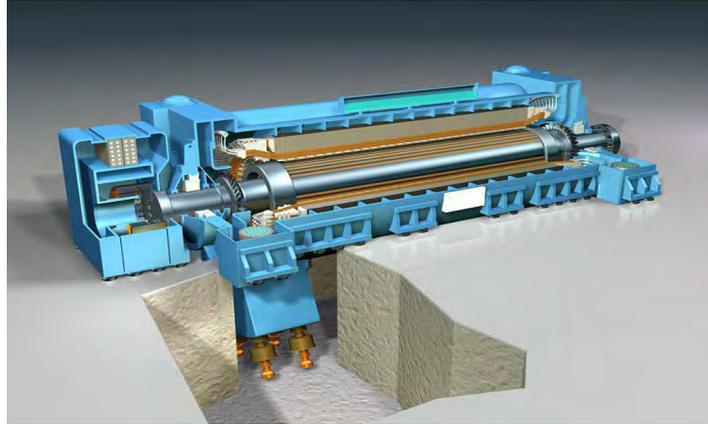


Figura 2.45. Generador síncrono.

Fuente: INEEL (2014)

$$e = N \frac{d\phi}{dt}$$

Figura 2.46. Ley de Faraday.

Fuente: Boylestad, R (2002)

La mayoría de las plantas generadoras, utilizan grupos de turbina-generador para producir electricidad. Las turbinas están constituidas por un eje giratorio y unos álabes o aspas que son impulsadas por la fuerza del agua en el caso de las hidroeléctricas o por un chorro de vapor en el caso de las termoeléctricas, o también por las palas, para las eólicas.

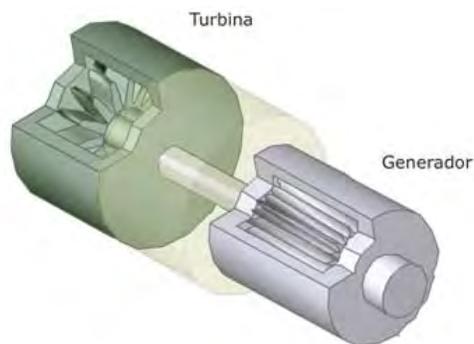


Figura 2.47. Turbina y generador.

Fuente: INEEL (2014)

Tipos de Plantas Generadoras:

➤ Hidroeléctricas.

Es la energía potencial acumulada en los saltos de agua que se transforma en energía eléctrica. En las centrales hidroeléctricas se aprovecha la energía de los ríos para accionar más turbinas que hacen girar a un generador eléctrico y así producir la energía eléctrica.



Figura 2.48. Planta hidroeléctrica.

Fuente: CIRCE (2016)

➤ Mareomotrices.

En algunos sitios en las costas, la diferencia de altura del mar entre la marea alta y la marea baja, es sólo de algunos metros, esta diferencia se aprovecha en las centrales de este tipo. Las centrales mareomotrices funcionan de manera similar que las centrales hidroeléctricas, usando una turbina y un generador para producir energía eléctrica.



Figura 2.49. Turbinas submarinas.

Fuente: Energías renovadas (2017)

➤ Nucleares.

La producción de energía se logra mediante la transformación previa de la energía nuclear, un combustible nuclear (el uranio) y un reactor nuclear reemplazan a los combustibles y a la caldera de la central térmica. En el reactor tiene lugar la fisión del uranio (rotura en cadena de los núcleos de los átomos de este elemento químico), que al liberar una gran cantidad de energía origina el calor preciso para la obtención del vapor de agua.

Los tres combustibles fisionables más conocidos según Enriquez Harper (2014) son el uranio 235, el plutonio 239 y el uranio 233. El primero de estos combustibles es el único que se encuentra disponible en la naturaleza. Las centrales nucleares utilizan turbinas de vapor como máquinas motrices. El reactor y los sistemas de instalación deben ser sometidos a una continua refrigeración, por lo tanto, la localización de estas centrales depende de la disponibilidad de caudales de agua de valor determinado y regular.



Figura 2.50. Central nuclear.

Fuente: Erenovable (2016)

➤ Geotérmica.

El calor interno de la tierra se desplaza hacia la corteza terrestre; en algunas zonas del planeta, cercanas a la superficie, las aguas subterráneas pueden alcanzar temperaturas de ebullición, y por lo tanto, sirven para calefacción o bien, para producir electricidad con turbinas de vapor. Una reserva geotérmica es un área subterránea de roca caliente, fracturada y porosa (permeable). El agua y el vapor de estas reservas calientes son los recursos geotérmicos usados para generar electricidad.

En una central geotérmica, la presión máxima es del orden de 0.9 MP y representa un sistema de conversión directa, por lo que es de los más simples. Son centrales comunes en ciertas partes del planeta y también resultan atractivas desde el punto de vista comercial.

➤ Eólicas.

La energía eólica es la que se obtiene a través del viento, es decir, por medio de la utilización de la energía cinética, por el efecto de las corrientes de aire. La energía eólica se puede instalar en espacios no aptos para otros fines, como zonas no cultivables, pero también puede convivir con otros usos de suelo. Este tipo de energía es renovable y limpia, además de que no contribuye al efecto invernadero ni al cambio climático.

Su inclusión en los sistemas interconectados, permite ahorrar combustibles en las centrales térmicas y/o agua en los embalses de las centrales hidroeléctricas. Es posible construir parques eólicos en el mar, donde hay mejor viento y menor impacto social.



Figura 2.51. Turbina eólica.

Fuente: CIRCE (2016)

➤ Biomasa.

La biomasa es el conjunto de la materia orgánica de origen vegetal o animal que se puede utilizar con fines energéticos. La biomasa incluye también los materiales procedentes de la transformación natural o artificial de la materia orgánica.

➤ Solares: fotovoltaicas y termosolares.

Es de las tecnologías que hacia el inicio del siglo XXI están adquiriendo importancia, la captación de la radiación solar es la que sirve tanto para la transformación de la energía solar en calor (termosolar), como para generar directamente electricidad (fotovoltaica).

La energía solar es una fuente de energía eléctrica para equipos de telecomunicaciones, para alumbrado y alimentación de equipos electrodomésticos como: hornos de microondas,

televisores, radios, ventiladores, bombas de agua, teléfonos, alumbrado público, para generación eléctrica aislada y también interconectada a la red.



Figura 2.52. Eficiencia energética

Fuente: Energías Renovables (2016)

Para ubicaciones aisladas donde no se han instalado líneas de alimentación, se dispone de generadores portátiles de ca, que funcionan a base de gasolina. Se debe tener en cuenta, que al igual que en las planta de energía más grandes, un generador de ca es sólo una parte integral del diseño. El voltaje generado se distribuye a través de las líneas de alimentación hacia el consumidor.

La energía eólica y la energía solar, están recibiendo actualmente un mayor auge en diversas zonas del mundo que cuentan con tales fuentes de energía disponibles en un nivel y duración que hacen viable el proceso de conversión. Las hélices giratorias de la estación eólica están conectadas directamente al eje de un generador para proporcionar el voltaje de ca. Mediante energía luminosa absorbida en forma de fotones, las celdas solares pueden generar voltajes de cd. Un inversor entonces, se encarga de transformar el voltaje de cd a uno de naturaleza senoidal (ca).

En corriente alterna se obtienen tres tipos de potencias: la real o activa, la reactiva y la aparente, ligadas entre sí por el llamado triángulo de potencias y dependientes del factor de potencia. La potencia real o activa se representa por la letra P y su unidad es el watt, la potencia reactiva se representa por la letra Q y su unidad es el VAR. Un VAR es un volt-ampere reactivo. Por último, la potencia aparente se representa por la letra S y su unidad es VA (volt-ampere).

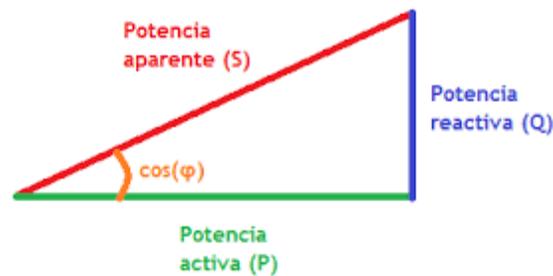


Figura 2.53. Triángulo de potencias

Fuente: Boylestad, R. (2002)

El factor de potencia (F. P.) es un indicador sobre el correcto aprovechamiento de la energía, de forma general es la cantidad de energía que se ha convertido en trabajo. El valor ideal del factor de potencia es 1, esto indica que toda la energía consumida por los aparatos ha sido transformada en trabajo. Por el contrario, un factor de potencia menor a la unidad significa mayor consumo de energía necesaria para producir un trabajo útil.

$$\text{F. P.} = \frac{\text{Potencia Real}}{\text{Potencia Aparente}} = \frac{W}{VA} = \cos \varphi$$

Figura 2.54. Factor de potencia.

Fuente: Hayt, Kemmerly & Durbin (2007)

Es importante mencionar que la forma de onda senoidal, es la única forma de onda cuyo aspecto no se ve afectado por las características de respuesta de los elementos R, L y C. Es decir, si el voltaje o la corriente de un resistor, bobina o capacitor es de naturaleza senoidal, el voltaje o la corriente resultante de cada uno tendrá características senoidales. La unidad de medida para el eje horizontal es el grado, y otra unidad es el radián. Una onda senoidal está completa cuando el radio vector concluye un giro de 360°. La relación entre grados y radianes es la que se muestra en figura 2.55.

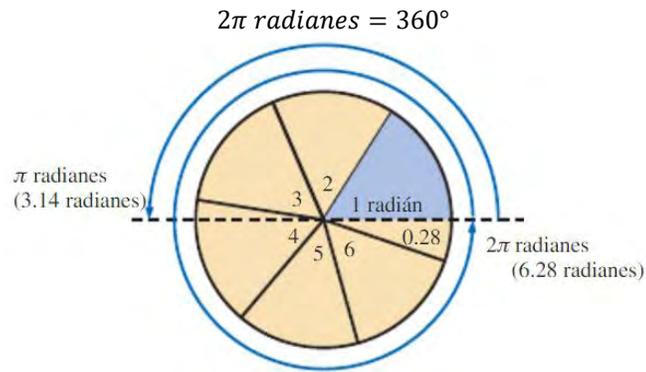


Figura 2.55. Relación radianes y grados.

Fuente: Boylestad, R (2002)

El tiempo necesario para completar una revolución es igual al periodo (T) de la forma senoidal. El periodo es un intervalo de tiempo entre repeticiones sucesivas de una forma periódica. Los radianes incluidos en este intervalo de tiempo son 2π . La velocidad angular es la velocidad con que gira el radio vector al centro y se determina en radianes sobre segundos como lo muestra la figura 2.57.

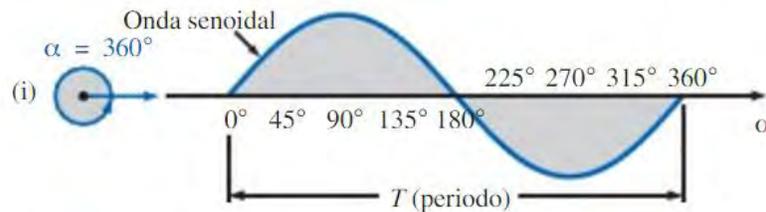


Figura 2.56. Generación de una onda senoidal mediante la proyección vertical.

Fuente: Boylestad, R (2002)

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Figura 2.57. Ecuación de Velocidad angular.

Fuente: Boylestad, R (2002)

El ciclo de una onda senoidal es la porción de una forma de onda contenida en un periodo. La frecuencia entonces, es el número de ciclos que se producen en un segundo. La unidad de la frecuencia es el Hertz que es igual a 1 ciclo por segundo. La frecuencia nominal en México y en Estados Unidos es de 60 Hz, en Europa es de 50 Hz. Ya que la frecuencia es inversamente proporcional al periodo entonces:

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

Figura 2.58. Ecuación de Frecuencia.

Fuente: Boylestad, R (2002)

El formato básico para la forma de onda senoidal es $A_m \text{sen}\alpha$ donde A_m es el valor pico de la forma de onda y α es la unidad de medida del eje horizontal. Para cantidades eléctricas como la corriente y la tensión, el formato general se muestra en la figura 2.59. Donde I_m y E_m representan la amplitud y, las minúsculas i y e representan el valor instantáneo de corriente y voltaje.

$$i = I_m \text{sen}\omega t = I_m \text{sen}\alpha$$

$$e = E_m \text{sen}\omega t = E_m \text{sen}\alpha$$

Figura 2.59. Formato general para tensión y corriente senoidales.

Fuente: Boylestad, R (2002)

La amplitud de una onda es el valor máximo de una forma de onda medida a partir de su valor promedio o medio. Entonces, el valor instantáneo es la magnitud de una forma de onda en algún instante en el tiempo. Otro concepto a tener en cuenta en la onda senoidal, es el valor pico. El valor pico máximo valor instantáneo de una función medido a partir del nivel de cero, es decir, a partir del valor 0 en el eje horizontal de la forma de onda senoidal.

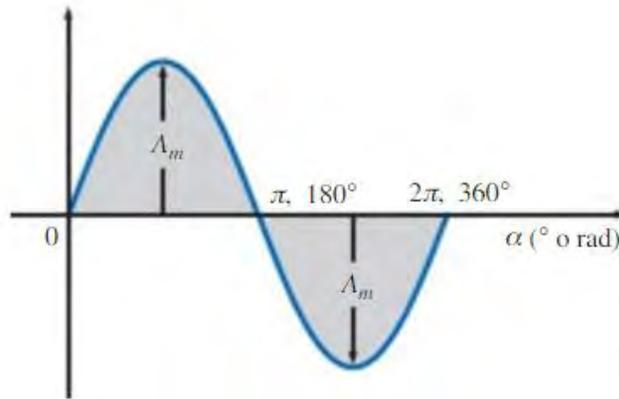


Figura 2.60. Función senoidal básica

Fuente: Boylestad, R (2002)

La relación de fase entre dos formas de onda indica cuál de éstas se adelanta o retrasa con respecto a la otra, y por cuántos grados o radianes. Los términos adelantar y retrasar se utilizan para indicar la relación entre dos formas de onda senoidales de la misma frecuencia graficadas sobre el mismo conjunto de ejes. La curva del coseno en la figura 2.61 se dice que se adelanta a la curva del seno por 90° . Los 90° son referidos como el ángulo de fase entre las dos formas de onda.

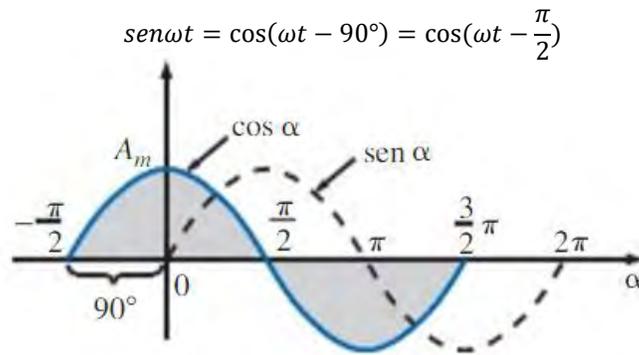


Figura 2.61 Relación de fase entre una onda senoidal y una cosenoidal

Fuente: Boylestad, R (2002)

2.15 Valores efectivos (rms)

La potencia que se entrega en cada instante cuando pasa corriente por un resistor, variará con la magnitud de la corriente senoidal de ca, pero un flujo neto existirá durante los pulsos positivos o negativos con flujo neto durante todo el ciclo. Entonces, el flujo neto de potencia será igual al doble del entregado por las regiones positivas o negativas de la cantidad senoidal.

En la figura 2.62 se representa un resistor sumergido en agua que está conectado mediante interruptores a dos fuentes, una de ca y otra de cd. Si el interruptor 1 se cierra, se establecerá una corriente de cd I_{cd} , determinada por la resistencia R y el voltaje de la batería E , a través del resistor R . La temperatura alcanzada por el agua está determinada por la potencia de cd disipada en forma de calor por el resistor.

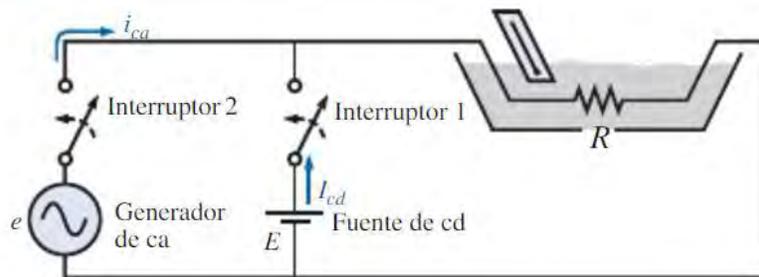


Figura 2.62. Relación entre cantidades de ca y cd

Fuente: Boylestad, R (2002)

Cuando el interruptor 2 cierra y el interruptor 1 está abierto, la corriente de ca a través del resistor tendrá un valor pico I_m . La entrada de ca varía hasta que la temperatura, que es determinada por la potencia de ca disipada en forma de calor por el resistor, sea la misma que la alcanzada por la entrada de cd. Entonces, la potencia eléctrica promedio entregada al resistor R por la fuente de ca es la misma que la entregada por la fuente de cd.

$$P_{ca} = I^2 R = (I_m \text{sen} \omega t)^2 R$$

Figura 2.63. Ecuación de Potencia en ca en una onda senoidal

Fuente: Boylestad, R (2002)

Recordando la identidad trigonométrica $\text{sen}^2\omega t = \frac{1}{2}(1 - \text{cos}2\omega t)$ y si se sustituye, se obtiene la ecuación $P_{ca} = \frac{I_m^2}{2} - \frac{I_m^2}{2}\text{cos}2\omega t$. Debido a que, el valor promedio de una onda cosenoidal es cero, solamente queda $P_{ca} = \frac{I_m^2}{2}$. Si se iguala la potencia promedio proporcionada por el genetador de ca a la de la fuente de cd, entonces $P_{ca} = P_{cd}$.

$$\frac{I_m^2 R}{2} = I_{cd}^2 R$$

Figura 2.64. Ecuación de Igualdad entre potencia en ca y potencia en cd

Fuente: Boylestad, R (2002)

La corriente I_m entonces, queda definida como $I_m = \sqrt{2}I_{cd}$, lo que indica que el valor equivalente de cd de una corriente o una tensión senoidal es $\frac{1}{\sqrt{2}}$ de su valor máximo. El valor equivalente de cd se denomina valor efectivo de la cantidad senoidal, por lo que $I_{ef} = 0.707I_m$. Para la tensión entonces se tiene que $E_{ef} = 0.707E_m$.

Como ejemplo numérico simple, se necesitará de una corriente ca con un valor pico = $\sqrt{2(10)} = 14.14$ amp para proporcionar la misma potencia a la resistencia que tiene una corriente de cd de 10 amp. Al valor efectivo también se le conoce como el valor de raíz cuadrática media (rms).

2.16 Sistema de Energía Eléctrica

Una gran cantidad de máquinas y aparatos de uso común funcionan con energía eléctrica, que es transformada produciendo luz, calor, imágenes, sonido y movimiento. Por la facilidad con que se transporta y transforma para distintas aplicaciones, hace que la electricidad sea probablemente

la forma de energía más usada. El modelo energético actual está basado principalmente en el consumo de combustibles fósiles, para prácticamente todos los medios de transporte y la generación de energía eléctrica.

Un sistema de energía eléctrica, está compuesto por: plantas generadoras, subestaciones elevadoras y reductoras, líneas de transmisión, redes de distribución y finalmente las cargas que son las que demandan energía eléctrica. Las cargas son los usuarios de la red eléctrica y pueden ser de tipo industrial, comercial o residencial y la tensión a suministrar se basa en este factor.

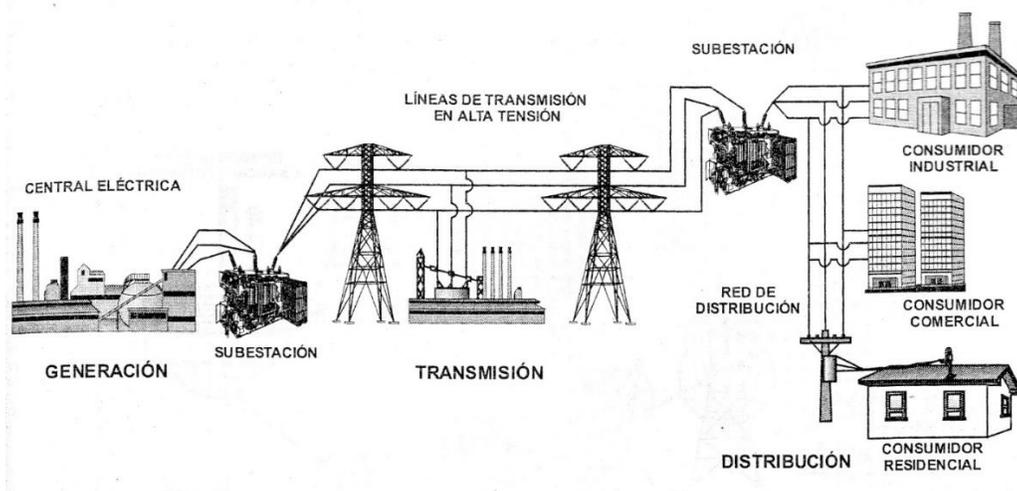


Figura 2.65. Sistema de energía eléctrica

Fuente: Enríquez, G. (2014)

2.16.1 Plantas Generadoras.

Las plantas generadoras eléctricas se localizan, por lo general, en las cercanías de fuentes de energía básicas (ríos, yacimientos de carbón) y en las cercanías de los grandes centros de consumo. La energía eléctrica se genera con tensiones que varían de acuerdo al tipo de planta generadora, entre un valor de 3 y 36 kV en corriente alterna. Las tensiones más elevadas de generación normalmente corresponden a las potencias generadas más altas.

2.16.2 Subestaciones Elevadoras.

En las subestaciones elevadoras la tensión de salida de los generadores se eleva para transportar la energía en forma económica a grandes distancias. Por lo general, estas

subestaciones están ubicadas en las Centrales o cercanas a éstas y elevan las tensiones de generación a las tensiones de transmisión, como por ejemplo, en México se usan los valores de 115, 138, 230 y 400 kV.

2.16.3 Líneas de Transmisión.

El inicio de una línea de transmisión puede ser una subestación elevadora, pero interconectan a una red eléctrica nacional en barras o nodos de subestaciones al mismo nivel de tensión, uniendo los grandes centros de generación con los grandes centros de consumo; la función principal es transportar la potencia eléctrica a grandes distancias.

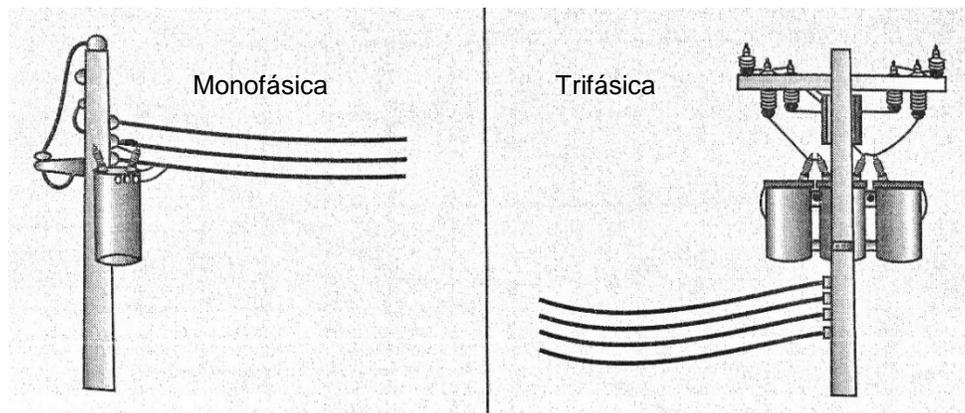


Figura 2.66. Red de distribución monofásica y trifásica.

Fuente: Enríquez, G. (2014)

2.16.4 Subestaciones Reductoras.

El propósito de estas subestaciones es reducir el voltaje de transmisión e interconexiones, a valores de distribución y utilización para grandes clientes o cargas ubicadas en los grandes centros de consumo.

2.16.5 Redes de Distribución.

Estas redes conocidas también como redes de distribución primaria, son las que parten de las subestaciones reductoras y distribuyen la energía eléctrica por su estructura topológica. Pueden ser radiales o malladas (en anillo) y usan voltajes que pueden ser, por ejemplo en México de 6.6 kV, 13.8 kV, 23 kV y 34.5 kV.

Las redes de distribución en baja tensión son aquellas que parten de las subestaciones de las redes primarias y alimentan directamente a las distintas cargas, de manera que constituyen la última etapa en la distribución de la energía eléctrica, pueden ser alimentación a cargas trifásicas o monofásicas con voltaje de 220/127 y 420/220 V.

2.16.6 Cargas.

La carga de un sistema o de una parte del mismo, es la suma de las potencias nominales de todos los receptores instalados en él o ella, respectivamente. La naturaleza de la carga, juega un papel importante en el tamaño y número de unidades generadoras que tendrá. La naturaleza de la carga está indicada por las curvas de carga, que son una relación entre carga y tiempo, representando la variación de la carga con el tiempo.

La demanda de una instalación eléctrica receptora, es el valor medio de la carga en kW, que absorbe durante un intervalo de tiempo determinado. La demanda es variable en cada época del año y durante las horas de cada día, es decir, la demanda es variable con el tiempo. La demanda total de consumo eléctrico es la suma de las potencias demandadas por cada uno de los clientes y éstos tienen hábitos de consumo definidos.

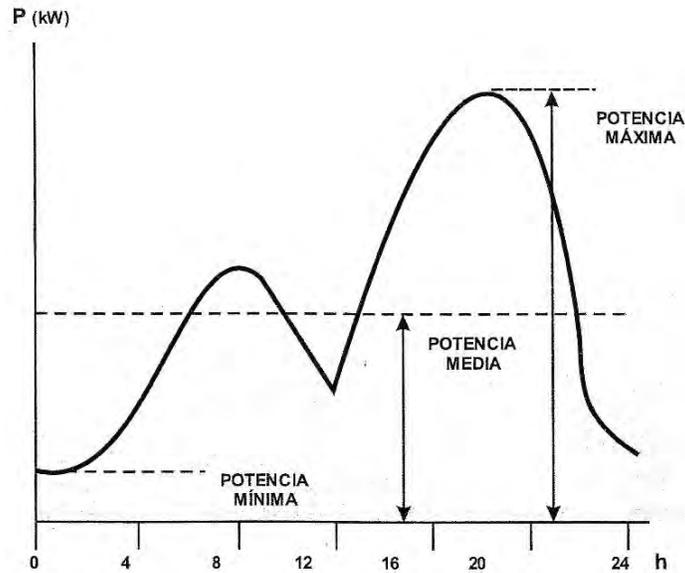


Figura 2.67. Curva de potencia diaria.

Fuente: Enríquez, G. (2014)

2. 17 Generación Solar

La célula solar es la unidad básica de producción de energía eléctrica solar, la luz que impacta la celda solar, crea una corriente impulsada por la energía de la luz, produciendo electricidad cuando se exponen a la luz solar. La tecnología fotovoltaica funciona cuando sol este brillando, pero se produce más electricidad cuando la luz es más intensa y cuando impacta más directamente a los módulos fotovoltaicos.

El brillo del sol alcanza a la tierra como un tipo de energía llamado radiación, que está compuesta de partículas de alta energía llamada fotones. Cada unidad de radiación solar o fotón lleva una cantidad fija de energía, dependiendo de la cantidad de energía que transporta la radiación cae en distintas categorías, incluyendo infrarrojos (calor), visible y ultravioleta.

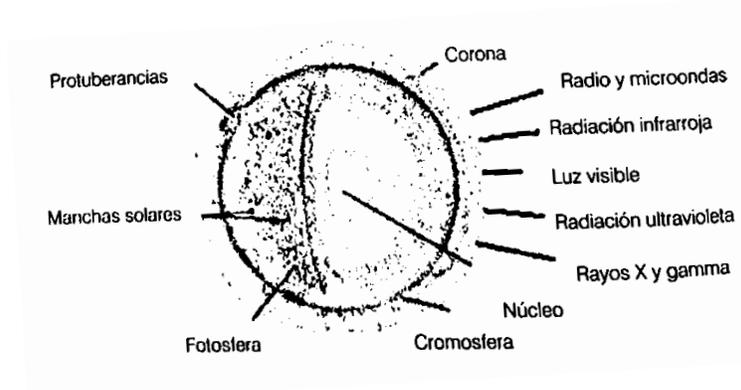


Figura 2.68. Esquema del sol y características de la radiación emitida.

Fuente: Albizzati, E. (2012)

El espectro solar describe todos los grupos de energía de radiación provenientes del sol y los clasifica de acuerdo a su longitud de onda. Distintos tipos de celdas solares y dispositivos que colectan energía usan distintas partes del espectro solar. La energía solar llega al borde de la atmosfera de la tierra a un índice constante alrededor de 1350 watts por metro cuadrado (W/m^2), a esto se le conoce como constante solar. La atmosfera absorbe y refleja mucha de la energía que absorbe, y este valor cuando alcanza la superficie de la tierra se reduce a un máximo de alrededor de $1000 W/m^2$.

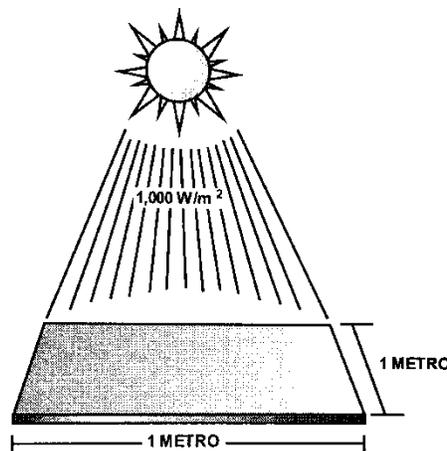


Figura 2.69. Representación de la constante solar.

Fuente: Enríquez, G. (2014)

Los países que están en el hemisferio norte tienen menor radiación solar anual que los países cercanos al Ecuador, principalmente porque durante el invierno tienen más días cortos. A su vez, dependiendo de la obstrucción que tienen los rayos solares por las nubes o las partículas suspendidas en el aire. La radiación solar puede ser directa (sin obstrucción) o difusa (con algún tipo de obstrucción).

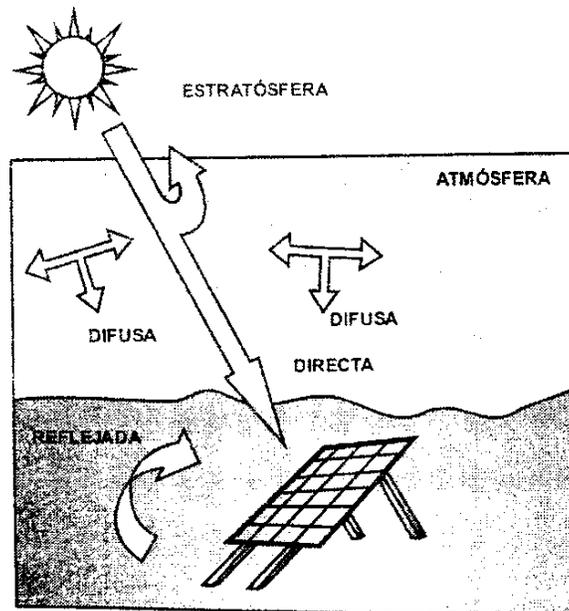


Figura 2.70. Radiación directa y difusa.

Fuente: Enríquez, G. (2014)

La radiación directa viene como un rayo directo y se puede concentrar con un lente o un espejo. La radiación difusa es una radiación reflejada por la atmósfera o radiación dispersa reflejada por las nubes, el humo y el polvo. Las nubes y el polvo absorben o dispersan la radiación, reduciendo la cantidad que alcanza la tierra.

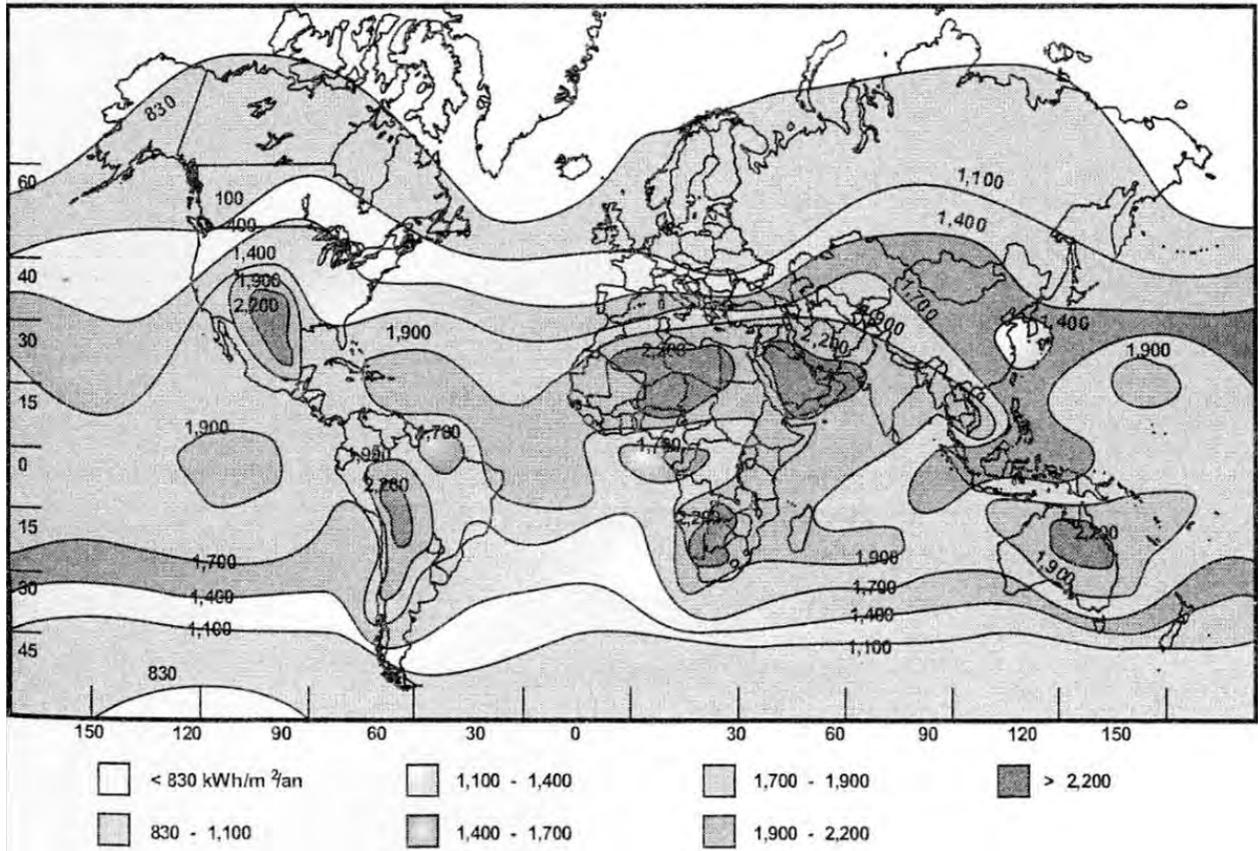


Figura 2.71. Valores de radiación solar en el mundo (kWh/m²/año).

Fuente: Enríquez, G. (2014)

La irradiancia solar es la radiación solar que realmente impacta una superficie o la potencia recibida por unidad de área desde el sol, ésta se mide en watts por metro cuadrado (1000 W/m²) o kilowatts por metro cuadrado (kW/m²). La cantidad de potencia recibida a una hora dada del día varía con las nubes que pasan y la cantidad de polvo en la atmósfera.

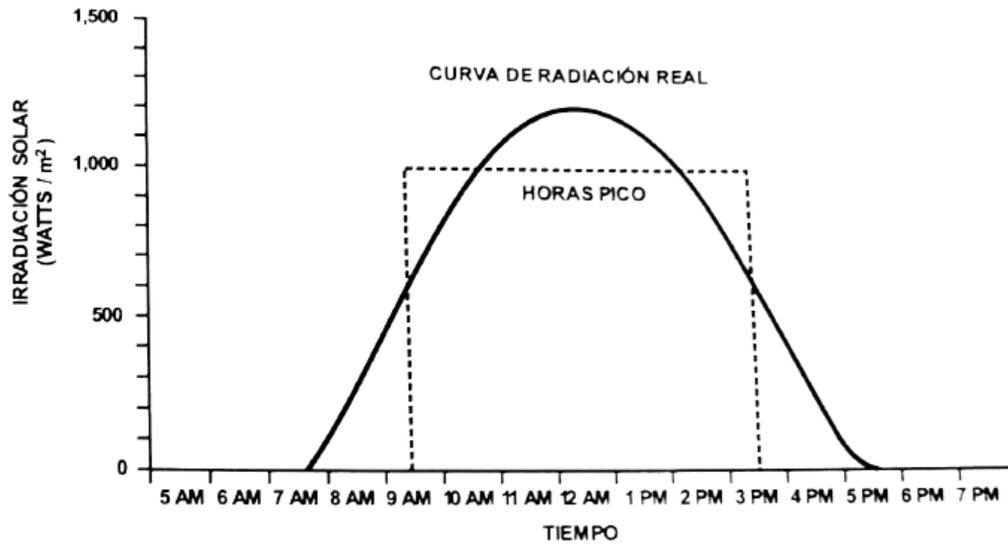


Figura 2.72. Curva de radiación real.

Fuente: Enríquez, G. (2014)

2.17.1 Efecto Fotoeléctrico.

El efecto fotoeléctrico tiene lugar cuando un fotón choca con un átomo y libera un electrón, dejando detrás un hueco o espacio que puede ser de material tipo *p* o *b*. El efecto fotoeléctrico tiene tres aplicaciones: la fotoemisión, la fotoconducción y la fotovoltaica.

- Fotoemisión: La energía de un fotón causa en la superficie de una placa emisora para liberar electrones en un tubo al vacío. Una placa colectora colecta los electrones.
- Fotoconducción: La energía de un fotón aplicada a algunos materiales que no son buenos conductores causan que electrones se liberen en los materiales, entonces se convierten en mejores conductores.
- Fotovoltaico: La energía de un fotón actuando en una de las placas que son unidas ocasiona que una placa le libere electrones a la otra. La placa genera cargas contrarias, como una batería.

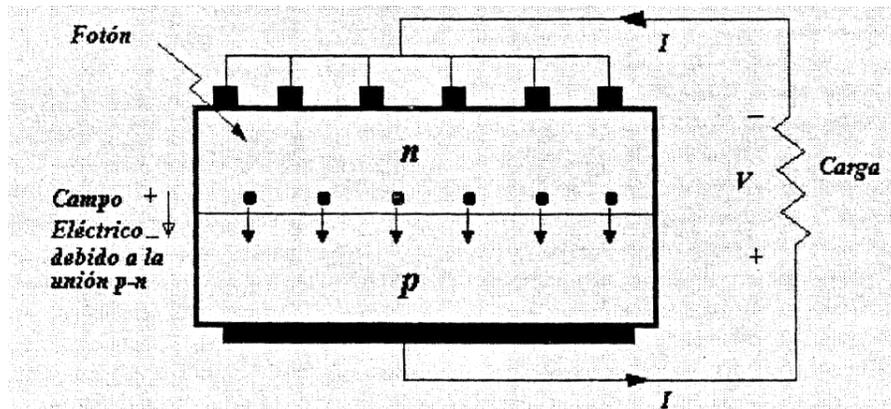


Figura 2.73. Efecto fotoeléctrico.

Fuente: Pareja, M. (2010)

La luz solar está compuesta de fotones, cuando los fotones impactan una celda solar, pueden ser reflejados, absorbidos o transmitidos a través de la celda; pero, solamente los fotones absorbidos generan electricidad. Cuando los fotones son absorbidos, la energía de los fotones se transfiere a los electrones en los átomos de la celda solar, la cual es un semiconductor.

El efecto fotovoltaico ocurre entonces, cuando en un dispositivo se observa una diferencia de voltaje debido a la absorción de la luz solar. Si se le conecta una carga en terminales se producirá una corriente que será capaz de realizar un trabajo en ella. La corriente producida es proporcional al flujo luminoso recibido en el dispositivo. A la unidad mínima en donde se lleva a cabo el efecto fotovoltaico se le conoce como celda solar.

Las celdas solares son diodos con una gran superficie expuesta al sol. Como se mencionó anteriormente, un diodo es una capa tipo n unida a una capa p. Por lo tanto, la celda solar tiene una unión P-N, y está constituida principalmente por silicio. El uso de silicio es el segundo más abundante en la corteza terrestre y se presenta en forma de dióxido de silicio (SiO_2), por lo que se requiere de cierto tratamiento químico hasta que finalmente se convierte en las láminas que formarán la unión P-N.

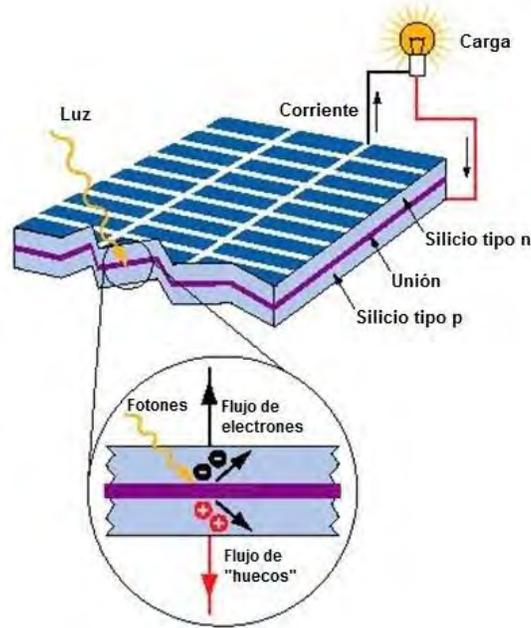


Figura 2.74. Esquema de generación fotovoltaica.

Fuente: Bayod, A. (2009)

El texturado que cubre la capa de silicio, sirve para evitar que se refleje la luz incidente, puesto que la superficie de la oblea es muy pulida. El proceso consiste en crear una superficie rugosa formada por pirámides microscópicas que hacen que se refleje la luz hacia el interior de las células. Por último se le aplica una película antirreflejante a la superficie sobre la que incide la luz para disminuir la reflexión de la célula.

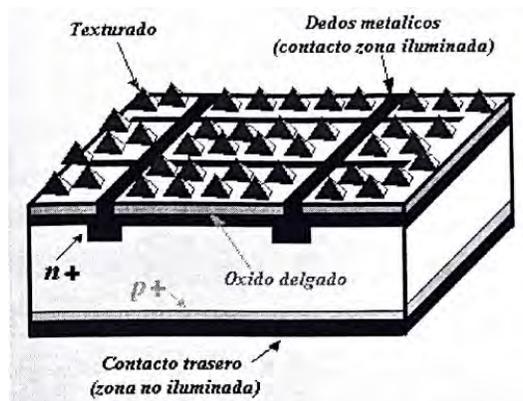


Figura 2.75. Estructura célula fotovoltaica.

Fuente: Pareja, M. (2010)

Tabla 2.4. Características de cristalinidad del silicio.

Tipo de celda de silicio	Características
Monocristalinas	Los átomos están perfectamente ordenados en la red cristalina. Es decir, todo el volumen de la célula es un único cristal de silicio. En consecuencia presenta un color monocromático, azulado oscuro y con cierto brillo metálico.
Policristalinas	Están formados por una agrupación de cristales de silicio. En consecuencia presentan un aspecto de una variedad de cristales de distintos tonos azulados y grises con brillo metálico. La eficiencia se sitúa entre un 10% y un 14%. Con ventaja respecto a las monocristalinas es que su procedimiento de fabricación es menos costoso porque su precio final es más barato.
Amorfas	Están formados por átomos de silicio sin conformar una red cristalina. Presentan un aspecto de color marrón y gris oscuro. El rendimiento es menor a los anteriores, sobre el 10%, pero el proceso de fabricación es menos costoso. De este material están hechas las células de las calculadoras porque son eficientes bajo iluminación artificial.

Fuente: Pareja, M. (2010)

El brillo del sol alcanza la tierra como un tipo de energía llamado radiación. Las características de la célula fotovoltaica dada por la curva tensión-corriente (curva V-I). En dicha curva se muestra la tensión y la corriente, teniendo en cuenta los valores máximos de corriente y de tensión (potencia máxima). En la figura 2.76, en el eje vertical representa la corriente y el eje horizontal se representa la tensión también se puede ver el punto de potencia máxima (P_{max}), que se corresponde con el producto de la tensión máxima (V_{pmax}) y la corriente máxima (I_{pmax}).

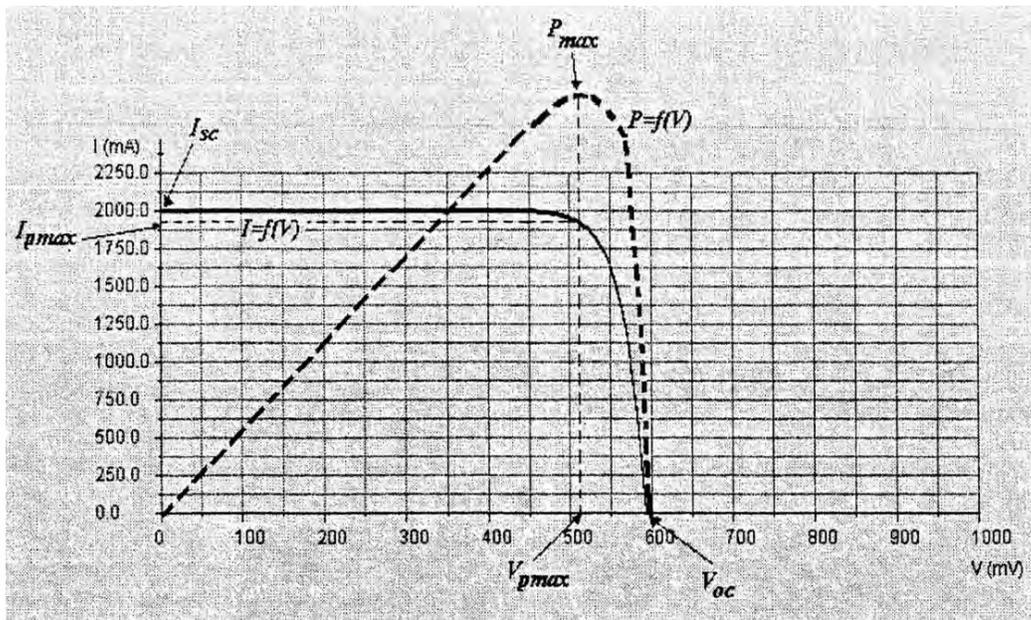


Figura 2.76. Curva de célula fotovoltaica.

Fuente: Pareja, M. (2010)

La gráfica representada está tomada para valores estándar, estos valores pueden ser distintos en función de la irradiación solar y la temperatura. En dicha grafica se pueden apreciar los máximos de corriente y de tensión, los cuales corresponden al valor de la corriente de cortocircuito (I_{sc}) y de la tensión en circuito abierto (V_{oc}), valores que siempre son proporcionados por el fabricante.

Cuando la tensión sea nula ($V=0$) se obtendrá la corriente de cortocircuito cuando la corriente sea nula ($I=0$) se obtendrá la tensión en circuito abierto. Otros conceptos a tener en cuenta son el factor de forma (FF) y la eficiencia (η), de los cuales FF relaciona la tensión y corriente máxima con la corriente en cortocircuito y la tensión de circuito abierto.

$$FF = \frac{V_m \cdot I_m}{V_{os} \cdot I_{sc}}$$

Figura 2.77. Ecuación del factor de forma.

Fuente: Pareja, M. (2010)

La eficiencia de la celda relaciona la potencia máxima (P_m) de la celda con la potencia luminosa (PI) recibida por la célula, tal y como se muestra en la figura 2.78. El voltaje de circuito abierto (V_{oc}) es el voltaje máximo que genera la celda solar, este voltaje se mide cuando no existe un circuito externo conectado a la celda. La máxima potencia generada queda definida por la corriente máxima y el voltaje máximo.

$$\eta = \frac{P_m}{PI} = \frac{V_m \cdot I_m}{PI}$$

Figura 2.78. Ecuación de eficiencia.

Fuente: Pareja, M. (2010)

El voltaje de circuito abierto, la corriente de cortocircuito y la máxima potencia generada son características eléctricas de gran importancia. La corriente de cortocircuito (I_{cc}), es la máxima corriente generada por la celda solar y se mide cuando se conecta un circuito exterior a la celda con resistencia nula. Su valor depende del área superficial y de la radiación luminosa, irradiancia y temperatura.

2.17.2 Módulo Fotovoltaico.

Un módulo fotovoltaico está formado por la interconexión de varias células en serie y/o paralelo, para adaptar el módulo fotovoltaico a los niveles de tensión y corriente. Entonces se pueden obtener las características de la célula. Esto es debido a que las características de las células que forman un módulo fotovoltaico son idénticas y en consecuencia se puede obtener la curva de tensión-corriente a partir de las curvas de las células que lo componen.

Partes de un módulo fotovoltaico:

- 1) Perfil: se corresponde con el soporte metálico que servirá para el montaje del módulo fotovoltaico, proporcionándole rigidez y protección ante los vientos. El material más utilizado es el aluminio anodizado.
- 2) Agujero de fijación: en el perfil se suelen colocar unos taladros que permiten anclarlo y fijarlo a otros módulos, o sobre un soporte, o conexión de la toma a tierra.
- 3) Conexión exterior: se utilizan para la conexión en la instalación o entre los módulos fotovoltaicos entre sí. Pueden aparecer en cajas de conexión o aparecen en cables exteriores con conectores especiales que facilitan la interconexión entre los propios módulos fotovoltaicos.

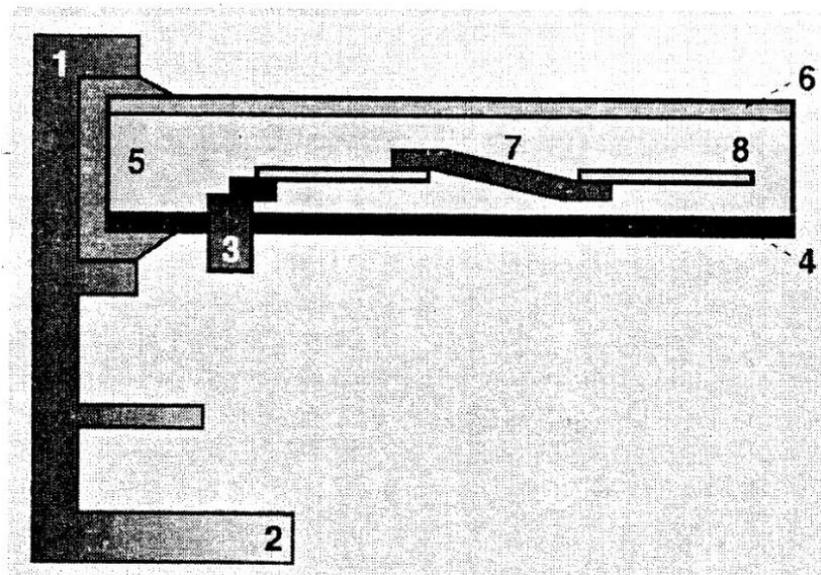


Figura 2.79. Partes de un módulo fotovoltaico.

Fuente: Pareja, M. (2010)

- 4) Protección inferior: se encuentra en la parte trasera del módulo fotovoltaico y suele ser opaca, su función es la de protección contra agentes externos. Los materiales más utilizados son el Tedlar u otro tipo de vidrio.
- 5) Material encapsulante: se encuentra recubriendo las células y las conexiones eléctricas, debe presentar una transparencia a la radiación solar. Su función es la de la unión entre el

vidrio y la protección inferior, además protege a las células ante posibles vibraciones. Los materiales más utilizados son siliconas, polivinilo y etil-vinil-acetileno (EVA).

- 6) Vidrio: se trata de un vidrio resistente a los golpes y con una superficie lisa para que no retenga la suciedad. Se trata de un elemento de protección para las células y debe presentar una elevada transparencia a la radiación solar.
- 7) Conexión: se corresponde con las conexiones internas del módulo fotovoltaico para interconexión de las células.
- 8) Célula fotoeléctrica: se trata del elemento principal y que proporciona la transformación a energía eléctrica.

La principal función de un módulo fotovoltaico es la de proporcionar energía a la instalación a partir de la radiación solar aprovechando el efecto fotoeléctrico. Entonces n función de las características de la instalación se necesitarán asociar varios módulos fotovoltaicos para obtener los requisitos de potencia a generar. Los módulos fotovoltaicos se pueden asociar en serie y en paralelo.

Para asociar módulos fotovoltaicos en serie se conecta el polo positivo de un módulo con el polo negativo del siguiente módulo y así sucesivamente tantas veces como elementos se necesiten. El asociar baterías en serie permite el aumentar la tensión. Las ecuaciones que definen la asociación en serie son:

$$U_{TOTAL} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots (V)$$

$$I_{TOTAL} = I_1 = I_2 = I_3 = \dots (A)$$

$$P_{TOTAL} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots (W)$$

$$P_{TOTAL} = U_{TOTAL} \cdot I_{TOTAL} \quad (W)$$

Figura 2.80. Ecuaciones de asociación en serie.

Fuente: Pareja, M. (2010)

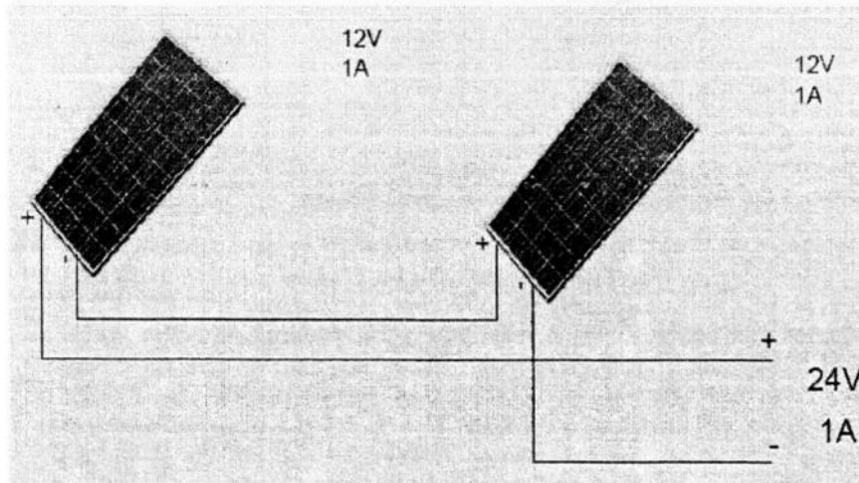


Figura 2.81. Asociación de módulos fotovoltaicos en serie.

Fuente: Pareja, M. (2010)

Para módulos fotovoltaicos en paralelo se conecta el polo positivo de un módulo con el polo positivo del siguiente módulo y el polo negativo de un módulo con el polo negativo del siguiente módulo, tantas veces como necesiten. El asociar módulos en paralelo permite el aumentar la corriente generada. Las ecuaciones que definen la asociación en paralelos son:

$$U_{TOTAL} = U_1 = U_2 = U_3 = \dots (V)$$

$$I_{TOTAL} = I_1 + I_2 + I_3 \dots (A)$$

$$P_{TOTAL} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots (W)$$

$$P_{TOTAL} = U_{TOTAL} \cdot I_{TOTAL} (W)$$

Figura 2.82. Ecuaciones de asociación en paralelo.

Fuente: Pareja, M. (2010)

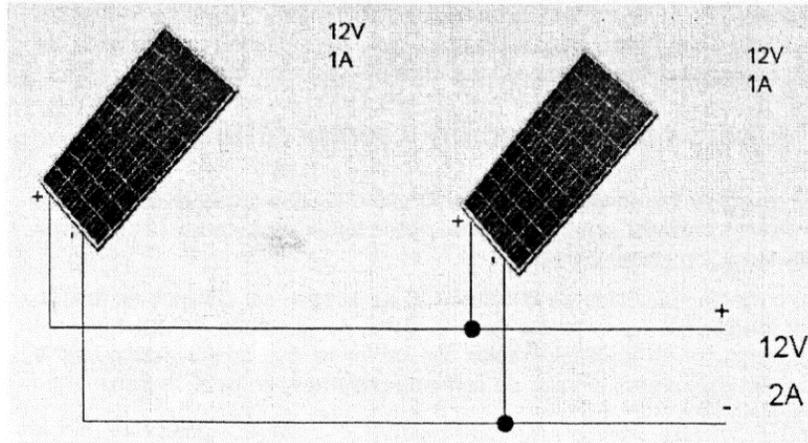


Figura 2.83. Asociación de módulos fotovoltaicos en paralelo.

Fuente: Pareja, M. (2010)

La combinación mixta consiste en una combinación de una instalación en serie y paralelo, lo que permite aumentar tanto la tensión como la corriente generada.

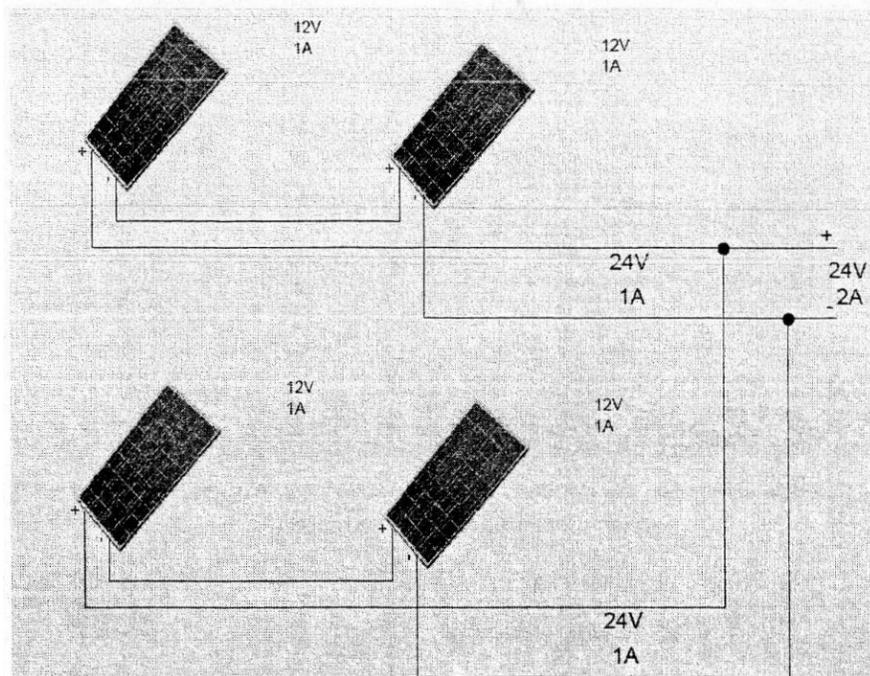


Figura 2.84. Asociación mixta.

Fuente: Pareja, M. (2010)

En la mayoría de las instalaciones, dependiendo de la potencia de la instalación, será necesario asociar varios módulos fotovoltaicos en serie o paralelo para obtener los niveles de tensión de la instalación. Para la realización de las conexiones se puede realizar desde una caja de conexiones que se encuentra en la parte posterior del módulo fotovoltaico o en algunos casos dispone de un cableado de conexión con conectores especiales que facilitan la conexión.

En la figura 2.87, se pueden ver dos diodos denominados diodos de paso. Dicho diodos de paso se conocen a la vez como diodos bypass, y su función es la de proteger individualmente a cada panel de posibles daños ocasionados por sombras parciales, evitando que los módulos fotovoltaicos actúen como receptores.

Los diodos de bloqueo suelen ir conectados en la caja de conexiones de cada módulo fotovoltaico y se utilizan en disposiciones de módulos fotovoltaicos conectados en serie. Los diodos bypass o bloqueo van interconectados en paralelo con las conexiones de módulo fotovoltaico, siendo conectado el ánodo del diodo con el terminal negativo de módulos fotovoltaico y cátodo del diodo con el terminal positivo del módulo fotovoltaico.

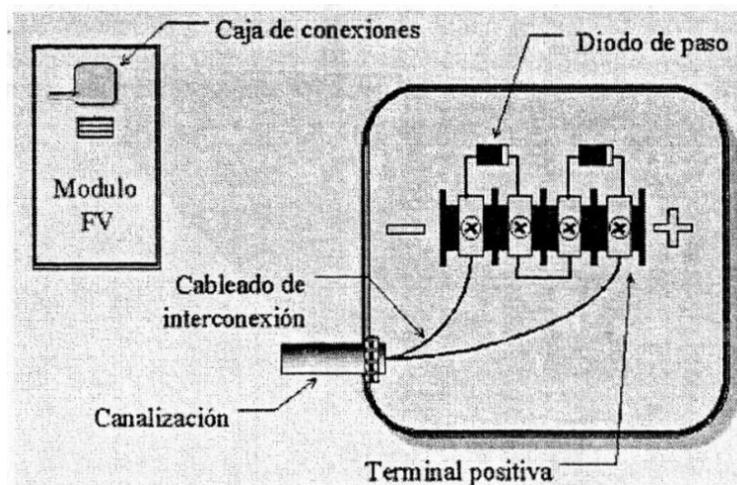


Figura 2.85. Caja de conexiones de un módulo FV.

Fuente: Pareja, M. (2010)

Las celdas están organizadas en módulos o paneles fotovoltaicos. Un número de paneles fotovoltaicos se pueden instalar de dos maneras diferentes, dependiendo de la potencia eléctrica deseada se conectan en serie y en paralelos en un arreglo solar para alimentar casas y negocios

principalmente y que pueden operar como sistemas fotovoltaicos (SFVI) aislados de la red o interconectados a la red eléctrica.

Un sistema fotovoltaico utilizado para producir electricidad, no genera calor como la calefacción solar doméstica o los sistemas de calentamiento para albercas, difiere también del proceso usado en las plantas termosolares, donde la energía solar concentrada se usa para producir vapor que se inyecta a una turbina que se conecta a un generador eléctrico. La luz solar es transformada en electricidad por medio de módulos fotovoltaicos compuestos por varias celdas conectadas entre sí. La electricidad producida corresponde a la llamada corriente directa C.D.



Figura 2.86. Módulos fotovoltaicos.

Fuente: Referencia propia

En un sistema fotovoltaico aislado de la red, es decir, que no está conectado a la red eléctrica, está imposibilitado para funcionar cuando no exista luz directa del sol, por lo que se cuentan con baterías para almacenar electricidad, con lo que se satisface la demanda nocturna y la de los días nublados.

El sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica consiste básicamente en instalaciones en donde la energía generada se convierte a los valores de tensión alterna de la red de distribución. Vendiendo a la compañía suministradora de la energía la energía generada.

CAPÍTULO 3. SISTEMA FOTOVOLTAICO

Una instalación fotovoltaica conectada a la red de distribución capta energía solar a través de módulos fotovoltaicos. La energía solar captada, es convertida a los valores de la red eléctrica por medio del inversor, y de esta manera se conecta posteriormente a la red eléctrica. Existen también instalaciones aisladas a la red en las que, la energía solar captada se almacena en unas baterías para posteriormente ser utilizada por el usuario.

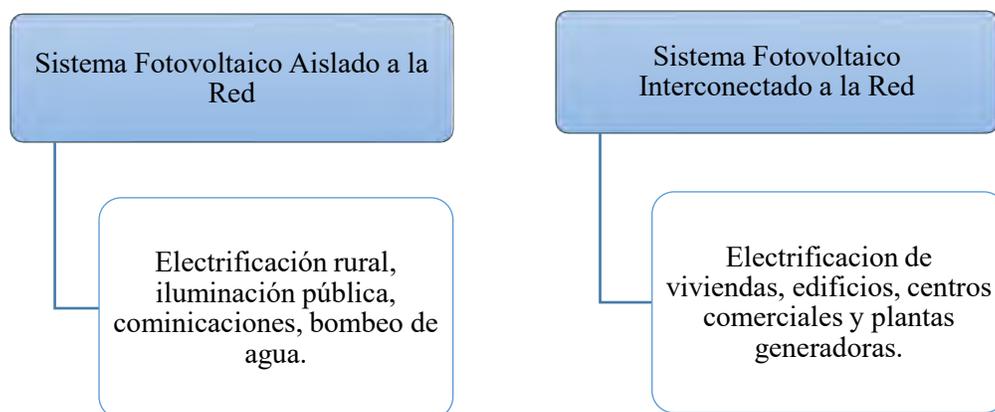


Figura 3.1. Clasificación de los sistemas fotovoltaicos.

Fuente: Enríquez, G (2014)

3.1 Sistemas Fotovoltaicos Aislados

Los sistemas fotovoltaicos aislados se utilizan para cubrir una demanda eléctrica en lugares remotos aislados de la red eléctrica. Estos sistemas pueden tener carga en C.A., C.D. o mixtos. Los aparatos en C.A. se pueden encontrar con mayor facilidad, en cambio, los aparatos

que consumen C.D., pueden conectarse directamente al sistema de baterías, pero se encuentran a un costo más elevado y son más difíciles de encontrar.

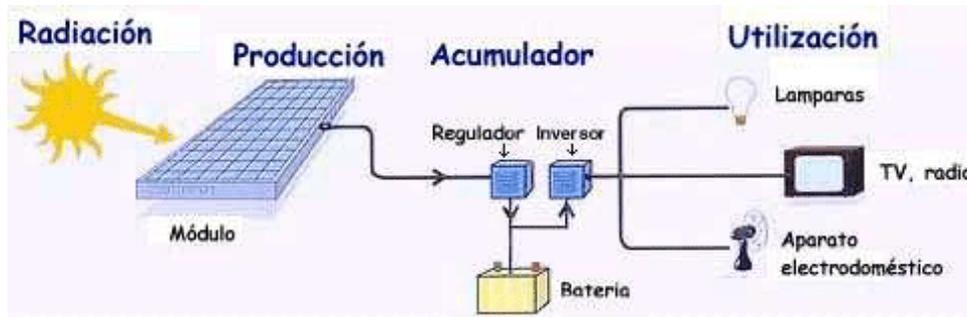


Figura 3.2. Sistema fotovoltaico aislado.

Fuente: Domtesol (2016)

Los sistemas fotovoltaicos aislados a la red, tienen una gran demanda en el suministro de energía para viviendas aisladas o en refugios de montaña. Otros sectores en se utiliza, es en los sistemas de iluminación pública, iluminación de granjas y en la iluminación y control de invernaderos. La iluminación de vías públicas, por ejemplo, son normalmente sistemas descentralizados y de pequeño tamaño, es decir, cada uno tiene su propio generador, batería y control.



Figura 3.3. Iluminación para vía pública.

Fuente: Revosolar (2016)

La aplicación de la energía fotovoltaica siempre ha tenido un gran auge en el ramo de las telecomunicaciones. Una de las ventajas de este tipo de energía es su modularidad y su flexibilidad para alimentar desde pequeños sistemas de telemetría hasta los repetidores microondas. La navegación por señales luminosas también se apoya en este tipo de tecnología debido a que en su mayoría operan en lugares muy remotos en donde otras fuentes de energía resultan extremadamente costosas porque tienen que operar bajo cualquier condición meteorológica y todos los días del año.



Figura 3.4. Satélite con celdas solares.

Fuente: Revosolar (2016)

Los sistemas fotovoltaicos aislados de la red, son una excelente opción para los sistemas de bombeo de agua en las zonas rurales. El bombeo de agua atiende el suministro de agua para granjas, la irrigación o el suministro de agua potable. Estos sistemas aislados de la red para bombeo no requieren suministro de combustible, baterías, son de bajo mantenimiento y cuanto energía solar es captada, más agua será producida.

Existen pequeños sistemas solares aislados con una potencia de salida de 1 a 10 watts, utilizados principalmente para alimentar cargadores de teléfono móviles (celulares), radios, pequeñas baterías. También son utilizados para almacenar energía de pequeños aparatos, como lo son las linternas solares. El panel solar se puede fijar en el producto mismo o separado de éste.

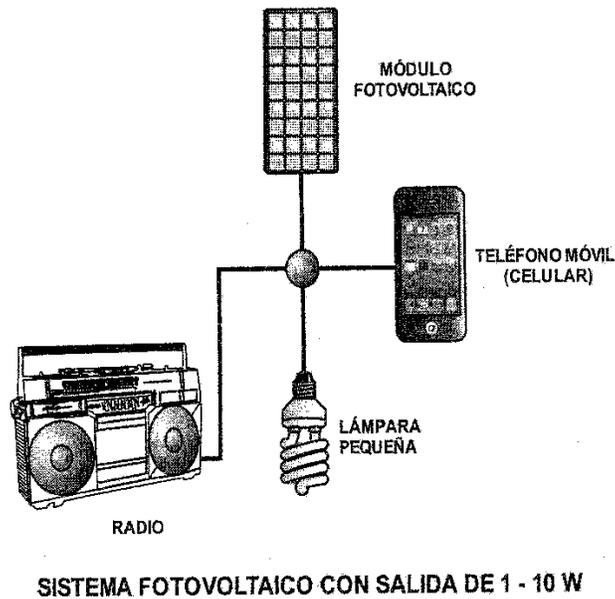


Figura 3.5. Sistema fotovoltaico con salida de 1-10 W.

Fuente: Enríquez, G. (2014)

3.2 Sistemas Fotovoltaicos Interconectados a la Red

El sistema fotovoltaico interconectado a la red (SFVI) es la instalación más común para hogares y negocios en zonas desarrolladas. La conexión a la red local de electricidad permite la inyección y venta de energía generada o, bien su autoconsumo. A diferencia de los sistemas fotovoltaicos aislados utilizan como medio de almacenaje la misma red eléctrica. La función de este tipo de sistema es absorber la electricidad cuando se necesite y cederla cuando no es aprovechada.

La energía eléctrica no aprovechada se inyecta a la red general de distribución y el consumidor más próximo la aprovechará, de modo que nunca se perderá. Otra ventaja de los SFVI sobre los sistemas autónomos es que no hay que sobredimensionar la potencia fotovoltaica para garantizar el servicio en los periodos menos soleados. En función de la potencia fotovoltaica instalada y del consumo eléctrico de la casa, se puede ser más o menos autónomo de la energía eléctrica.

Una SFVI convencional está formada por un conjunto de módulos fotovoltaicos y un inversor capaz de convertir la corriente directa en corriente alterna, inyectándola a la misma frecuencia y fase que la existente, en cada momento en la red de distribución a la que se conectará. Las SFVI funcionan en paralelo con la red eléctrica y el punto en común es un medidor bidireccional proporcionado por la compañía del suministro eléctrico.

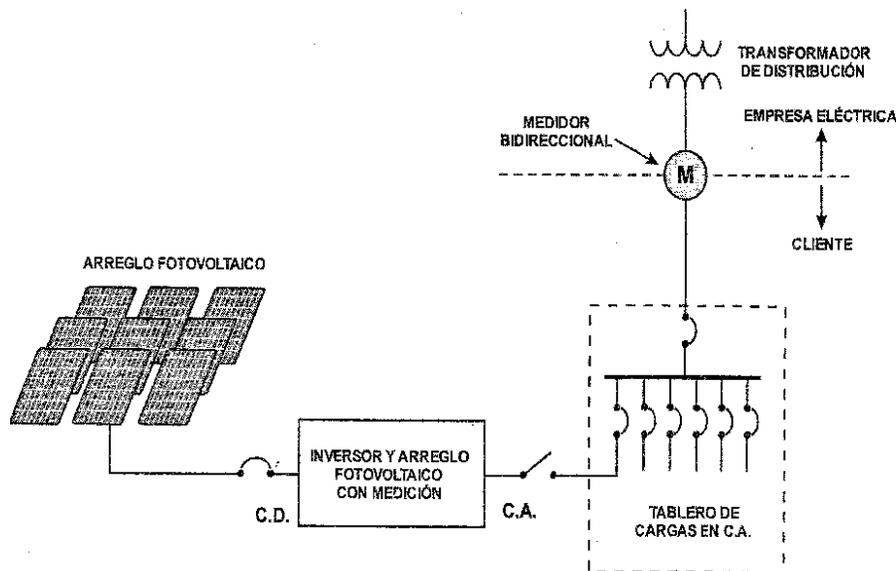


Figura 3.6. Esquema de un sistema fotovoltaico interconectado a la red.

Fuente: Enríquez, G. (2014)

Dentro de sus aplicaciones principales se encuentran, su instalación para producir energía eléctrica en comercio, industrias y residencias en una zona urbanas y en plantas fotovoltaicas. Inicialmente el uso de los sistemas fotovoltaicos interconectados a la red solo se enfocaba en el montaje de parques fotovoltaicos.

Posteriormente, a medida en que se avanzó en la electrónica de potencia que integra los inversores, se fue implementando a potencias menores, con el fin de ser empleados en pequeñas instalaciones domésticas como lo son las viviendas dotadas de una acometida convencional de electricidad.

Las conexiones a red distribuidas tienen grandes ventajas con respecto a la de las centrales. Por ejemplo, se evitan las pérdidas por transporte de la energía generada, ya que la energía de

origen solar es producida en el mismo lugar en el que se consume. Además no ocupa espacio extra, ya que la instalación se hace en los techos de las casas.

3.3 Componentes del Sistema Fotovoltaico

3.3.1 Generador Solar.

El generador solar se encuentra formado por módulos fotovoltaicos conectados ramas y, a éstos su vez forman arreglos que van conectados en serie y/o en paralelo. El instalador conecta los módulos necesarios, en serie y en paralelo, hasta obtener la potencia requerida por el consumidor. El generador fotovoltaico capta directamente la energía solar y la convierte en energía eléctrica en corriente directa.

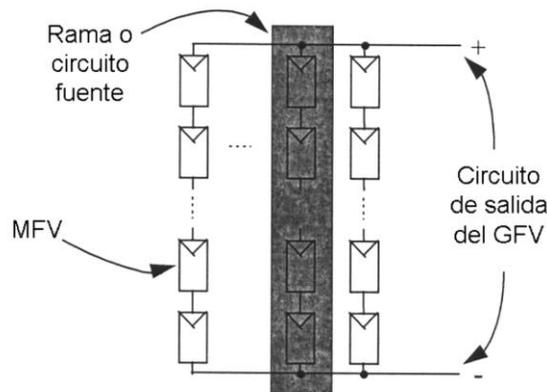


Figura 3.7. Módulos fotovoltaicos

Fuente: Enríquez, G. (2014)

Para los sistemas aislados a la red, el generador fotovoltaico acumula la energía del sol captada en un sistema de baterías, para ser utilizada durante la noche. El generador solar se elige tomando en cuenta varios aspectos tales como el tipo de cargas a alimentar (lineales o no lineales), la potencia eléctrica que se va a consumir, los patrones de demanda, las condiciones del

lugar en donde se va a instalar, el comportamiento variante en el tiempo de la corriente y el voltaje.

3.3.2 Inversor.

El inversor es el dispositivo encargado de transformar la corriente continua en corriente alterna con el máximo rendimiento posible. Los inversores utilizados para la conexión a red eléctrica dispondrán de un control de la tensión de la red, de la onda de salida, del sincronismo entre la señal generada con la de la red eléctrica, y dispositivos de protección.

Los inversores tienen incorporadas protecciones frente a cortocircuito en alterna, tensión y frecuencia de red fuera de rango, sobretensiones y perturbaciones (mediante varistores o similares), y perturbaciones presentes en la red como: microcortes, pulsos, defectos de ciclos, ausencia y retorno de la red. El aislamiento mediante transformadores de baja o alta frecuencia, se utiliza como medio de protección, para que no exista una conexión eléctrica directa entre la red y el campo de módulos fotovoltaicos.



Figura 3.8. Inversor Fronius IG.

Fuente: Fronius (2016)

Un inversor incorporará, al menos, los controles manuales siguientes: encendido y apagado general del inversor y la conexión/desconexión del inversor a la interfaz de corriente alterna. Las tensiones de entrada a las que se suelen trabajar son del orden de 100 a 750 VCD. La selección

del inversor y su potencia se hace con relación a la potencia nominal del módulo fotovoltaico al que se va a conectar.

Los datos más característicos para la selección y el dimensionamiento de un inversor son:

- El rango de tensión directa que acepta, se escoge lo más que se pueda para que la transformación de potencia requiera menor corriente.
- Tensión máxima y mínima de generación.
- Potencia nominal de salida y su valor máximo (para ca y cd), que determinará la potencia de la instalación.
- Rendimiento o eficiencia, este rendimiento se expresa en porcentaje e indica la relación entre potencia de entrada y potencia de salida.
- El rango de temperatura, y las dimensiones del equipo.

El punto máximo de potencia se abrevia con las siglas MPPT (Maximum Power Point Tracking), que corresponde con los valores de tensión máxima (V_m) y corriente máxima (I_m). Un circuito de control realiza medidas de corriente y tensión (V_{PV} y I_{PV}), para obtener una señal de control, que controla el convertidor DC-DC, para adaptar la potencia de salida, que será aplicada a la carga.

En el caso de un inversor, la salida del convertidor irá aplicada a la entrada del bloque inversor para convertir el voltaje en continua a alterna. Al utilizar un control de procesado por DSP (procesamiento digital de la señal) o microcontrolador, se pueden utilizar medios de visualización por ordenador. Estableciendo una comunicación entre el ordenador y el sistema.

En dichos sistemas se puede visualizar diversa información sobre la instalación fotovoltaica como: la potencia generada por el campo fotovoltaico, corriente desde el campo fotovoltaico, potencia entregada a la red, potencia de salida a la red, análisis de fallos, gráficas de historial, entre otras.



Figura 3.9. Visualización por ordenador de un Fronius.

Fuente: Fronius (2016)

Existen sistemas de visualización monitorizados que permiten la visualización en la pantalla del ordenador mediante aplicaciones Scada, o mediante la creación de una página Web con información de la instalación. En los sistemas de monitorización existe la posibilidad de monitorización a distancia, con la posibilidad de notificar posibles errores o fallos, mediante el uso de módem telefónico o web server.

Interconexión de inversores.

En una instalación conectada a la red, se puede realizar la instalación con un solo inversor o varios inversores. En el caso de utilizar un solo inversor, el sistema se denomina con inversor centralizado. En este tipo de conexión de inversores, se conectan todos los módulos fotovoltaicos en serie y paralelo a la entrada del inversor. Dicho inversor tiene que ser de potencia igual a la de toda la instalación del campo de módulos fotovoltaicos.

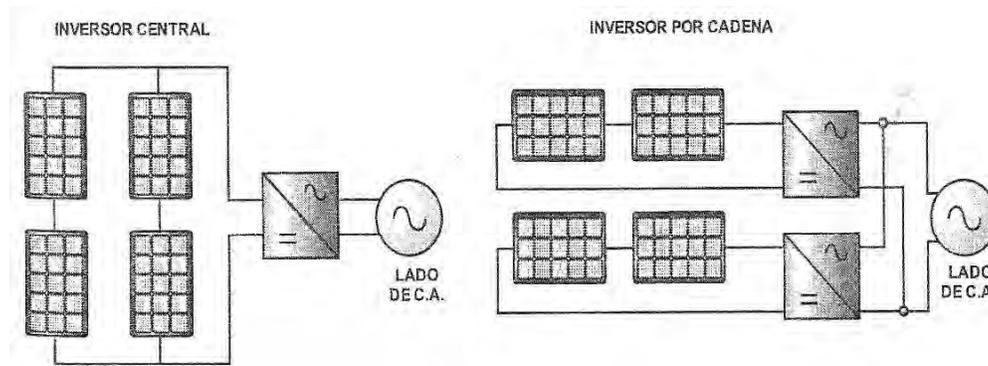


Figura 3.10. Configuración de un inversor en un sistema fotovoltaico.

Fuente: Enríquez, G. (2014)

El uso de un inversor en cadena (string) se distribuye un inversor por una serie de diferentes ramas o cadenas de módulos fotovoltaicos. Después se interconectan en paralelo para la inyección a la red eléctrica. Este tipo de conexión tiene la ventaja de que en caso de que un inversor falle, no produce pérdida total de la instalación, sólo de la cadena afectada.

La interfaz de la red es aquella que interconecta la salida del inversor con las cargas locales de c.a. del inmueble y con el sistema eléctrico de distribución. Permite al sistema fotovoltaico operar en paralelo con la red para que la energía pueda fluir en uno u otro sentido entre la red y la interfaz. Algunas de sus funciones son:

- Distribución de la c.a. que fluye entre el sistema de acondicionamiento de potencia, las cargas locales y las líneas de distribución de la red.
- Provisión de medios de desconexión para seguridad y mantenimiento.
- Medición de flujos de energía entre el sistema, las cargas locales y la red.
- Protecciones para el sistema de c.a. que no sean proporcionadas por el inversor.
- Conversión de tensión c.a./c.a. si no es proporcionada por el inversor.

Microinversor.

Un microinversor no es más que un inversor de tamaño reducido que se conecta directamente en la parte posterior de cada módulo. Los microinversores extraen la energía eléctrica directa producida en cada panel solar y la convierten en energía eléctrica alterna. Usualmente se fijan en

la estructura metálica en donde se fija el módulo fotovoltaico y se colocan debajo del módulo fotovoltaico.



Figura 3.11. Microinversor

Fuente: Enphase (2016)

El microinversor hace trabajar a cada módulo en su punto de máxima potencia, mejorando de esta manera su eficiencia, rendimiento y minimizando el efecto mismatch. El efecto mismatch provoca que en cada cadena de módulos fotovoltaicos, la corriente que circula sea igual a la corriente del peor módulo, provocando pérdidas significativas.

La sombra también afecta a los módulos conectados en una cadena, ya que una sombra sobre un módulo afecta a todos los módulos conectados a la cadena. Al igual que los inversores, los microinversores están hechos para trabajar al aire libre y cumplen con todas las normas de seguridad requeridas. Los microinversores no tienen partes móviles, botones o interruptores, por lo que al no contar con alguna pantalla para monitorear se incorpora un monitor para revisar el desempeño del sistema. El monitor permite checar el SFVI de forma remota vía internet.

El dimensionamiento es más fácil debido a que solo se coloca justo la cantidad de módulos necesaria para conseguir la potencia que se desea instalar, y si en un futuro poder agregar más módulos sin mayor dificultad. Además, en las instalaciones con microinversor de los sistemas fotovoltaicos, cada módulo con su microinversor es independiente del resto.

Una función únicamente disponible en los microinversores es que se puede monitorear cada módulo fotovoltaico de manera independiente. Los microinversores son recomendables para instalar cuando el sistema fotovoltaico es menor a los 2000 W. También cuando el arreglo debe

dividirse en varios sub-arreglos debido a sombras, o bien, debido a la orientación de los paneles para un mejor aprovechamiento del sol (al este por la mañana y al oeste por la tarde).



Figura 3.12. Monitoreo de un SFVI con microinversor.

Fuente: Enphase (2016)

3.3.3 Batería.

En las instalaciones solares fotovoltaicas aisladas a la red, la batería permite dotar al sistema de una fuente eléctrica. La batería es un elemento que se encarga de almacenar la carga eléctrica, la energía capturada por el panel solar viaja a través de los conductores hacia la batería, donde se convierte en energía química almacenada.

La batería es un elemento que va a estar cargándose y descargándose continuamente, por lo que, se requiere de un regulador de carga. El regulador se encarga de proteger la batería contra sobrecargas o contra sobredescargas excesivas que podrían resultar dañinas para la batería y afectar su funcionamiento o ciclo de vida.

La batería está formada por la asociación serie de varios elementos llamados celdas, cada celda con dos bornes de cada lado que funcionan como contactos, uno positivo y el otro negativo. Las baterías compactas se forman de varias celdas conectadas en serie y suministran un voltaje final, que es la suma de cada una de las celdas. Los voltajes pueden ser de 6 V, 12 V y 24 V.



Figura 3.13. Batería para uso solar.

Fuente: Batterymart (2017)

Las baterías cuando no son compactas, están compuestas por varias celdas independientes conectadas en serie. Las baterías no compactas pueden ser de 6 V, 12 V, 36 V, 24 V y 48 V. Un banco de baterías es la unión en serie y/o en paralelo de varias baterías compactas o celdas independientes conectados a manera de obtener el voltaje necesario y la capacidad suficiente de almacenamiento de energía. Un banco de baterías suele ser de 12 V, 36 V, 24 V y 48 V.

3.3.4. Elementos de Protección.

Los sistemas fotovoltaicos se valen de elementos de protección, ya sea para proteger la instalación generadora, la red de distribución, la instalación de consumo, al técnico instalador y a los mismos usuarios. Además las protecciones garantizan el correcto funcionamiento de la instalación, incluso de condiciones de deterioro de sus elementos, sombreado o descargas eléctricas.

Los elementos más importantes son los diodos de paso, los diodos de bloqueo y las protecciones contra sobretensiones como los interruptores termomagnéticos. Los diodos de paso vienen integrados en los módulos fotovoltaicos conectados en paralelo con grupos de células en serie. Su función es impedir que todos los elementos de la serie se descarguen sobre una celda que no funciona como las demás, debido a sombras o iluminación no uniforme.

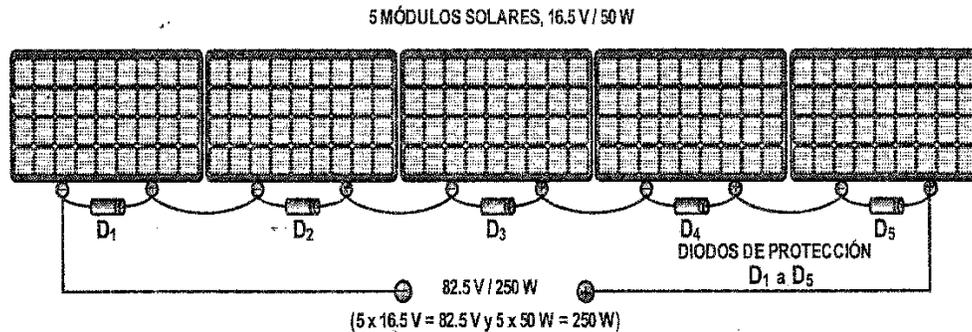


Figura 3.14. Diodos by pass en módulos solares en serie.

Fuente: Enríquez, G. (2014)

Los diodos de paso se conectan con la polaridad opuesta a la serie de las celdas que debe inhabilitar en el caso de que alguna de ellas falle, de manera que cuando las celdas están funcionando correctamente, por el diodo no pasa corriente. En el caso de que una celda falle, el diodo conduce fácilmente la corriente y el voltaje generado por celdas anteriores. Es importante mencionar que los diodos de paso se instalan únicamente si existen más de tres ramas.

En caso de que una celda se encuentre dañada o sombreada, ésta actúa como una carga en lugar de un generador, calentándose y consumiendo energía. Cuando la celda falle, se inhabilitan sólo las celdas de la misma serie. Por lo que, dependiendo del número de celdas que haya en cada serie cubierta por un diodo de paso (bypass), se limitará la potencia pérdida y el calentamiento de dicha celda.

El diodo de bloqueo se usa cuando un sistema fotovoltaico utiliza un acumulador de baterías, su función es impedir las corrientes inversas, desde el acumulador hacia el generador, durante la noche o durante los periodos en donde no exista suficiente energía solar. Otra de sus funciones es impedir las corrientes inversas, desde las series de módulos que funcionan hacia las series deterioradas o sombreadas.

El interruptor es el elemento el cual protege a las instalaciones fotovoltaicas contra fallas. El interruptor general manual es un interruptor termomagnético con intensidad de cortocircuito superior a la indicada por la empresa distribuidora en el punto de conexión. Este interruptor será accesible a la empresa distribuidora en todo momento, con objeto de poder realizar la desconexión manual.

El interruptor automático de la interconexión es utilizado para la desconexión o conexión automática de la instalación fotovoltaica en caso de pérdida de tensión o frecuencia de la red, junto a un relé de enclavamiento.



Figura 3.15. Interruptor termomagnético BT-DIN.

Fuente: Bticino (2016)

Respecto al circuito de protección de corriente alterna, se utiliza un interruptor termomagnético que se adapte a los niveles de corriente máxima. En ocasiones la instalación de protección contra sobretensiones, incluye varistores (absorbe los picos mayores a su tensión nominal) adaptados a los niveles de tensión continua de la instalación.

El SFVI debe contar con protecciones que lo desconectan de la red en caso de pérdida de la red eléctrica, en un tiempo de 2 segundos, para evitar su operación en modo isla. El tiempo de retraso es indispensable para evitar desconexiones innecesarias a causa de caídas de tensión y sobretensiones de naturaleza transitoria. Si la tensión de la red sale de los límites de tolerancia por más de 2 s, las protecciones del SFVI deben desconectar al sistema de la red.

Las protecciones típicamente están autocontenidas en los inversores, pero también es necesario el empleo de un dispositivo de detección adicional como protección extra. Las protecciones deben mandar la reconexión con la red hasta que la tensión y la frecuencia se hayan restablecido a sus valores normales por un lapso no menor que un minuto.

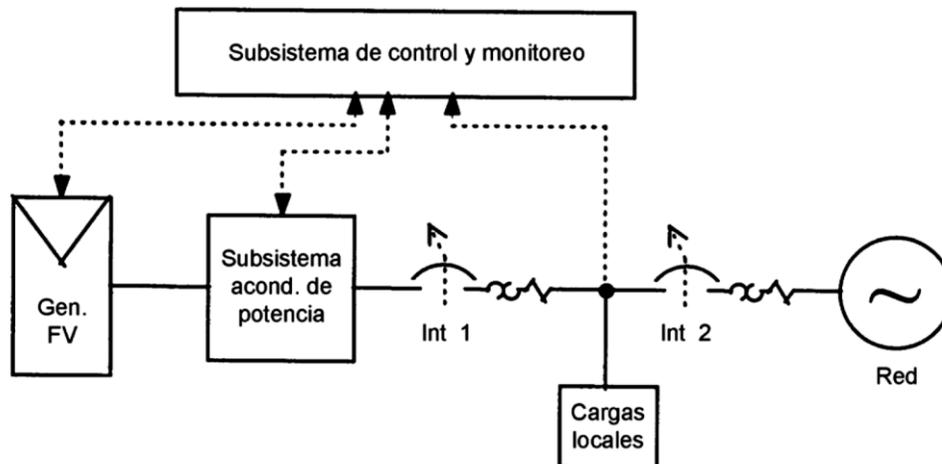


Figura 3.16. Localización de los interruptores de desconexión con la red, responsabilidad del usuario.

Fuente: INEEL (2017)

3.3.5 Puesta a tierra.

La instalación deberá disponer de una separación galvánica entre la red de distribución de baja tensión y las instalaciones fotovoltaicas, bien sea por medio de un transformador de aislamiento o cualquier otro medio que cumpla las mismas funciones, con base en el desarrollo tecnológico.

Las masas de la instalación fotovoltaica estarán conectadas a una tierra independiente de la del neutro de la empresa distribuidora. Cuando el aislamiento galvánico entre la red de distribución de baja tensión y el generador fotovoltaico no se realice mediante un transformador de aislamiento.

La puesta a tierra de las instalaciones fotovoltaicas interconectadas a la red, se hará de forma que no se alteren las condiciones de puesta a tierra de la red de la empresa distribuidora, asegurando que no se produzcan transferencias de defectos a la red de distribución.



Figura 3.17. Cable desnudo de cobre para conexión a tierra.

Fuente: Viakon (2016)

Los módulos fotovoltaicos y sus estructuras de sujeción deben estar conectados a tierra, generalmente este dispositivo de un orificio característico para permitir esta conexión a tierra. De igual forma los demás componentes a tierra, generalmente cada dispositivo lleva indicado la terminal correspondiente conexión a tierra.

3.3.6 Cableado y Cajas de Conexión.

El cableado en corriente continua se hace con cables de intemperie de doble aislamiento con capacidad para soportar la corriente de cortocircuito en la peor condición de operación. El cableado deberá estar bien asegurado y los conductores positivo y negativo deberán ir en todos los trayectos juntos y sujetados con un cintillo a manera de reducir al mínimo el área de espiras conductoras para reducir los voltajes inducidos por causa de las descargas atmosféricas.



Figura 3.18. Cable solar.

Fuente: Alcione (2016)

El cableado para corriente alterna deberá seguir las normas del código de colores para cada fase y deberá seleccionarse con el calibre adecuado según los requisitos del diseño. La caja de conexiones, deberá tener un grado de protección clase II o superior a éste. Es importante que los cables queden sujetos de manera precisa en la caja de conexiones para de evitar que se puedan soltar y ocasionar algún percance.



Figura 3.19. Cables THW.

Fuente: Ecelectronix (2017)

Respecto al cableado que une los diferentes equipos se deben cumplir las siguientes condiciones:

- ✓ Los positivos y negativos de cada grupo de módulos o paneles se conducirán separados y protegidos de acuerdo a la normativa vigente.
- ✓ Los conductores serán de cobre y tendrán la sección adecuada para evitar caídas de tensión y calentamientos. Tomando como caída de tensión: 1.5% para directa y 2% para corriente alterna.
- ✓ El cableado en C. D. y en C. A. deberá tener la longitud necesaria para no generar esfuerzos en los diversos elementos ni posibilidad de enganche por el tránsito de personas.
- ✓ Todo el cableado en corriente directa será de doble aislamiento y adecuado para su uso en intemperie, al aire o enterrado, de acuerdo a la normativa vigente.

La mayoría de paneles solares incorporan conectores MC4 en los extremos de cada polo del panel solar. Los conectores MC4 se utilizan en par (un macho y una hembra) y están diseñados para resistir condiciones de intemperie y brindan seguridad ante condiciones atmosféricas

adversas. Su clase de protección, al igual que la caja de conexión es clase II y su conexión/desconexión se hace de manera muy sencilla.



Figura 3.20. Conectores MC4.

Fuente: Neosolar (2016)

3.3.7. Medidor Bi-direccional.

El medidor bi-dirreccional es un wathhorímetro con la capacidad de además de medir la energía que se demanda de la red de la compañía eléctrica, en este caso de CFE; mide la energía que el usuario aporta a la red. Debe quedar claro que esta lectura, es la lectura de la energía que se generó del SFVI y no se utilizó en el domicilio.



Figura 3.21. Medidor bi-direccional.

Fuente: IUSA (2016)

3.3.8. Consumos.

Los consumos son las cargas eléctricas que el sistema fotovoltaico ha de satisfacer durante el día y la noche, como lo son: las luminarias, los televisores, las computadoras, los refrigeradores y los motores. El consumo es una parte importante a considerar, ya que determina el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

El consumo resulta extremadamente difícil predecir, pues el consumo viene definido por el tiempo de utilización de las cargas por parte de un determinado usuario. Esta incertidumbre viene determinada por la dificultad de prever el comportamiento del usuario con su instalación. En algunos casos los consumos se conocen con exactitud, como en el caso de sistemas de telecomunicación.



Figura 3.22. Aparatos electrodomésticos.

Fuente: BBC (2017)

Existen sistemas fotovoltaicos que combinan consumos en C.D. con consumos en C.A. Así pues, los sistemas fotovoltaicos autónomos pueden ser C.D., C.A., o mixtos. En el caso de los sistemas de C.A., los nuevos inversores suelen incorporar la función de “regulador de carga” de la batería.

Para un sistema autónomo, el dimensionamiento del sistema fotovoltaico se realiza para toda la carga instalada, ya que todas las cargas van a depender del sistema. Para un sistema fotovoltaico interconectado a la red el dimensionamiento se realiza para toda la carga instalada,

pero se puede optar por dimensionar sólo para cierta parte de la carga dependiendo de las necesidades del usuario final.

3.4. Montaje de un sistema fotovoltaico.

El montaje del generador fotovoltaico es la colocación del módulo fotovoltaico en las estructuras metálicas, todo ello dependiendo de diversas características como el tipo de instalación, el lugar de la instalación, el tipo y número de paneles, el espacio disponible para los paneles y las sombras que pueden recibir los paneles.

Un aspecto importante para el montaje de los paneles es el ángulo de inclinación, la función de dicho ángulo es la de optimizar al máximo la producción de la energía eléctrica. El ángulo de inclinación viene dado por la localización del sitio y su latitud con ángulo que incremente la generación de electricidad. Para aplicaciones como centrales o parques fotovoltaicos conectados a la red eléctrica, la inclinación óptima es entre los 20° y 30°, sobre la latitud y orientados al sur.

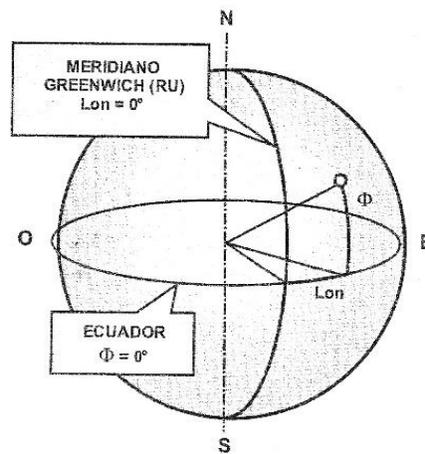


Figura 3.23. Definición de Latitud (ϕ) y longitud (Lon).

Fuente: Enríquez, G. (2014)

La orientación de los módulos depende de la latitud y de la periodicidad de la utilización de la energía fotovoltaica. Los módulos se instalan en el caso del hemisferio norte, con orientación al sur y viceversa. El ángulo de incidencia influye en el rendimiento del módulo y dicho

rendimiento se encuentra al máximo cuando los rayos inciden sobre el módulo fotovoltaico de manera perpendicular.

El rendimiento disminuye cuando el ángulo de incidencia es más pequeño. En muchos casos se utiliza un seguidor solar para determinar cuál es la posición más óptima para los módulos fotovoltaicos. En otros casos se utilizan herramientas como el piranómetro que se coloca sobre una superficie libre de obstáculos por encima del plano del elemento sensor.

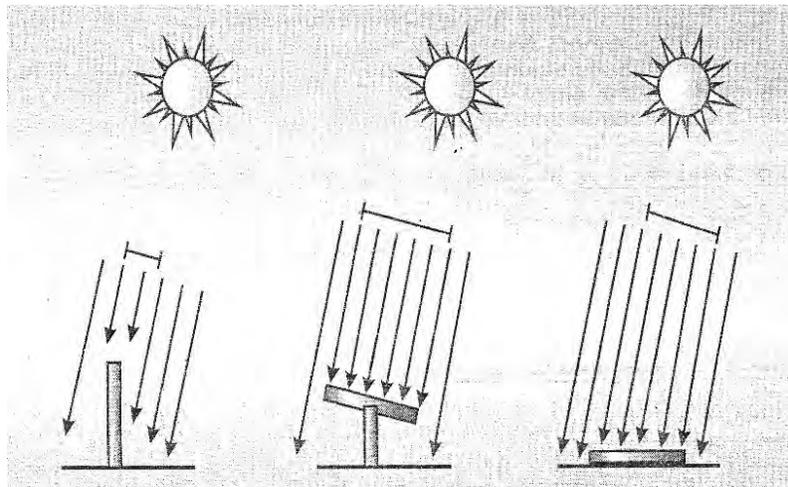


Figura 3.24. Efecto de la inclinación en la energía solar capturada.

Fuente: Enríquez, G. (2014)

Un aspecto muy importante que afecta el rendimiento del GFV son las sombras, a la hora de instalar un sistema fotovoltaico se deben evitar las sombras o reducirlas al mínimo. Es recomendable no instalar los módulos lejos de obstáculos como los árboles, hojas caídas, nubes, edificios más altos, o sombras de los mismos paneles instalados muy cercanos unos de otros, que cerca del GFV, puedan afectar su rendimiento.

Las estructuras soporte deben soportar condiciones atmosféricas como vientos dominantes, el peso del conjunto fotovoltaico, el aislamiento del conjunto metálico y/o puesta a tierra de la estructura metálica y deben facilitar la reposición por avería de algún módulo. Los soportes del generador fotovoltaico suelen ser soportes fijos o soportes ajustables.

Los soportes fijos son anclados al suelo, al techo de una casa o a un poste. Los soportes ajustables tienen la ventaja de que se pueden ajustar a los ángulos de inclinación óptimos,

usualmente cuentan con dos o tres posiciones para variar el ángulo de inclinación de acuerdo a la estación del año.



Figura 3.25. Estructura metálica.

Fuente: Damiasolar (2016)

Los módulos solares montados en estructuras que se fijan mediante penetración en su superficie y estructura se debe seguir un procedimiento. Primero, se marcan los puntos de perforación y se perfora con la broca. Después se retira el polvo y se aplica sellador para evitar filtraciones. Posteriormente, se coloca el taquete de expansión y se coloca un empaque o neopreno para el sellado. Finalmente, se coloca el elemento de la estructura a fijar y se aprieta la tuerca con un torquímetro.

3.4.1. Tipos de montaje

➤ *Montaje en poste.*

Los paneles fotovoltaicos se montan en un sistema de soporte atornillado al poste, este tipo de montaje puede ajustarse para optimizar su rendimiento de acuerdo a cada estación del año. El poste debe estar fijo y bien cimentado sobre la tierra, y el panel fotovoltaico se elige de acuerdo al diámetro y la densidad del poste.

➤ *Montaje en techo.*

Para el montaje en techo se debe montar estratégicamente los paneles, con el fin de evitar dañar tuberías de gas, agua, o de electricidad. Cuando el montaje de los paneles se hace directamente sobre el techo, se fijan sobre el material que cubre el techo y no se necesitan estructuras soporte y rieles de montaje.

Una desventaja de este tipo de montaje es que al no haber circulación de aire por debajo de los paneles, éstos se pueden alcanzar temperaturas altas y afectar la generación de energía eléctrica. Otra desventaja es que se limita el acceso al arreglo, haciendo más complicado el mantenimiento y las reparaciones al sistema.

Cuando el techo al que se va a instalar el GFV es plano, se pueden montar con lastre y de esta manera se evita el atornillar el piso. Este tipo de montaje es el más fácil pero menos confiable, ya que se vale del peso para evitar que el viento afecte, ayudándose algunas veces de bloques de concreto para hacerlo más confiable.

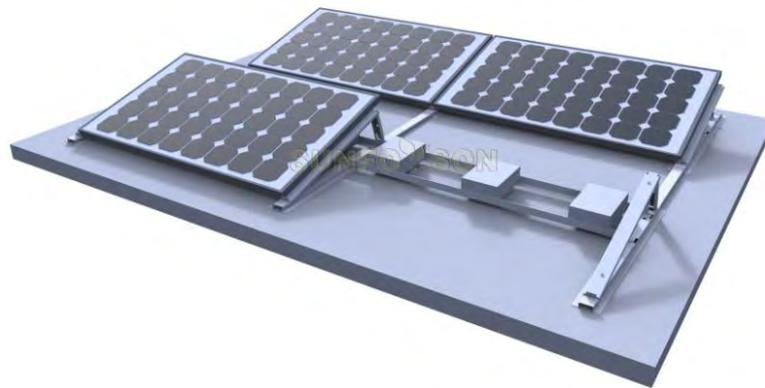


Figura 3.26. Montaje tipo lastre.

Fuente: Sunforson (2016)

En el montaje en techo por separado, los paneles fotovoltaicos se colocan paralelos al techo con una separación entre el panel y el techo de al menos 10 cm, con el fin de permitir la ventilación de los paneles. Los paneles se colocan en unos carriles acanalados a los que son fijados con grapas que se ajustan al marco de aluminio. Los rieles se fijan al techo con patas de

montaje, ayudándose de tornillos y taquetes de tamaño adecuado para ajustar dichas patas a la estructura soporte o viga dentro del techo.

Otra opción para el montaje en techo es sobre una estructura que puede ser fija a ajustable. Los paneles se montan sobre una estructura metálica con un ángulo predeterminado, y esto a su vez, se coloca sobre el techo. Para este montaje se debe tomar en cuenta el peso del arreglo fotovoltaico con el fin de no ocasionar daños a la propiedad.



Figura 3.27. Montaje en techo por separado.

Fuente: Solartekka (2016)

➤ *Montaje en tierra.*

Se evalúan las condiciones de la localización del lugar así como el tipo de suelo en el que se va a realizar la instalación. El montaje en tierra se vale de cimientos con una integridad estructural suficiente para evitar las fallas de capacidad portante del suelo. Los cimientos deben resistir los efectos elevador (fuerza de sustentación) y los vientos.

La estructura a la que están montados los paneles en tierra usa un marco atornillado directamente a bases preparadas. El marco de montaje consiste en dos barras en canal paralelas que forman una rejilla simple. A este marco se le atornillan soportes transversales para dar más apoyo estructural lateral y de esta manera prevenir daños por el viento.

➤ *Montaje en anaquel.*

Dos soportes angulares de acero galvanizado se atornillan a las paredes exteriores o a la estructura del techo. Un segundo par de soportes angulares compatibles se adjuntan a los marcos

del panel fotovoltaico. Cuando ambos soportes se unen, forman un sistema simple de montaje económico y durable. Este tipo de sistema puede usarse para montar un panel sencillo, o hasta plantas de mediana y gran escala.

Tabla 3.1. Ventajas y desventajas de tipos de montajes de los paneles.

Colocación	Descripción
El suelo	Presenta las ventajas de accesibilidad y facilidad de montaje, pero presenta las desventajas de ser más fácil su rotura por animales o personas, y ser más fácil su robo, por lo que en algunas instalaciones aisladas se colocan los paneles muy elevados del suelo.
En poste	Tiene las ventajas de que se evita su posible rotura por animales o personas y se dificulta su robo, pero su instalación es más complicada.
La pared	Presenta la ventaja de no requerir un espacio adicional para colocar los paneles, sin embargo puede presentar los inconvenientes de no tener una orientación adecuada o someterlos a sombras parciales.
El tejado	Tiene la ventaja de no requerir ni espacio adicional, pero tiene los inconvenientes de resultar más difícil encontrar la orientación adecuada y ser frecuente la aparición de sombras parciales sobre los paneles.

Fuente: Enríquez, G. (2014)

3.4.2 Operación en Modo Isla

El modo isla en una instalación es la operación continua del sistema fotovoltaico con cargas locales después que el suministro de energía de la red eléctrica haya sido interrumpido. La

operación en modo isla es una condición indeseable y que puede ocurrir en el instante que coincida la demanda de energía de la carga con la generación FV en la isla.

Si la desconexión de la red se debe a una maniobra por mantenimiento, la operación en modo isla de los módulos fotovoltaicos implica riesgos al personal de mantenimiento de la CFE, ya que pueden entrar en contacto con conductores energizados en la línea de distribución, que supuestamente deben encontrar desenergizados. No se permite la generación de electricidad de generadores dispersos interconectados a la red durante un corte del suministro de energía de la fuente primaria (red eléctrica).

3.4.3. Mantenimiento

El mantenimiento preventivo de un SFVI depende en gran medida de las condiciones ambientales específicas de la zona, principalmente del grado de polvo, humedad en el ambiente y la irradiación solar. El mantenimiento correctivo del SFVI, cuando se presenta una falla que deshabilita su operación en condiciones normales, debe ser atendido por personal técnico especializado.

CAPÍTULO 4. CERTIFICACIÓN Y NORMATIVIDAD

La energía eléctrica la utilizamos todos los días en la casa por medio de lámparas, televisores, computadoras, teléfonos, planchas, ventiladores, calefacciones y aire acondicionado. Al estar expuesto a la energía eléctrica en todo momento se debe evitar estar expuesto a instalaciones eléctricas mal hechas para no poner en peligro nuestra integridad física y material.



Figura 4.1. Símbolo de advertencia de seguridad.

Fuente: Safetysign (2016)

La electricidad conlleva riesgos muy grandes, por lo que es recomendable que el entorno de trabajo sea seguro. Para ello se requiere de saber reconocer peligros latentes, utilizar el equipo de protección, seguir los procedimientos para el trabajo, mantener limpia el área de trabajo y el conocimiento, cumplimiento y ejecución apropiada del código de normas que apliquen al área de trabajo.

México se regula por las normas NOM y por las normas NMX (Normas Mexicanas), las únicas normas que son obligatorias son las NOM, sin embargo, las normas NMX sólo son obligatorias si se refieren dentro de una NOM. Las NOM se encargan de regular y asegurar valores, cantidades y características en el diseño, producción o servicio de los bienes de consumo entre personas.



Figura 4.2. Logos NMX y NOM.

Fuente: Programacasasegura (2016)

El objetivo de las normas es asegurar valores, cantidades y características mínimas y máximas en el diseño, proyecto y construcción. La NOM es obligatoria en México que establece reglas, especificaciones, atributos, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación.

4.1 NOM 017-STPS-2008.

Al trabajar con un arreglo fotovoltaico el valor del voltaje en corriente directa es mayor que en el valor del voltaje en alterna. Las medidas preventivas y de seguridad deben ser tomadas en cuenta a la hora de trabajar con un sistema fotovoltaico interconectado a la red y con circuitos eléctricos de alto voltaje. La NOM 017-STPS-2008 “Equipo de protección personal-selección, uso y manejo en los centros de trabajo” determina el equipo de protección personal (EPP) en función al tipo de riesgo de la actividad del trabajador.

El objetivo principal de esta norma es establecer el equipo de protección personal correspondiente para protegerlos de los agentes del medio ambiente de trabajo que puedan dañar su integridad física y su salud. En la tabla 4.1 se describen los elementos del equipo protección personal para un instalador de SFVI.

De acuerdo a la norma se entiende por EPP al conjunto de elementos y dispositivos, diseñados específicamente para proteger al trabajador contra accidentes y enfermedades que pudieran ser causados por agentes o factores generados con motivo de sus actividades de trabajo y de la atención de emergencias. En caso de que en el análisis de riesgo se establezca la necesidad de

utilizar ropa de trabajo con características de protección, ésta será considerada equipo de protección personal.

Tabla 4.1 Equipo de protección personal.

Equipo	Descripción
Guantes	Con aislamiento eléctrico y térmico. De preferencia de piel.
Botas	Dieléctricas y que cubran el rango de voltaje con el que se va a trabajar.
Vestimenta	De algodón, cuidando de no traer ningún accesorio metálico.
Lentes	Transparentes.
Celular	Con batería disponible
Casco	Con aislamiento eléctrico
Multímetro	Debe medir corriente y voltaje en C. D. y C. A.

Fuente: NOM (2016)



Figura 4.3. Equipo de protección.

Fuente: Referencia Propia

En las instalaciones de sistemas fotovoltaicos, se debe evitar trabajar con el cableado cuando existe un voltaje o una corriente, es decir, cuando el sistema se encuentra energizado y funcionando. Es fundamental llevar puesto en todo momento el equipo de protección personal, ya que puede ser la diferencia a la hora de que se presente un accidente, por ejemplo, el casco, las botas y los guantes protegen de descargas eléctricas.

Al realizar una instalación de paneles fotovoltaicos, es importante seguir las normas para la seguridad del técnico instalador y para una instalación apropiada del equipo. Las herramientas que se utilicen deben estar en buenas condiciones, es decir que no presenten golpes o que no operen de manera correcta. Es importante que el espacio donde se va a trabajar se encuentre limpia y libre de obstáculos que no permitan poder transitar de manera segura el área.

4.2. NOM 001-SEDE-2012.

El objetivo de esta NOM es establecer las especificaciones y lineamientos de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones destinadas a la utilización de la energía eléctrica, a fin de que ofrezcan condiciones adecuadas de seguridad para las personas y sus propiedades, en lo referente a la protección contra: Las descargas eléctricas, los efectos térmicos, las sobrecorrientes, las corrientes de falla y las sobretensiones.

El cumplimiento de las disposiciones indicadas en esta NOM promueve el uso de la energía eléctrica en forma segura; asimismo esta NOM no intenta ser una guía de diseño, ni un manual de instrucciones para personas no calificadas.

La NOM 001-SEDE-2012, interviene en distintos aspectos en la instalación de SFVI, por ejemplo: el cableado eléctrico, la puesta a tierra y el centro de carga. Todos estos elementos deben estar instalados con respecto a la norma y de no ser así, deben ser estos reemplazados e instalados nuevamente de acuerdo a la norma.

El cable conductor en C. A. deberá de ser negro o rojo, el neutro blanco y para el cable de tierra se utiliza el color verde o un cable desnudo. En corriente directa, el código de colores establece que para el cable positivo se debe utilizar el color rojo y el negativo de color negro,

para la tierra física el cable deberá ir al desnudo. Otro aspecto importante es que el calibre del cable debe ser el adecuado para evitar posibles incidentes.

Tabla 4.2. Código de colores de acuerdo a la NOM 001.

Color	C.D.	C.A.
Rojo	Positivo	Fase Línea 1
Negro	Negativo	Fase Línea 2
Blanco		Neutro
Verde Verde con amarillo Desnudo	Tierra	Tierra

Fuente: NOM 001

4.3. NOM-009-STPS-2011.

La NOM-009-STPS-2011 establece los requerimientos mínimos de seguridad para la prevención de riesgos laborales para la realización de trabajos en altura. Cuando se trabaja en alturas, por seguridad se delimiten las áreas en la que se va a trabajar. La norma dice que cuando se hacen trabajos en alturas mayores a 1.80 m sobre el nivel de Fuente se deben seguir diversas condiciones de seguridad.

Algunas de las medidas de seguridad antes de cada trabajo son:

- ✓ Analizar riesgos existentes en el área de trabajo.
- ✓ Verificar que se cuentan con los equipos de seguridad necesarios.
- ✓ Verificar que los equipos de seguridad se encuentran en buen estado.
- ✓ Elaborar el permiso de trabajo con riesgo (para trabajos clasificados como de altura)

- ✓ La escalera debe estar a 15° con respecto al muro y 75° con respecto al suelo.
- ✓ La distancia de riesgo de caídas es de 1.2 m.

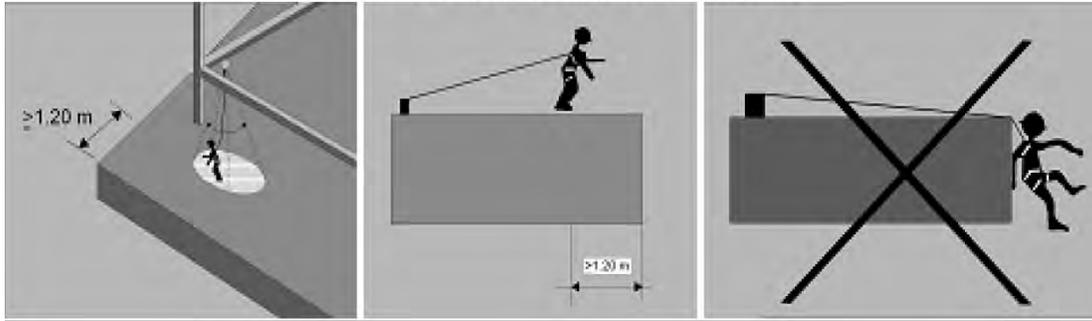


Figura 4.4. Uso de sistemas personales de restricción.

Fuente: NOM 009

Un punto importante para una instalación segura, no solamente consiste en traer consigo el equipo de protección personal, sino que también se requiere de conocimientos y habilidades para ejecutar la instalación. Hoy en día, existen muchas herramientas que nos pueden auxiliar para ser competentes laboralmente y poder comprobarlo con algún documento que lo avale, como lo es un certificado por competencias.

4.4. Estándar de Competencia EC587.

Una persona es competente laboralmente cuando cumple satisfactoriamente con lo establecido en un estándar de competencia y su instrumento de evaluación, y que ambos le son reconocidos por medio de un certificado de competencia. CONOCER ofrece certificaciones en estándares de competencias que ayudan a las personas a desarrollar sus habilidades y conocimientos en un ámbito específico.

CONOCER cuenta en su sitio web con una amplia gama de certificaciones en diferentes ámbitos laborales. El registro nacional de estándares de competencias tiene registrado hasta el momento 728 estándares. La red conocer ofrece diferentes prestadores de servicios: Entidades de

Certificación y Evaluación de Competencias, Organismos Certificadores, Centros de Evaluación, Evaluadores Independientes, Centros de Capacitación y Capacitadores Independientes.

La certificación de competencias es el proceso a través del cual las personas demuestran por medio de evidencias, que cuentan, sin importar como los hayan adquirido, con los conocimientos, habilidades y destrezas necesarias para cumplir una función a un alto nivel de desempeño de acuerdo con lo definido en un Estándar de Competencia.

Fuente: CONOCER (2016)



Figura 4.5. Red CONOCER de Prestadores de Servicios.

Fuente: CONOCER (2016)

El proceso para obtener una certificación se explica con detalle en la página web de CONOCER, pero básicamente consiste en que una vez que encuentras el estándar que se relaciona con tu campo laboral y si estás interesado en certificarte, se puede acudir por ejemplo, a una entidad de certificación y evaluación, las cuales están registradas en la misma página de CONOCER.

En la entidad de certificación y evaluación se llena una solicitud de registro y se realiza un examen de diagnóstico al candidato. Si el candidato cumple con los requerimientos, pasa directamente al proceso de evaluación que consiste en una parte teórica en donde se evalúan los conocimientos, y posteriormente a la parte práctica en donde se evalúan sus habilidades.

Si el candidato no cumple con los requerimientos iniciales del proceso de diagnóstico, se le ofrece la opción de pasar al proceso de capacitación. En el proceso de capacitación, al candidato se le proporcionan las herramientas para la certificación en el estándar. Por último, una vez que

el candidato realiza su evaluación teórica y práctica se le da a conocer su resultado, si el candidato es competente entonces se le emite un certificado del estándar de competencia.



Figura 4.6. Programas de capacitación red CONOCER.

Fuente: CONOCER (2016)

El Estándar de Competencia para la instalación de sistemas fotovoltaicos es el EC0586 “Instalación de sistemas en residencia, comercio e industria”, este estándar se encuentra enfocado a personas que deben contar con conocimientos, habilidades, destrezas y actitudes para desarrollarse como instalador de SFVI en residencia, comercio e industria en baja tensión, hasta 2000 V, sin respaldo de baterías.

El estándar describe las funciones elementales que debe realizar un instalador de SFVI en residencia, comercio e industria en baja tensión. Un punto primordial para el estándar es la seguridad, y por lo tanto, el instalador debe identificar los elementos de riesgo en el lugar de la instalación. El instalador debe utilizar el equipo de seguridad, ordenar y usar las herramientas adecuadas para la correcta instalación del SFVI.

El propósito del EC0586 es servir como referente para la evaluación y certificación de las personas que instalan sistemas fotovoltaicos interconectados (SFVI) a la red en residencia, comercio e industria; cuyas competencias incluyen tres funciones elementales (ver Fig. 4.7). Asimismo, puede ser referente para el desarrollo de programas de capacitación y de formación basados en Estándares de Competencia (EC).

El EC0586 esta integrado en el Registro Nacional de Estándares de Competencia que opera el CONOCER con el fin de facilitar su uso y consulta gratuita en su página web

(<http://conocer.gob.mx/registro-nacional-estandares-competencia/>). Las organizaciones participantes en el desarrollo del Estándar de Competencia son:

- ✓ Secretaría de Energía (SENER)
- ✓ Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT)
- ✓ GIZ
- ✓ Instituto de Energías Renovables, UNAM (IER-UNAM)
- ✓ Asociación Nacional de Energía Solar, A.C. (ANES)
- ✓ Centro Nacional de Capacitación en Energías Renovables (CENCER)
- ✓ KANNNDAS
- ✓ Energía Renovables del Centro (ERDC)
- ✓ Universidad Tecnológica de Tijuana (UTT)
- ✓ Comisión Federal de Electricidad
- ✓ Comisión Estatal de Energía de Baja California
- ✓ ESCOM
- ✓ Kyocera

Algunos de los aspectos relevantes de la evaluación son que el candidato puede ser evaluado en escenarios de trabajo real o escenarios simulados. El centro de evaluación deberá proporcionar al candidato toda la información a la presentación de las evidencias solicitadas y especificadas en el instrumento de evaluación del estándar 0586.

El candidato tendrá que presentar su propio equipo de protección personal y se debe contar con la herramienta necesaria para la instalación. El sistema mínimo deberá contener al menos 3 módulos fotovoltaicos y micro-inversores con todos sus elementos de conexión y protecciones, y un sistema central con todos sus elementos de conexión y protecciones.

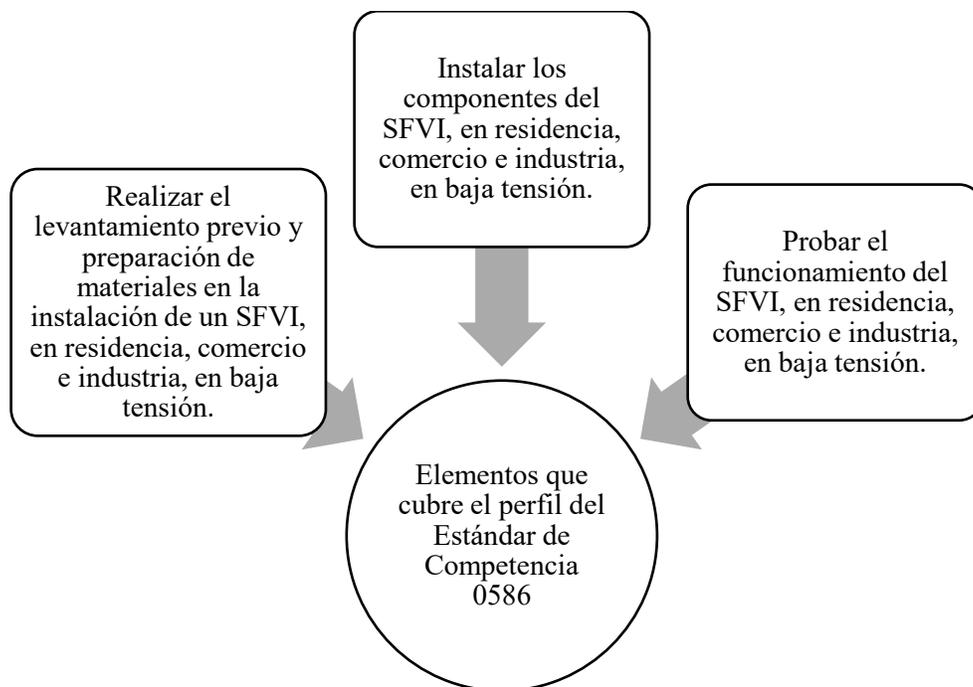


Figura 4.7. Elementos del EC0586.

Fuente: CONOCER (2016)

La duración estimada de evaluación de cada estándar varía, para el EC0586 la duración es de dos horas para la evaluación teórica y de seis horas en campo para la evaluación práctica, totalizando ocho horas para dicha evaluación. Si el candidato cumple en tiempo y forma, y hace entrega de su portafolio, se le da fecha y hora para hacerle entrega de su resultado.

El día en que el candidato acuerda con el evaluador para que se le haga entrega del fallo emitido con base a su portafolio de evidencias. En caso de que el fallo haya sido competente, se redacta y se firma el acta del dictamen y se le invita a evaluarse otros estándares de competencias afines a su perfil. Posteriormente se le entrega su estándar de competencias en la entidad de certificación y evaluación.

En caso de que su fallo emitido haya sido todavía no competente, el candidato puede volver a realizar la evaluación en el estándar o tomar la capacitación si es que por realizar la evaluación si la capacitación. Un certificado de competencia es una gran ventaja, porque el fin común de certificarse en estos estándares es contribuir al desarrollo educativo y al progreso social del país.



Figura 4.8. Estándar de Competencia.

Fuente: Referencia Propia

Existen varias organizaciones en el mundo dedicados a la normatividad y estandarización en el ámbito eléctrico y electrónico. Dos de las más importantes son la IEC (International Electrotechnical Commission) y la UL (Underwriters Laboratories. La UL es una organización reconocida que asegura que sus servicios y productos cumplen con los requisitos de seguridad y la diferencia entre una y otra viene dada por la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Diferencias entre IEC y UL.

Parámetros	UL	IEC
<i>Voltaje máximo</i>	600 Vcd	1000 Vcd
<i>Generador fotovoltaico</i>	Aterrizar un polo	Flotado
<i>Aislamiento galvánico</i>	SI	NO

Fuente: UL

4.5. Especificación CFE G0100-04 “Interconexión a la red eléctrica de baja tensión de sistemas fotovoltaicos con capacidad hasta 30 kW”.

El diseño, instalación y operación de un SFVI deben cumplir con la reglamentación de la CFE. CFE creó una especificación en su especificación CFE G0100-04 “Interconexión a la red eléctrica de baja tensión de sistemas fotovoltaicos con capacidad hasta 30 kW”. Su campo de aplicación es para con generadores fotovoltaicos aterrizados y flotados.

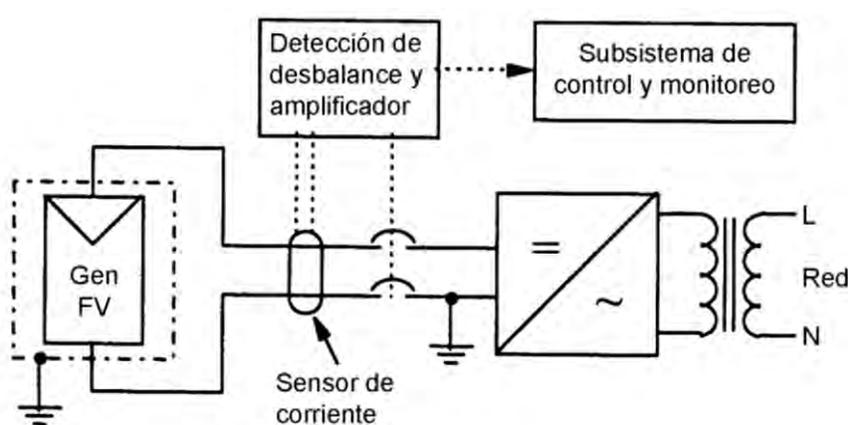


Figura 4.9. Esquema de protección contra fallas a tierra para generadores aterrizados.

Fuente: INEEL (2017)

El objetivo de la especificación es la de definir los requerimientos para el diseño, instalación, inspección, autorización y utilización de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica (SFVI) que garanticen la seguridad del personal de la CFE y de los usuarios de la misma, la calidad de la energía en la red, así como la integridad física y operacional de la red eléctrica y de los propios SFVI.

De acuerdo a la especificación G0100-04, la conexión eléctrica del SFVI se debe realizar en la red de distribución de baja tensión. Las tensiones de distribución para servicio doméstico de la CFE son 127 V para sistemas monofásicos a 2 hilos; 120 V/240 V para sistemas monofásicos a 3 hilos y 220 V/127 V para sistemas trifásicos de 4 hilos.

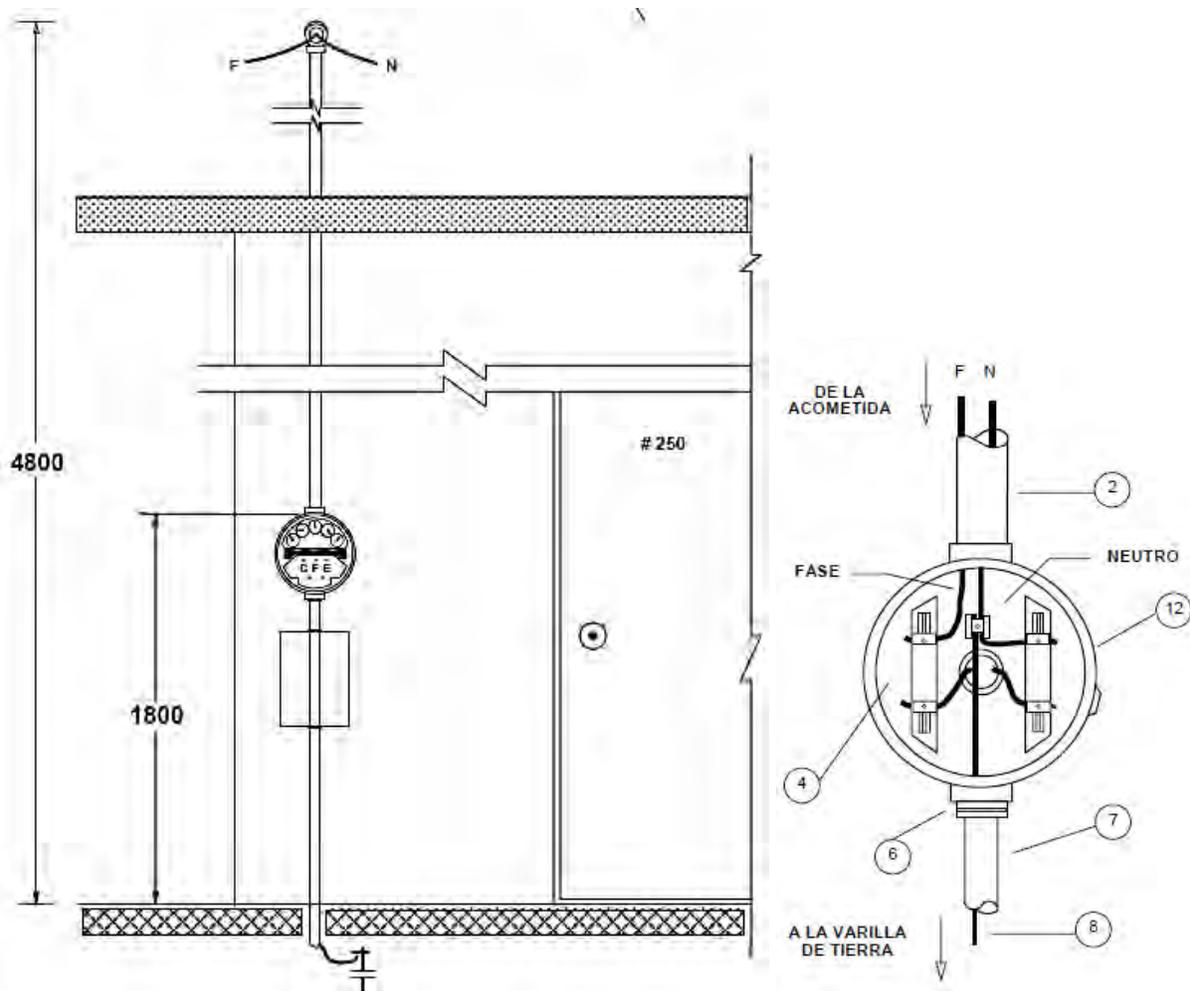


Figura 4.10. Servicio monofásico a dos hilos con carga hasta 5 kW en baja tensión, red aérea.

Fuente: CFE Especificación EM-BT 101 (2017)

Normalmente la CFE proporciona servicio monofásico a 2 hilos a consumidores no mayores de 5 kW; servicio monofásico a 3 hilos o bifásico a 3 hilos a consumidores entre los 5 kW y 10 kW y servicio trifásico a consumidores mayores de 10 kW. La interconexión de SFVI monofásicos menores a 10 kW en instalaciones eléctricas trifásicas (ya sea entre fases o de fase a neutro) es factible siempre y cuando se cumplan satisfactoriamente los requisitos eléctricos establecidos en la especificación G0100-04.

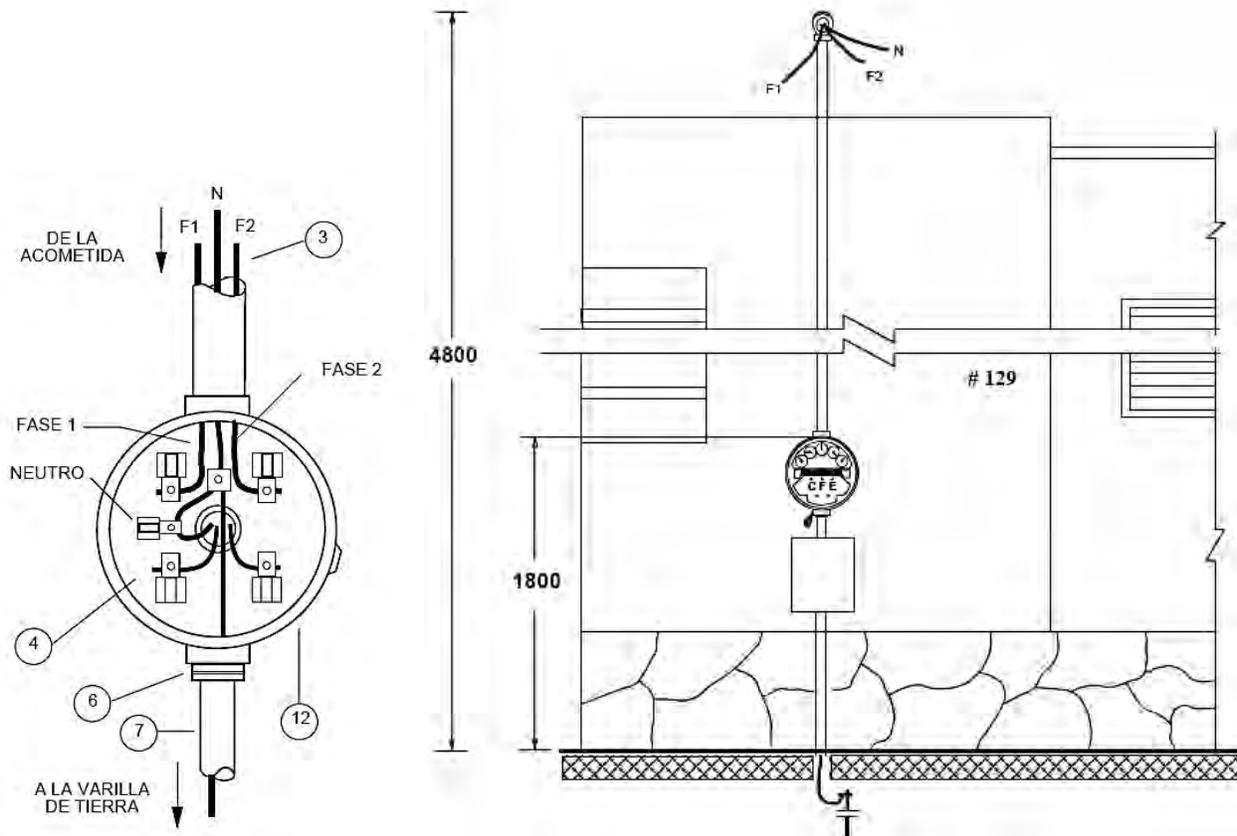


Figura 4.11. Servicio monofásico a tres hilos con carga hasta 10 kW en baja tensión, red aérea.

Fuente: CFE Especificación EM-BT 201 (2017)

En lo que respecta a la instalación eléctrica en general como son conductores, conexiones y canalizaciones eléctricas, cada componente debe cumplir con ciertas características con respecto a lo establecido en la especificación. Con respecto al equipo, los módulos fotovoltaicos que se utilicen para el SFVI, deben estar certificados por algún laboratorio reconocido. El inversor debe estar listado como equipo autorizado en la Comisión de Energía de California para mayor confiabilidad.

El marcado de equipos es otro de los puntos que cubre la especificación, se deben poner letreros de seguridad para evitar accidentes, mediante estos avisos se puede anticipar un riesgo potencial. Los letreros deben ser visibles y deben estar identificados los datos del arreglo, las fuentes de energía del sistema, los interruptores y los dispositivos de sobrecorriente.

Una vez que se cumplen con todos los requerimientos que contempla la especificación G0100-04 y el SFVI está puesto en marcha en el sitio, se acude a CFE para realizar el contrato de interconexión y que CFE reconozca tu interconexión con la red y te acredite los kW generados por tu sistema fotovoltaico.

Los requisitos para realizar un contrato de interconexión en pequeña escala con CFE, son que tengas un contrato de suministro normal en baja tensión, que las instalaciones cumplan con las Normas Oficiales Mexicanas y con las especificaciones de CFE, y que la potencia de tu fuente no sea mayor de 10 kW si la instalaste en tu domicilio o de 30 kW si la instalaste en tu negocio.

Fuente: CFE (2016)

Los requisitos para la contratación del servicio fotovoltaico se encuentran en la página de CFE y se enlistan a continuación:

- ✓ Copia de aviso-recibo CFE.
- ✓ Solicitud para la conexión (formato 1).
- ✓ Identificación oficial del titular.
- ✓ Carta poder en caso de ser un gestor.
- ✓ Identificación oficial de gestor.
- ✓ Manuales del inversor y de los paneles fotovoltaicos.
- ✓ Croquis de ubicación del servicio (con geoFuente).
- ✓ Estudio técnico sistema de generación (proyección ahorros).
- ✓ Convenio/contrato fotovoltaico.

Capítulo 5. Desarrollo del proyecto

Se implementaron tres módulos fotovoltaicos interconectados a la red monofásica a 3 hilos, con una tensión de 220 Vca a 60 Hz, en una residencia en el municipio de Cuernavaca, Morelos. El tipo de montaje del sistema fotovoltaico fue en techo por separado con una estructura metálica fija en la casa habitación. De acuerdo a las características de la residencia y el suministro de luz se utilizaron microinversores para la conversión de CD a CA.

El método de investigación en que se apegó el proyecto fue el experimental, según Hernández (2010) en su libro de Metodología de la Investigación, define que un experimento es el elegir o realizar una acción y después observar las consecuencias. Los experimentos manipulan tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (denominadas variables independientes) para observar sus efectos sobre otras variables (las dependientes) en una situación de control.

Algunas de las condiciones para realizar una instalación fotovoltaica en el lugar que se tomaron en cuenta fueron que el lugar contaba con un sistema de tierras apropiado, el espacio en el centro de carga para el interruptor del sistema fotovoltaico, se verificó que la tensión contratada por el cliente a la compañía suministradora fuera conforme a la especificación para la instalación, el tipo de suelo para el montaje de los módulos fotovoltaicos y el consumo de energía eléctrica del cliente.

La tensión del lugar de la instalación fue monofásica a tres hilos, 220 V, 60 Hz, es importante conocer este dato para la elección del inversor de la instalación. El techo de la casa contó con el espacio suficiente para los paneles fotovoltaicos y para la trayectoria de los cables hacia los puntos de conexión en cd y en ca. El consumo del cliente en los últimos meses oscilaba entre 500 kW/h y 900 kW/h en los últimos meses.



Figura 5.1. Techo de la casa.

Fuente: Referencia propia

Consumo del cliente de su recibo de luz: 854 kW

$$NP = \frac{PG}{HSP * PR * PM * D}$$

Donde:

HSP: Horas sol pico

PR: Potencia de rendimiento

PG: Es la suma de kW en recibo CFE

PM: Potencia del módulo

D: Días generación

$$NP = \frac{854000}{6.07 * 0.8 * 250 * 60} = 11.724$$

El diseñador del SFVI tomando como Fuente el consumo, la temperatura y las condiciones de la localización de la residencia, y el presupuesto del cliente, determino el número de paneles fotovoltaicos a instalar, el tipo de inversor y los demás elementos necesarios para la instalación. Se me hizo entrega de un plano del proyecto, en donde vienen las especificaciones para la instalación del SFVI. Así mismo, se hizo entrega de una lista del material de la instalación y las herramientas necesarias para la instalación.

Tabla 5.1. Lista de herramientas.

Pta	Material	Descripción
1	Herramienta	Para la desconexión de paneles solares
2	Desarmador	Plano, Cruz
3	Torquímetro	De 30 in-lb a 90 in-lb
4	Multímetro	
5	Amperímetro de gancho	
6	Pinzas	De electricista
7	Matraca	
8	Juego de dados	½ pulgada
9	Pinzas	De corte
10	Brújula	
11	Nivelador	
12	Cinta de aislar	
13	Llave inglesa	10 y 11
14	Cutter	
15	Cronometro	
16	Flexómetro	

Fuente: Referencia propia

Tabla 5.2. Lista de Material.

Pta	Material	Características	Observaciones
1	Panel Solar	250 W, 30 VCD, 7.8 A	
2	Microinversor	Enphase M215-IG	
3	Socket housing para microinversor	MC4 socket 2.5 mm	
4	Plug housing para microinversor	MC4 plug 2.5 mm	
5	Enphase Envoy Solar Communicatios Gateways with Ethernet Bridge	ENV-120	
6	Kit	De empalme de cable solar	
7	Clip	Para cables de derivador enphase	
8	Cordon uso rudo	300 V, 2x14 AWG	
9	Cinchos	Plástico 30 cm	
10	Cinchos	Plástico 10 cm	
11	Conector metálico	Para varilla p/tierra	
12	Derivador	Para sistemas de cable solar	
13	Protección en CA	Sobretensión (Lightning arrestor LA-302 R)	
14	Protección en CD	Sobretensión (Lightning arrestor LA-302 DC)	
15	Glándula	Para cable de uso rudo de 3/4"	
16	Interruptor termo magnético	BTDIN 2x16 Curva "C"	
17	Gabinete	Plástico para interruptor termo magnético de 4 polos KAEDRA	
18	Cable	Solar Flex Rojo (2.5 mm)	
17	Cable	Solar Flex Negro (2.5 mm)	
20	Herramienta	Para la desconexión de paneles solares	
21	Pinza	Pinza para conector solar MC4 barril abierto 22-10 AWG	
22	Zapata mecánica		

Fuente: Referencia propia

PLANO DE LA ESTRUCTURA METÁLICA.

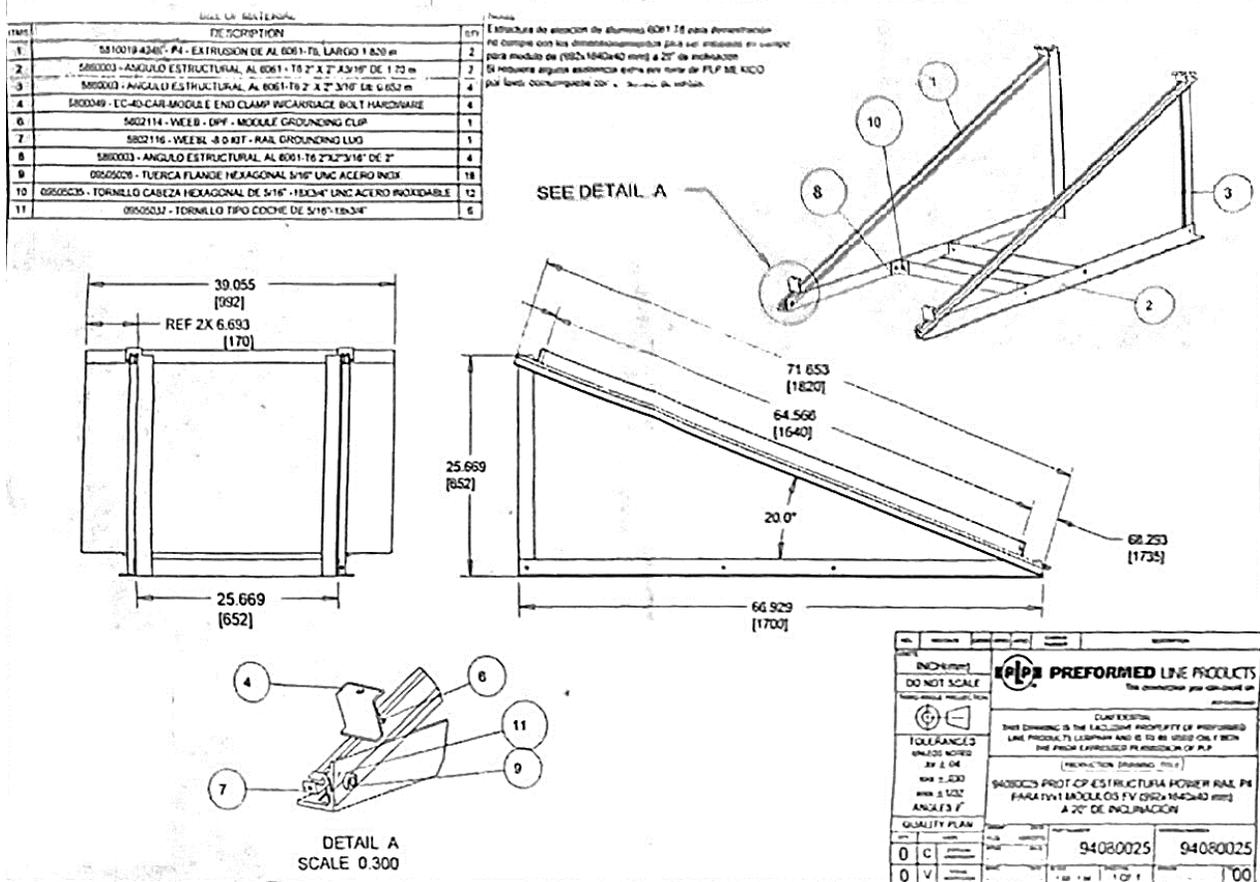


Figura 5.2. Plano de la estructura.

Fuente: Preformed Line Products

PLANO DE LA INSTALACIÓN DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.

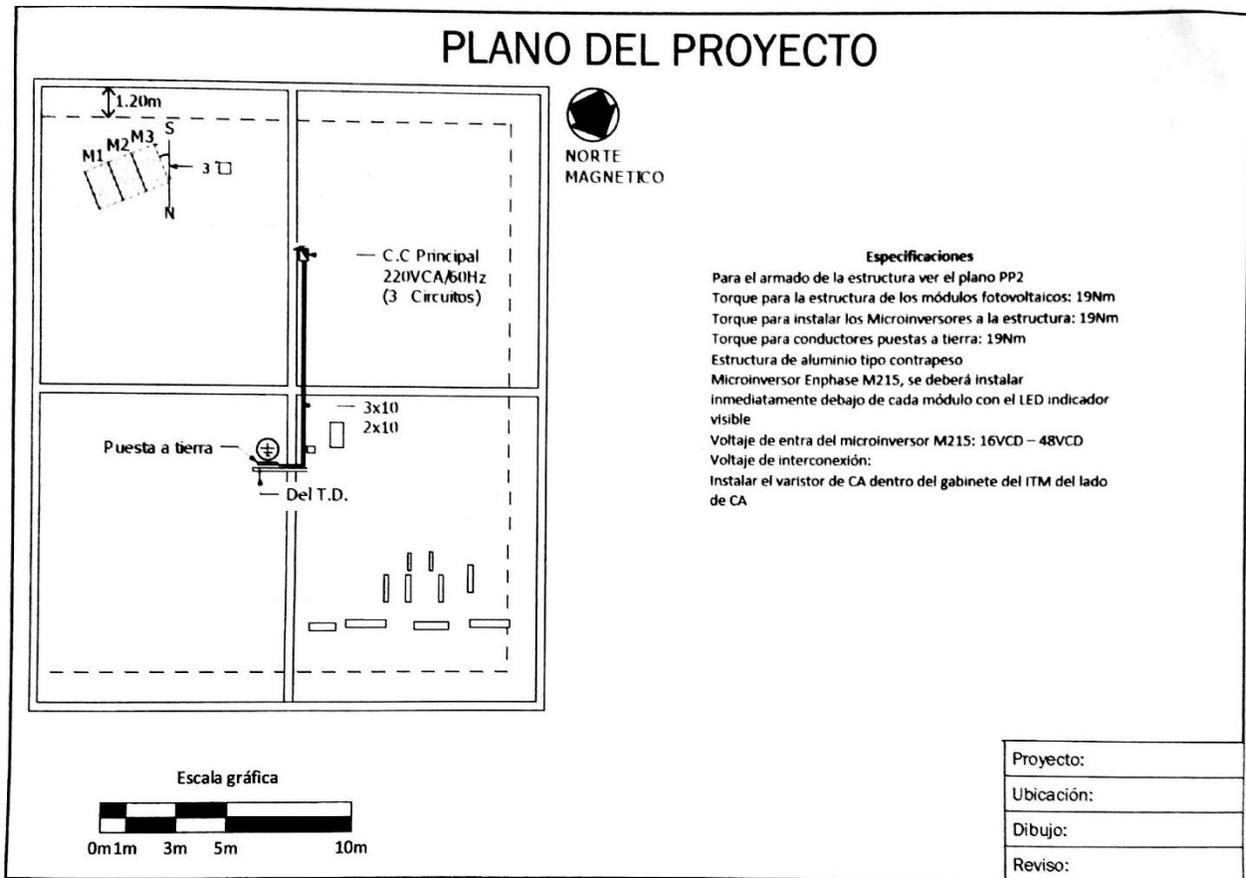


Figura 5.3. Plano del proyecto.

Fuente: Referencia propia

El día de la instalación, lo primero que se hizo, fue verificar en el plano que entrego previamente el diseñador, que el lugar en donde estaba señalada la instalación de los módulos fotovoltaicos, estuviera libre de obstáculos que pudieran generar sombras a los módulos.

Se verificó de igual manera los puntos de conexión de C.A. contra el plano del proyecto, identificando en el centro de carga (desenergizado) los conductores de fase, neutro y tierra, además de verificar que la tierra física tuviera continuidad. Se corroboró que hubiera espacio en el centro de carga para la instalación fotovoltaico.

Se midió el voltaje que suministra CFE al centro de carga de la casa del cliente, la tensión de red que se midió a las 10:23am fue de 214.6 V. Posteriormente se revisa en la ficha técnica del microinversor para verificar que el interruptor del centro de carga tuviera la capacidad de recibir la potencia de salida del microinversor.

Tabla 5.3. Datos de salida del microinversor Enphase M215

Datos de salida del Microinversor Enphase M215	
Potencia Pico:	255 W
$I_{nom-salida}$:	1.03 A
$V_{nom}/Rango$:	183-229 V
Max Unidades por circuitos derivados de 20 A	
Tiempo sinc.: ≥ 5 min	

Fuente: Referencia propia

$$I_{INV} * 1.2 \leq I_{ITM}$$

Enphase M215 a 208 V $I_{INV} = 1.03$ A $I_{ITM} = 15$ A

$$I_{INV-OUT} = 1.03 \text{ A} * 3 \text{ módulos} * 1.2 = 3.708 \text{ A} \leq I_{ITM}$$

El interruptor del centro de carga era de 15 A, por lo que se comprobó que si cumple con la capacidad. La tensión de trabajo del microinversor de acuerdo a su ficha técnica es de 183 V-229 V, por lo que el voltaje medido si se encuentra dentro de estos rangos.

Apoyándose en el plano del proyecto, se señaló con cinta el lugar en donde iban a ir los paneles fotovoltaicos y se midió con ayuda de un flexómetro la distancia de los puntos para las conexiones de CD, CA y la tierra física para la cuantificación de los cables que se iban a utilizar.

$$d = 23 \text{ m para el cable de ca}$$

$$d = 23 \text{ m para el cable de cobre desnudo de puesta a tierra}$$

Se señalaron los puntos de riesgo para el trabajo en alturas ya que la altura a la que se iba a trabajar era más de 1.8 m. Con ayuda de cinta y de conos, se delimito la distancia de 1.2 m del borde del techo. Por último se trazó una ruta por donde nos íbamos a estar desplazando con el material para la instalación y se procedió a limpiar la zona en la cual se iba a instalar el sistema fotovoltaico. Se verifico que el material y la herramienta de la lista estuvieran completos y no estuvieran dañados ni golpeados.



Figura 5.4. Parte de atrás del panel fotovoltaico.

Fuente: Referencia propia

La estructura metálica de los paneles fotovoltaicos se armó de acuerdo al plano de la estructura, teniendo cuidado de no dañarlas y que el nivel en las tres estructuras fuera el mismo. Con ayuda de una brújula se orientó la estructura hacia el sur, y después para Cuernavaca se orienta hacia el sur más 4 ° hacia el este para el sur geográfico.



Figura 5.5. Estructura metálica, plano y torquímetro.

Fuente: Referencia propia

Se fijó la estructura al suelo siguiendo los pasos correspondientes y se colocaron los tres módulos fotovoltaicos en las estructuras teniendo cuidado de manipularlos solo por la estructura y cuidando que ya colocados, la separación entre ellos de 4 mm. El ángulo con respecto al eje horizontal de los módulos fotovoltaicos debe ser de 18° y una vez que se verifican estos detalles se fijan los paneles y la estructura con el torquímetro a 19 lb·f.

Se midió con el multímetro el voltaje que entrega cada panel en circuito abierto y se comparó este dato con la tensión ficha técnica del panel fotovoltaico para comprobar que se encuentra dentro de los rangos de la placa. Para el montaje de los microinversores se utilizó la parte de la estructura metálica de atrás del panel solar, se fijaron los microinversores y se conectaron cada uno a un panel solar.



Figura 5.6. Estructura metálica armada.

Fuente: Referencia propia

Tabla 5.4. Características eléctricas de los módulos fotovoltaicos.

Características eléctricas de los MFV (TSM-255PC05A Trina Solar)					
Lugar: Las Palmas		Hora: 11:48 am			
Características	Datos Placa	MFV1	MFV2	MFV3	Unidad
Bajo STC		Radiación = 1000			W/m ²
Pmax pico	255 ±3%	255	255	255	W
Voc	38.1	38.1	38.1	38.1	VCD
Isc	8.88	8.88	8.88	8.88	A
Vm	30.5	30.5	30.5	30.5	VCD
Im	8.37	8.37	8.37	8.37	A
Bajo NOCT					
Pmax pico		189.04	189.84	186.04	W
Voc		34.9	34.9	34.9	VCD
Isc		7.11	7.11	7.11	A
Vm		27.8	28	27.4	VCD
Im		6.8	6.78	6.79	A
V _{max sistema}		1000			VCD

Fuente: Referencia propia

A la entrada del inversor:

$$I_{in} = \frac{P \text{ inversor}}{V \text{ módulo}} = \frac{215 \text{ W}}{30 \text{ V}} = 7.16 \text{ A}$$

Tabla 5.5. Datos de entrada del microinversor Enphase M215

Datos del Microinversor Enphase M215
Datos de entrada
$P_{ent. (STC)}$ 190-270 Wcc
VCD _{ent. max.} : 48 V cc
VCD _{seg. PMP} : 27-39 Vcc
Rango Oper. 16-48 V
VCD inicio min/max: 22-48 Vcc
$I_{sc DC max.}$: 15 A

Fuente: Referencia propia

Se procedió a medir la corriente de corto circuito a la salida de los microinversores, para ello, se colocó una tela gruesa de algodón encima los paneles, retirándola al hacer la medición y volviendo a cubrir. La corriente que se obtuvo fue de 5.13 A de corriente directa.

Lo cual es un dato en rango ya que:

$$I_{in} = \frac{P \text{ inversor}}{V \text{ módulo}} = \frac{215 \text{ W}}{30 \text{ V}} = 7.16 \text{ A}$$

Se fijó la caja de conexiones KAEDRA en uno de los lados de la estructura metálica y se colocaron las protecciones para los módulos fotovoltaicos. En la caja de conexiones KAEDRA se colocaron las protecciones en posición de OFF o abiertas y el varistor para la protección de descargas atmosféricas.



Figura 5.7. Caja de conexiones KAEDRA.

Fuente: Referencia propia

Para conectar la tierra física para protección de los módulos fotovoltaicos, el cable que se utilizó fue de cobre desnudo y se unió en las estructuras metálicas de los paneles fotovoltaicos y se llevó a la puesta a tierra de la casa. Se verificó la continuidad entre el cable y la puesta a tierra de la casa para asegurar que todo estuviera conectado correctamente.

Se prepararon los cables para la conexión de C.A. que van centro de carga de la casa hacia la caja de conexiones KAEDRA teniendo cuidado de no dañarlos y de ajustarlos con un cintillo para que fueran juntos en todo momento. Los cables se colocaron siguiendo la trayectoria del plano, cuidando que no estuvieran enrollados o que hubiese algún dobléz indeseado.

Se realizaron las conexiones y los empalmes entre los conductores de c.d. y de c.a., cuidando que los empalmes de conductores estuvieran fijos de manera sólida, y que los conductores de ambos no tuvieran ningún daño en su envoltente.

Puesta en marcha de sistema fotovoltaico.

Primero se le ponen las respectivas etiquetas a las fuentes de energía del sistema, los dispositivos de protección y a los datos del arreglo fotovoltaico. Una vez que todo está listo, se debe poner en marcha la instalación energizando al sistema fotovoltaico. Se cambia el interruptor de posición de OFF a ON para el interruptor del centro de carga en C.A y en el lado de C.D.

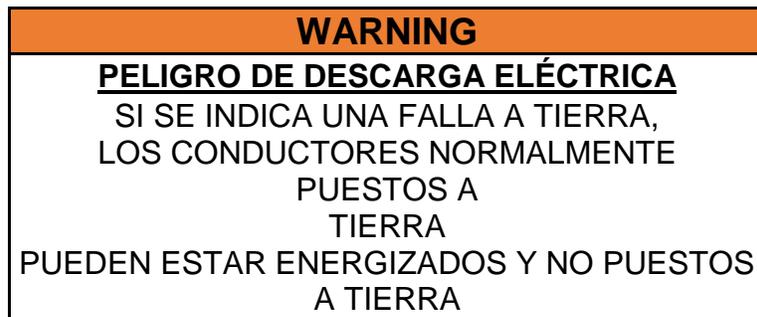


Figura 5.8. Etiqueta para el microinversor.

Fuente: Referencia propia

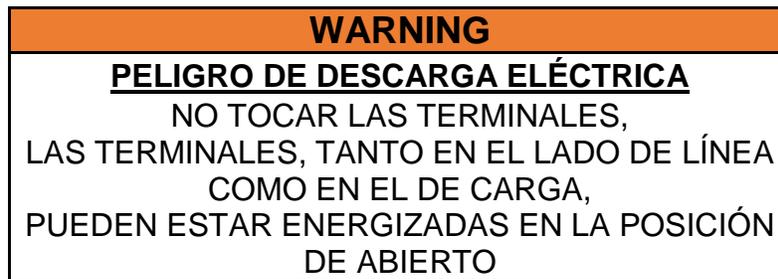


Figura 5.9. Etiqueta para centro de carga y caja KAEDRA.

Fuente: Referencia propia

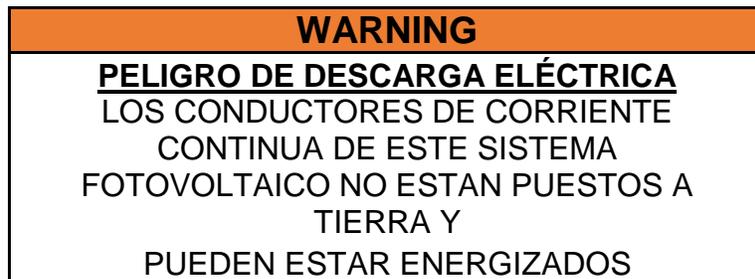


Figura 5.10. Etiqueta para módulos fotovoltaicos.

Fuente: Referencia propia

Para el etiquetado para el cableado y envolventes que contengan conductores de energía fotovoltaica, etiquetar cada 3 metros o en cada sección que está separada por envolventes, paredes, divisiones, techos o pisos:



Figura 5.11. Etiqueta para cableado de C.D.

Fuente: Referencia propia

FUENTE DE ENERGÍA	
INTERCONEXIÓN A RED	
I nominal AC:	7.16
V nominal AC:	220

Figura 5.12. Etiqueta para el punto de interconexión (caja de conexiones).

Fuente: Referencia propia

MODULO FOTOVOLTAICO	
DC DESCONEXIÓN	
TENSIÓN DE CIRCUITO ABIERTO (Voc):	38.1 V
TENSIÓN DE OPERACIÓN (Vm):	30.5 V
TENSIÓN MÁXIMA PERMISIBLE DEL SISTEMA:	1000 V _{DC}
CORRIENTE DE OPERACIÓN (Im):	8.37 A
CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO (Isc)	8.88 A
POTENCIA MÁXIMA:	255 W

Figura 5.13. Datos de placa del módulo fotovoltaico.

Fuente: Trina Solar (2017)

Para verificar si se está inyectando corriente revisando visiblemente el indicador led del microinversor. Se toma el tiempo de sincronización del microinversor y con ayuda de un amperímetro de gancho en la caja de conexiones KAEDRA se verifico que efectivamente se estuviera inyectando corriente a la red, la lectura obtenida fue de 2.27 A a las 2:18pm.

Tabla 5.6. Datos de salida del microinversor M215

Datos de Salida Microinversor M215	
Potencia Pico: 225 Wca	
I _{nom-salida} : 1.03	
V _{nom} /Rango: 183-229 V	
f _{nom} /Rango 57-61 Hz	
Rango f _{extend} : 27-62.5 Hz	
Max Unidades por circuitos derivados de 20 A	
Tiempo sincronización:	> = 5 min

Fuente: Referencia propia

Lo cual concuerda con los datos de placa, ya que:

$$I_{out} = \frac{P \text{ inversor}}{V \text{ módulo}} = \frac{215 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 0.97 \text{ A}$$

$$I_{out} = 0.97 \text{ A} * 3 \text{ módulos} = 2.91 \text{ A}$$

$$L_1 = 2.53 \text{ A}$$

$$L_2 = 2.53 \text{ A}$$

$$V_{INV-OUT} = 216.7 \text{ Vca}$$

$$t \geq 5 \text{ min}$$

Con los datos anteriores entonces la potencia que inyectan los tres paneles fue de 548.25 W

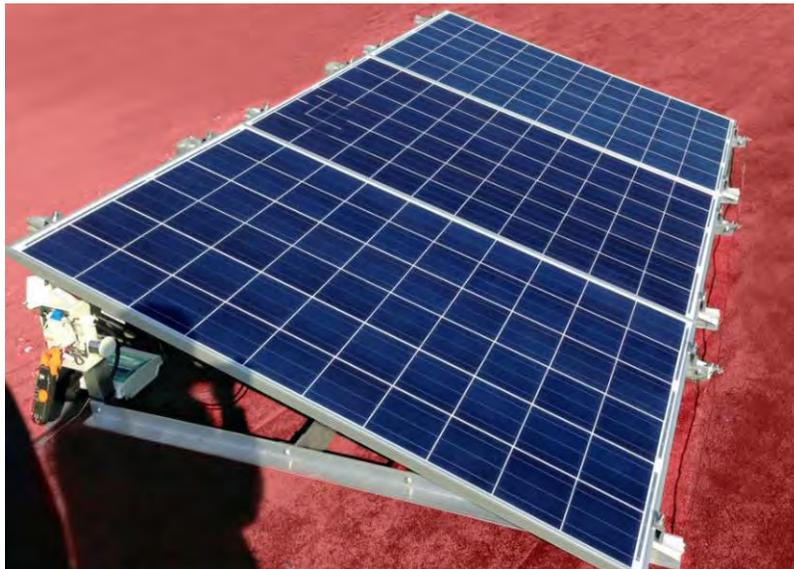


Figura 5.12. Medición de corriente con amperímetro de gancho.

Fuente: Referencia propia

La luz led de los microinversores sirve como Fuente para saber si el sistema fotovoltaico ya se encuentra inyectando energía a la red. De acuerdo al manual del microinversor Enphase, si los leds del microinversor se encuentran parpadeando en color ámbar el sistema sí se encuentra inyectando energía. Si el microinversor está parpadeando en color verde se encuentra inyectando energía a la red y está conectado al ENVOY.

Una vez que se verifico que el SFVI está inyectando energía a la red correctamente, se hace la prueba del modo anti isla. Para esto, se desenergizó la protección en c.a. a la salida del inversor y se esperó el tiempo de 1 minuto. Se verifica con el multímetro y el amperímetro, que no haya tensión a la salida del microinversor, ni fluya corriente por ningún conductor de entrada y salida del inversor.

$$V_{\text{INOUT}} = 0 \text{ V}$$

$$I_{\text{INV-CA}} = 0 \text{ A}$$

$$I_{\text{INV-CD}} = 0 \text{ A}$$

Enphase M215 no indica el tiempo de desconexión

Se cerró la caja de conexiones y el centro de carga, se limpia el área de trabajo, se levanta la herramienta y se limpió nuevamente el lugar.

Se le hizo entrega al usuario del SFVI funcionando y se le explico al cliente que significa el color del foco LED del microinversor. Además, se le hizo entrega de los datos recopilados durante la instalación, las fichas técnicas de los módulos fotovoltaicos y del microinversor, una copia del plano de la instalación y se le explica el mantenimiento que se le hace a la instalación.

Tabla 5.7. Registro de mediciones del SFVI funcionando.

Registro de mediciones del SFVI funcionando					
Datos de Entrada DC					
$I_{operando MFV1}$:	<u>5.13</u>	A			
$I_{operando MFV2}$:	<u>5.13</u>	A			
$I_{operando MFV3}$:	<u>5.13</u>	A			
Datos de Salida (AC)					
$V_{salida inversores}$:	<u>216.7</u>	V_{CA}	f_{VCA} :	<u>60</u>	Hz
$I_{inyección a red}$ L1:	<u>2.53</u>	A	Potencia:	<u>548.25</u>	W
$I_{inyección a red}$ L2:	<u>2.53</u>	A			

Fuente: Referencia propia

Una vez terminada entregado el SFVI con el cliente, se procede a realizar el contrato con CFE para que se autorizará la red eléctrica y se diera el crédito por los kW generados por el sistema fotovoltaico. Se entregó el formato de solicitud para la conexión con el sistema fotovoltaico (Formato 1) y se recibió un número de seguimiento.

Un técnico de la CFE revisa la conexión para verificar que cumpla con los requerimientos técnicos. Una vez aprobada la instalación del sistema fotovoltaico se firma el contrato con CFE de interconexión con la red en la oficina local. El tipo de contrato que se entrego fue a pequeña escala, cuyo formato se encuentra en el anexo.

Una vez que se tuvo instalado el medidor bidireccional por el personal de CFE, el cliente ya pudo empezar a ver en su recibo de luz los kW consumidos por él y los kW generados en su

SFVI, y solo pagara el consumo del balance entre estos datos, la tabla 5.3 explican que significan los símbolos que vienen en el recibo de luz de un contrato con interconexión a la red.

Tabla 5.8. Conceptos de los símbolos de consumo

Símbolo	Concepto
+	Si genera más energía de la que consume se guarda y se compensa en un máximo 12 meses
-	Si se consume más energía por parte de la CFE de la que se estableció en el contrato se deberá pagar la diferencia de acuerdo con las tarifas vigentes.
=	Al generar y consumir la misma cantidad de energía, solo se paga mínimo establecido de servicio normal.

Fuente: Referencia propia

Análisis de beneficios.

Existen múltiples beneficios al haber instalado el SFVI con base al estándar de competencia 0586. El primer beneficio es que el técnico instalador, al seguir un protocolo y/o una serie de pasos basados en el estándar se asegura de que la instalación se haga de manera correcta y ordenada, y al mismo tiempo esta sea segura.

El segundo beneficio es que el técnico, al cumplir con el estándar utiliza en todo momento el equipo de protección y señala por medio de instrumentos los peligros latentes, previo, durante y al final de la instalación del SFVI, minimizando de esta manera el riesgo que ocurra algún accidente no deseado.

El SFVI contribuye a minimizar la contaminación ya que demanda menos energía eléctrica a la compañía de luz durante las horas sol del año, reduce la quema de combustibles que generan contaminación de las plantas generadoras que abastecen a la ciudad. Al generar localmente la energía eléctrica puede abastecer directamente al usuario e indirectamente a otros usuarios de la misma red.

Otro de los beneficios es a la compañía eléctrica suministradora, en este caso CFE ya que al demandar un menor consumo de electricidad a CFE, CFE a su vez, puede abastecer con mayor calidad de energía eléctrica a los demás usuarios y no se satura la demanda de energía de estos mismos usuarios.

El cliente se ve beneficiado pues al demandar menor energía eléctrica por parte de su compañía eléctrica, pues a lo largo del tiempo, comienza a reducir su demanda en kW y esto se ve reflejado en el costo de su recibo de luz. Una vez que se instala el medidor bidireccional en el recibo de luz se ve reflejado el balance de energía consumida y el de energía generada.

CONCLUSIONES

El estado de Morelos, hoy en día no tiene la capacidad de abastecerse así mismo de energía eléctrica. Uno de los proyectos que se está implementado para abastecer Morelos es una planta generadora de ciclo combinado “La Huexca” en el municipio de Yecapixtla. Dicha planta generadora va a abastecer a 280,000 hogares en el municipio, por lo tanto Morelos va a demandar menor energía de otras plantas generadoras cercanas.

Una planta convencional gasta aproximadamente mil quinientos pesos en generar un megawatt hora, comparado con una planta de ciclo combinado cuyo costo es poco menos de trescientos pesos. La planta termoeléctrica de San Lorenzo Almecatla en el estado de Puebla emite cuarenta y cinco unidades por millón de óxido nitroso, componente principal que genera la lluvia ácida.

Tomando en cuenta estos datos, se deduce que aunque una planta de ciclo combinado emite menos contaminación una planta termoeléctrica, sumando otros factores contaminantes como el gas que emiten los autos, fábricas, entre otros; la generación de gases de efecto invernadero sigue siendo preocupante y se ha estado trabajando para disminuir estos gases en los últimos años.

Actualmente en México, Comisión Federal de Electricidad ha facilitado el trámite para poder obtener un contrato de luz con medidor bidireccional para a los usuarios que generan luz a partir de un sistema fotovoltaico interconectado a la red. La generación de electricidad por medio de un sistema fotovoltaico interconectado a la red, hoy en día es más costeable y por lo tanto está al alcance de más usuarios, no solo a nivel comercial, sino también a nivel residencial.

La instalación del sistema fotovoltaico interconectado a la red genera un ahorro en el recibo del usuario al generar kW mientras haya horas sol, genera un impacto considerable en la reducción de contaminación, pues para generar electricidad no existe ninguna quema de combustibles fósiles. Esto se debe a que al demandar menor energía al proveedor de luz genera un ahorro al mismo.

Al usuario al que se le instaló su sistema fotovoltaico interconectado a la red de acuerdo al estándar de competencias EC0586 tiene la garantía de que la seguridad en su instalación y de él mismo, puesto que al hacerse la entrega del sistema funcionando, se revisó y corroboró que el sistema fotovoltaico junto con sus protecciones estuvieran instaladas de manera correcta. Además la instalación al hacerse de manera limpia y ordenada, y a su vez de que instituciones como la SENER hayan participado en la elaboración de mismo estándar.

El objetivo de “Implementar un SFVI para casa habitación de acuerdo al estándar EC0586”, entonces se cumplió al asegurarse que el sistema fotovoltaico instalado se instaló siguiendo los pasos a instalar del estándar y al asegurarse que el sistema fotovoltaico interconectado a la red se encuentra inyectado potencia a la red.

Al momento de entregarse la instalación funcionando se le mencionó al usuario que el beneficio económico en el recibo de luz, no se refleja inmediatamente, los kW generados por el sistema fotovoltaico se pueden ver reflejados dentro de un periodo de 12 meses. Por lo que tiempo después se contactó al usuario, verificando que efectivamente se reflejó este beneficio económico pagando menos en su recibo de luz.

En la implementación del sistema fotovoltaico interconectado a la red de acuerdo al estándar EC0586 el beneficio económico del usuario al estar generando durante las horas de sol le inyecta a la red los kW generados y al final del bimestre se hace el balance de los kW que se inyectaron y de los kW que se consumieron, siendo por ende menor la cantidad a pagar.

El usuario redujo su pago en un 50% comparado con el primer recibo que mostro antes de hacerse la instalación. El beneficio ecológico al estar instalado el sistema fotovoltaico, viene ligado del beneficio económico. Esto se debe a que al demandar menos kW de la compañía suministradora de luz se contribuye a que a la planta generadora que suministra a esa área se le demanden menos kW por parte del usuario que al inyectar kW durante el día reduce su demanda eléctrica y la de sus vecinos.

ANEXO A. Solicitud para la Conexión de un Cliente con Generación Renovable.

FORMATO 1

SOLICITUD PARA LA CONEXIÓN DE UN CLIENTE CON GENERACION RENOVABLE O SISTEMA DE COGENERACION EN PEQUEÑA O MEDIANA ESCALA

Datos comerciales.

Nombre del Cliente: _____

Dirección: _____ Población: _____

Estado : _____ RPU: _____ Tarifa: _____

Datos de la instalación actual:

Voltaje que CFE suministra: _____

kVA totales instalados: _____ kW instalados: _____ kW contratados: _____

Instalación Propuesta:

1.- Indicar el tipo de Fuente de Energía para usar: Solar Eolica BioGas
 Cogeneración Otro: _____

2.- Indicar el número de unidades generadoras (paneles solares, hélices, etc.): _____ unidades

3.- Indicar la capacidad total en Watt de la Planta de Generación: _____ Watt

4.- Indicar la producción diaria promedio estimada de la planta de Generación: _____ Wh

5.- Indicar el modelo y marca del dispositivo CD / CA : _____.

6a.- Indicar las protecciones que se proveen:

Sobre Voltaje Sincronismo Anti-isla
 Sub Voltaje Frecuencia Sobrecorriente

6b.- En caso de Media Tensión, indicar la marca y modelo de las protecciones incluidas:

7.- Indicar los documentos entregados a CFE:

Convenio completamente llenado Copia del manual del fabricante del generador
 Copia del manual del fabricante del dispositivo CD/CA Croquis de ubicación geográfica.

11.- Observaciones:

Lugar y Fecha: _____

RECIBE: _____

ANEXO B. Hoja de Datos Microinversor M215 Enphase

Microinversores Enphase

M215 de Enphase®



El **Microinversor M215 de Enphase™** con tierra integrada ofrece más cosecha de energía y reduce la complejidad del diseño y la instalación, con su enfoque de todo-AC. Con el M215 avanzado, el circuito de CC está aislado e insulado de tierra, por lo que el electrodo 'Ground Conductor' (GEC) no es necesario para el microinversor. Esto simplifica aún más la instalación, amenera el riesgo y ahorra en costos de mano de obra y materiales.

El Enphase M215 integra a la perfección con el Engage Cable™, el Portal de comunicaciones Envoy™, y Enlighten™, el software de monitoreo y análisis de Enphase.

PRODUCTIVO

- Máxima producción de energía
- Resistente al polvo, a la suciedad y las sombras
- Sin punto único de falla del sistema

SENCILLO

- No GEC necesario para el microinversor
- No diseño DC ó calculos requeridos
- Instalación fácil con el Engage Cable

FIABLE

- Más de 1 millón de horas de pruebas y millones de unidades vendidas
- Garantía líder en la industria

 ENPHASE.



Microinversor **M215** de Enphase® // DATOS

DATOS DE ENTRADA (DC)		M215-60-2LL-S22-IG, M215-60-2LL-S25-IG	
Tensión de entrada recomendada (STC)	190 - 270+ V		
Tensión máxima de DC de entrada	48 V		
Tensión de seguimiento de potencia de pico	27 - 39 V		
Intervalo de funcionamiento	16 - 48 V		
Tensión inicial mín./máx.	22 V / 48 V		
Corriente máxima de cortocircuito de DC	15 A		
DATOS DE SALIDA (AC)		@208 VAC	@240 VAC
Potencia de salida pico	225 W	225 W	
Potencia asignada de salida (continua)	215 W	215 W	
Corriente nominal de salida (amperios media cuadrática de duración nominal)	1.03 A	0.9 A	
Tensión/campo nominal	208 / 183-229 V	240 / 211-264 V	
Frecuencia/campo nominal	60.0 / 57-61 Hz	60.0 / 57-61 Hz	
Frecuencia/campo extendido	57-62.5 Hz	57-62.5 Hz	
Factor de potencia	>0.95	>0.95	
Unidades máximas por circuito derivado (20A)	25 (trifásico)	17 (monofásico)	
Corriente máximo de fallo de salida	850 miliamperios media cuadrática, durante 6 ciclos		
RENDIMIENTO			
Rendimiento CEC promedio			96.5%
Maxima eficiencia del inversor			96.5%
Rendimiento estático del SPMP (ponderado, referencia EN 50530)			99.4%
Consumo eléctrico nocturno			65 mW máximo
DATOS MECÁNICOS			
Intervalo de temperatura ambiente	De -40°C to + 65°C		
Dimensiones (AN x AL x PR)	171 mm x 173 mm x 30 mm		
Peso	1.6 kg (3.4 lbs)		
Refrigeración	Convección natural, sin ventilador		
Clasificación ambiental de la carcasa	Exterior - NEMA 6		
Tipo de conector	M215-60-2LL-S22-IG: MC4 M215-60-2LL-S25-IG: Amphenol H4		
CARACTERÍSTICAS			
Compatibilidad	Compatible con los módulos fotovoltaicos de 60 células.		
Comunicación	Línea eléctrica		
Tierra Integrada	El circuito de DC cumple con los requisitos para generadores fotovoltaicos puestos a tierra en NEC 690.35. Tierra del equipo se proporciona en el Cable Engage. No GEC adicional o se requiere suelo. Protección de falla a tierra se integra en el microinversor.		
Supervisión	Opciones de Monitoreo: Enlighten Manager y MyEnlighten		
Conformidad	UL1741/IEEE1547, FCC Part 15 Class B, CAN/CSA-C22.2 NO. 0-M91, 0.4-04, and 107.1-01		

Si desea obtener más información sobre los microinversores Enphase, visite enphase.com/lac.

© 2016 Enphase Energy. Reservados todos los derechos.

Todas las marcas comerciales que figuran en este documento se encuentran registradas por sus respectivos propietarios.



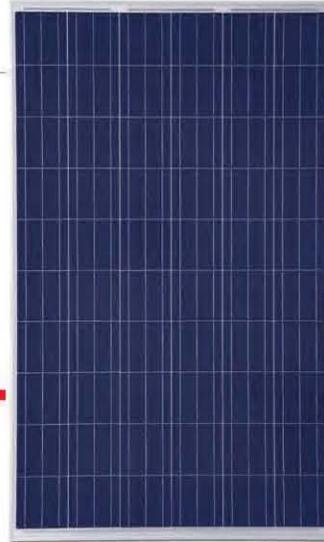
2016-11-21

ANEXO C. Hoja de Datos Panel Fotovoltaico TSM-PC05A

Mono **Multi** Solutions

TSM-PC05A TSM-PA05A THE Honey MODULE

by **TrinaSolar**



15.9%
MAX EFFICIENCY

260W
MAX POWER OUTPUT

10 YEAR
PRODUCT WARRANTY

25 YEAR
LINEAR POWER WARRANTY

Founded in 1997, Trina Solar is a vertically integrated PV manufacturer, involved in the production of ingots, wafers and cells, to the assembly of high quality modules, using both mono and multicrystalline technologies. As of July 2011, the Company has already achieved an annualized nameplate module capacity of approximately 1.9GW. Trina Solar's wide range of products are used in residential, commercial, industrial and public utility applications throughout the world.

Only by matching an efficient cost-structure with proven performance will we as an industry achieve grid parity. And at Trina Solar, we have both.

Trina Solar Limited
www.trinasolar.com



Module can bear snow loads up to **5400Pa** and wind loads up to **2400Pa**



Guaranteed power output **0~+3%**



High performance under low light conditions
Cloudy days, mornings and evenings



Independently certified by **international certification bodies**

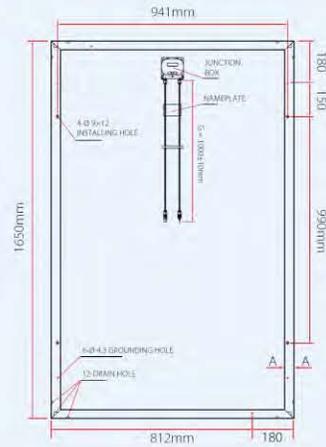


Manufactured according to International Quality and Environment Management System Standards **ISO9001, ISO14001**

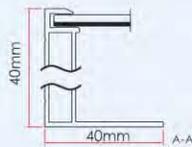


TSM-PC05A / TSM-PA05A THE Honey MODULE

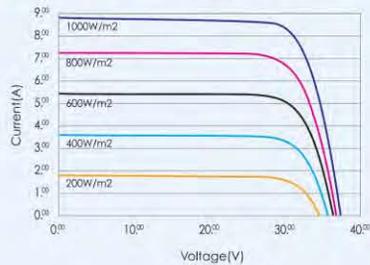
DIMENSIONS OF PV MODULE TSM-PC/PA 05A



Back View



I-V CURVES OF PV MODULE TSM-250 PC/PA 05A



Average efficiency reduction of 4.5% at 200W/m² according to EN 60904-1.

CERTIFICATION



ELECTRICAL DATA @ STC	TSM-245 PC/PA05A	TSM-250 PC/PA05A	TSM-255 PC/PA05A	TSM-260 PC/PA05A
Peak Power Watts-P _{MAX} (Wp)	245	250	255	260
Power Output Tolerance-P _{MAX} (%)	0/+3	0/+3	0/+3	0/+3
Maximum Power Voltage-V _{MPP} (V)	30.2	30.5	30.9	31.3
Maximum Power Current-I _{MPP} (A)	8.12	8.20	8.26	8.31
Open Circuit Voltage-V _{OC} (V)	37.7	37.8	38.0	38.2
Short Circuit Current-I _{SC} (A)	8.83	8.90	8.95	9.02
Module Efficiency η _m (%)	15.0	15.3	15.6	15.9

Values at Standard Test Conditions STC (Air Mass AM1.5, Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C).

ELECTRICAL DATA @ NOCT	TSM-245 PC/PA05A	TSM-250 PC/PA05A	TSM-255 PC/PA05A	TSM-260 PC/PA05A
Maximum Power (W)	180	183	187	191
Maximum Power Voltage (V)	27.4	27.7	28.0	28.2
Maximum Power Current (A)	6.56	6.62	6.68	6.76
Open Circuit Voltage (V)	34.6	34.8	34.9	35.1
Short Circuit Current (A)	7.14	7.20	7.24	7.30

NOCT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1M/s.

MECHANICAL DATA

Solar cells	Multicrystalline 156 × 156mm (6 inches)
Cell orientation	60 cells (6 × 10)
Module dimension	1650 × 992 × 40mm (64.95 × 39.05 × 1.57 inches)
Weight	19.5kg (43.0 lb)
Glass	High transparency solar glass 3.2mm (0.13 inches)
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP 65 rated
Cables / Connector	Photovoltaic Technology cable 4.0mm ² (0.006 inches ²), 1000mm (39.4 inches), MC4

TEMPERATURE RATINGS

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	46°C (±2°C)
Temperature Coefficient of P _{MAX}	-0.41%/°C
Temperature Coefficient of V _{OC}	-0.32%/°C
Temperature Coefficient of I _{SC}	0.053%/°C

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40~+85°C
Maximum System Voltage	1000V DC(IEC)/600V DC(UL)
Max Series Fuse Rating	15A

WARRANTY

- 10 year workmanship warranty
 - 25 year linear performance warranty
- (Please refer to product warranty for details)

PACKAGING CONFIGURATION

- Modules per box: 25 pcs
- Modules per 40' container: 650 pcs

TSM_EN_Oct_2011

Anexo D. Check List EC0586

ELEMENTO 1 DE 3 (LEVANTAMIENTO Y PREPARACIONES)

Producto:

1.-	PRESENTA LOS COMPONENTES DEL SFVI, VERIFICADOS, SIN DAÑOS NI GOLPES.
2.-	LISTA DE PARTES CON LIMPIEZA, SIN DOBLECES NI DAÑOS Y LEGIBLE CORROBORADA FÍSICAMENTE CONTRA EL EQUIPO Y MATERIALES DISPONIBLES.
3.-	HERRAMIENTAS Y MATERIALES CORRESPONDEN A LA LISTA DE PARTES Y COMPONENTES A INSTALAR. LIBRES DE DESGASTE, GOLPES, DEFORMACIONES Y ESTRANGULACIONES.

Desempeños:

1.-	Identificar los puntos de conexión de ca del sitio:	Observaciones
X	Corroborar físicamente contra el plano de proyecto los puntos del centro de carga donde se hará la interconexión a red.	
X	Verificar que el centro de carga tiene la capacidad de recibir la potencia de salida del inversor/microinversor a instalar del SFVI. $I_{INV} * 1.2 \leq I_{ITM}$, enphase M215 $I_{inv-out} = 1.1 A * 3 * 1.2 = 3.3 A \leq I_{ITM}$	
X	Corroborar físicamente la trayectoria de canalizaciones según el plano (que coincidan).	

2.-	Verificar tensión y número de hilos de la alimentación eléctrica del sitio (llenar formatos entregados por evaluador):	Observaciones
X	Identificar visualmente en el punto de conexión (conductores de fase, tierra y neutro).	
X	Energizar el centro de carga y medir voltaje e inspección visual de los conductores de fase, tierra y neutro.	
X	Corroborar la tensión de trabajo en la ficha técnica del microinversor contra la lectura obtenida	

3.-	Verificar la existencia de un sistema puesta a tierra:	Observaciones
X	Señalar el punto de conexión de puesta a tierra verificando su continuidad con en electrodo.	

4.-	Corroborar la factibilidad de la colocación del sistema:	Observaciones
X	Revisar que el lugar asignado corresponda a las condiciones reales del sitio y no existan nuevos elementos que generen sombras	
X	Medir la distancia entre el área de la instalación hacia el punto de conexión. $D = 30$ m (Cable de uso rudo CA) $D = 30$ m (cable desnudo de puesta a tierra)	
X	Verificar que la superficie permite la fijación del equipo	Losa con impermeabilizante por lo cual se utilizara una estructura tipo lastre
X	Señalar los puntos de riesgo para trabajo en alturas:	
X	* Se requiere trabajar a más de 1.80m de altura	

X	* El área para instalar el sistema fotovoltaico se encuentra a menos de 1.20m de la orilla de la losa. Delimitarlo	
X	* El área para instalar el sistema fotovoltaico se encuentra en una losa inclinada	
X	Señalar la ruta más adecuada para transportar el material. Señalar la ruta en el plano del proyecto.	

ELEMENTO 2 DE 3 (INSTALACIÓN DEL SFVI)

Productos:

1.- ARREGLO FOTOVOLTAICO INSTALADO.	
	Conservar envoltorios/gabinetes con el mismo grado de protección de su diseño (nema o ip)
	Presenta el cableado y las tuberías limpias, ordenados, alineados y sujetos de manera sólida y sin deformaciones
	Presenta cada módulo con un espacio mínimo de 1/8" (3mm) y sin daños físicos
	Presenta la estructura sin deformaciones y nivelada
	Incluye todos los conectores unidos, sin que alguno pueda zafarse
	Presenta las conexiones de cable firmes, sin cables flojos/sueltos y de acuerdo con la norma vigente
	Presenta la tubería acorde a las condiciones de interperie
	tiene las trayectorias de canalización correspondientes con lo establecido en el plano/diagrama del proyecto

2.- COMPONENTES DEL SISTEMA ELÉCTRICO CONECTADOS.	
	Identificar con etiquetas conforme a lo estipulado en el artículo 690 de la NOM-001-sede-vigente
	Presenta la protección principal del SFVI conectado al extremo opuesto de la alimentación principal del centro de carga
	Presentan todos los elementos del plano/diagrama instalados conforme al proyecto
	Presenta todos los elementos metálicos puestos a tierra
	Presenta la conexión de todos los centros de carga de acuerdo con el manual del fabricante y en las condiciones requeridas del proyecto

3 SFVI INSTALADO.	
	Presenta el inversor en el lugar establecido según plano/diagrama de proyecto
	Presenta todos los elementos de seguridad instalados de acuerdo con lo establecido en el proyecto

Desempeños:

1.- Fijado de la estructura:	Observaciones
X Limpiar la zona donde se instalará el SVF	
X Ubicarla según la orientación determinada en el plano de proyecto	
X Anclar la base con los implementos de sujeción acordes al tipo de superficie determinada	
X Dar el par de apriete especificado en el proyecto/manual de instalación de la base (con el torquímetro)	

X	Sellar las perforaciones hechas en la superficie conforme a su tipo de material	
X	Ubicar la orientación hacia el sur +/- 10 grados (brújula)	
X	Comprobar que la inclinación de los módulos, corresponde con el diseño y el sitio de instalación	
X	Aislar elementos para evitar se presente un par galvanico	Se utilizó el mismo material

2.-	Montaje de los módulos, inversor y caja de conexiones de CC del sistema (llenar formatos entregados por evaluador):	Observaciones
X	Retirar el embalaje de protección con que fueron transportados los módulos	
X	Manipular los módulos por su estructura/marco y con precaución durante su manejo	
X	Colocar, alinear y fijar los módulos en la base sin dañarlos, coincidiendo con lo establecido en el plano del proyecto	
X	Fijar los microinversores y sus accesorios de acuerdo al manual de instalación del fabricante	
X	Identificar los puntos de conexión de CC y CA en el inversor/microinversor	
N/ A	Armar y colocar la caja de conexiones de CC de acuerdo al plano del proyecto (en caso de inversor central)	*Se utilizó microinversor
N/ A	Conectar los MFVs entre sí de acuerdo al plano del proyecto (en caso de inversor central)	*Se utilizó microinversor
N/ A	Conectar la salida del arreglo FV a la caja de conexiones de CC con un conector de aplicación fotovoltaica (MC4) (en caso de inversor central)	*Se utilizó microinversor
N/ A	Instalar un conector a un conductor, sin que el conductor este conectado al arreglo FV (en caso de inversor central)	*Se utilizó microinversor
X	Conectar el conductor no puesto a tierra, antes que el puesto a tierra a la salida del GFV (en caso del SFVI aterrizado)	

3.-	Comprobar las características eléctricas de los módulos (llenar formatos entregados por evaluador):	Observaciones
X	Corroborar con el multímetro que la tensión de cada módulo a circuito abierto sea la tensión VOC bajo NOCT que se encuentra en los datos de placa +/- 15%. <i>FORMATO: Tapar los modulos para medir Isc</i>	
N/ A	Medir y registrar la corriente de corto circuito ISC de cada cadena (EN CASO DE INVERSOR CENTRAL)	
X	Corroborar que el Voc del arreglo FV no supere la tensión máxima de entrada del inversor (En formato 4 vienen los datos de entrada del microinversor, en este caso que el Voc de cada MFV no supere el Ventrada del inversor)	

4.-	Armar los componentes del sistema de seguridad (protecciones) de acuerdo al proyecto:	Observaciones
X	Seleccionar los interruptores de CC y CA	
X	Conectar los dispositivos de acuerdo a lo especificado por el fabricante	

X	Conectar la CA al dispositivo de protección de CA y al inversor manteniendo las protecciones abiertas	
X	Conectar la CC al inversor, manteniendo las protecciones abiertas (en caso de inversor central) (para microinversor no hay, solo conectores MC4 de la salida del MFV a la entrada)	

5.-	Prepara y ejecución del electrodo de puesta a tierra:	Observaciones
X	Instalar el electrodo de puesta a tierra y conectar el conductor de puesta a tierra	
X	Verificar la conductividad de los elementos de puesta a tierra hasta el electrodo	

6.-	Instalación de canalizaciones y conductores:	Observaciones
X	Instalar conductores de CA y CC sin dañar el aislamiento	
X	Realizar la unión de conduit metálico usando la tarraja/una unión de conduit PVC eléctrico/una unión de tubería metálica flexible/una unión de tubería metálica con recubrimiento plástico flexible/una unión de tubería plástica	
X	Realizar los empalmes entre conductores haciendo el trenzado en sentido horario	
X	Aislar los empalmes con capuchón, roscando en sentido horario y verificando que cubra hasta el aislamiento de los conductores	
X	Verificar que cada conductor mecánico-eléctrico haya sido apretado con el torque indicado en el manual de instalación de cada componente	

<i>Arreglo FV instalado</i>		
X	Envolventes/gabinetes de los dispositivos se encuentran con el mismo grado de protección de su diseño, sin daños.	
X	El cableado y las tuberías limpios, ordenados, alineados y sujetos de manera sólida y sin deformaciones	
X	Cada MFV con un espacio mínimo de 1/8" (0.317 cm) y sin daños físicos	
X	Estructura sin deformaciones y nivelada	
X	Todos los conectores unidos, sin que alguno pueda zafarse	
X	Las conexiones del cable firmes, sin cables flojos/sueltos y de acuerdo con la NOM-001-SEDE-2012	
X	Tubería de acuerdo a las condiciones de intemperie	
X	Las trayectorias de canalización correspondientes con lo establecido en el plano del proyecto	
<i>Componentes del sistema eléctrico</i>		
X	Etiquetar los elementos conforme al artículo 690 de la NOM-001-SEDE-2012 (Formato Etiquetas)	

X	Presentar la protección principal del SFVI, conectado al extremo opuesto de la alimentación principal del centro de carga	
X	Presentar todos los elementos del plano/diagrama instalado conforme a proyecto.	
X	Presenta todos los elementos metalicos puestos a tierra	
X	Presenta la conexión en todos los centros de carga de acuerdo con el manual de fabricante y en las condiciones requeridas del proyecto	

ELEMENTO 3 DE 3

Productos:

1.-	EL SFVI PUESTO EN MARCHA
1.2	Presenta el inversor inyectando corriente a la red
1.3	Conserva todos los envoltentes de los dispositivos con el mismo grado de protección de diseño (nema o ip)
1.4	Presenta los equipos sin golpes, ralladuras/deformaciones
1.5	Registra las mediciones del sistema funcionando en el formato de entrega particular de su empresa

2.-	EL REGISTRO DE MEDICIONES DE PRUEBA ELABORADO
2.1	Incluye las mediciones del sistema funcionando
2.2	Tiene la disposición del arreglo/módulos fotovoltaicos y número de serie de los microinversores/optimizadores/inversores

Desempeños:

1.-	Realizar la puesta en operación del sistema:	Observaciones
1.1	Seguir la secuencia establecida por el manual del fabricante del inversor	
1.2	Revisar visualmente que el indicador/led/display del inversor esta inyectando corriente	
1.3	Medir el tiempo de sincronización del inversor con la red (enphase M215 t >= 5 min)	
1.4	Comprobar con el multímetro de gancho que se encuentre inyectando corriente en cada fase de inyección por cada uno de los inversores. L1=2.53 A, L2=2.53A, VINV-OUT=216.7 Vca	

	Comprobar el funcionamiento anti-isla del inversor	Observaciones
X	Abrir el interruptor de CA a la salida del inversor	

X	Verificar con el multímetro que no exista una señal de tensión a la salida del inversor después del tiempo especificado en el manual y no fluya corriente por ningún conductor de entrada y salida del inversor. Abriendo el interruptor de CA y después el de CC (Para el caso de inversor central) (para microinversor solo el de CA)	

<i>Entrega del SFVI</i>		
X	Cerrar la caja de conexiones y centro de carga	
X	Limpiar toda el área donde se trabajo	
X	Colocar toda la herramienta que se utilizó en la caja de herramientas	
X	Entregar registro de las mediciones del sistema funcionando en el formato de entrega particular de su empresa (Incluye las mediciones del sistema funcionando y tiene la disposición del arreglo/módulos FV's y número de serie de los microinversores/optimizadores/inversores)	
X	Realizar con el cliente/supervisor una entrega verbal del SFVI operando	

Referencias

Bibliográficas.

- Albizzati, E., (*Energía solar térmica: principios básicos y aplicaciones tecnológicas*, 5ta edición, 2012, Ediciones Universidad Nacional del Litoral.
- Balfour, John & Shaw, Michael, “Introduction to Photovoltaic Installations”, 2013, Jones & Barlett Learning.
- Bayod Rújula, Ángel Antonio, “Sistemas fotovoltaicos”, 1ra edición, 2009, Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Boylestad, R., (2002). *Análisis Introductorio de Circuitos*, México, PPH.
- “Comisión Económica para América Latina (CEPAL) América y los Problemas actuales de energía” CFE, Fondo de Cultura Económica, 1975.
- Dorf, Richard C./Svoboda, (1997) “Circuitos Eléctricos: Introducción al Análisis y Diseño”, 3ra edición, México, Alfaomega 1997
- Enriquez Harper, Gilberto, “Los conceptos básicos de la generación, transmisión, transformación y distribución de la Energía Eléctrica”, 1ra edición, México, Limusa
- Enríquez Harper, Gilberto, “Instalaciones y Sistemas Fotovoltaicos”, 1ra edición, 2014, México, Limusa

- Hayt, William H./Kemmerly, Jack E., “Análisis de Circuitos en Ingeniería”, 7ma edición, Tercera edición español, México, McGraw Hill. 2007
- Hernández, Roberto/ Fernández, Carlos/ Baptista, Maria “Metodología de la Investigación”, 5ta edición, Mc Graw Hill
- Jardón U., Juan J., “Energía y medio ambiente: Una perspectiva económico y social”, 1ra edición, 1995, Plaza Valdés S.A. de C.V., México
- Mompín Poblet, José, “Energía solar fotovoltaica”, 1985, 2da edición, Barcelona, Marcocombo
- Multi-Amp Institute, “Basic Electricity”, Feb 1992, 1ra edición, Delmar Publishers Inc.
- Lorenzo, E., “Electricidad Solar: Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos”, 1ra edición, 1994, PROGENSA.
- Pareja Aparicio, Miguel, “Radiación solar y su aprovechamiento energético”, 2010, Marcocombo, España
- Rashid, Muhammad H., “Circuitos microelectrónicos: Análisis y Diseño”, International Thompson Editores, 2000
- Rodríguez Rocha, Julio César, “Instalaciones eléctricas: proyectos residenciales e industriales, 2da edición, 2015, México, Trillas.
- Solar Generation 6, Executive Summary, October 2010, Greanpeace-EPIA

- EC586 “Instalación de sistemas fotovoltaicos en residencia, comercio e industria”
- NOM-001-SEDE-Vigente. Instalaciones eléctricas (Utilización).
- CFE G0100-04 Interconexión a la Red Eléctrica de Baja Tensión de Sistemas Fotovoltaicos con Capacidad hasta 30kW.
- NOM-009-STPS-Vigente. Condiciones de seguridad para realizar trabajos en alturas.
- NOM-017-STPS-Vigente. Equipo de protección personal-selección, uso y manejo en los centros de trabajo.

Internet.

- Recuperado de: <http://www.nasa.gov/sun>, 2016
- Recuperado de: <http://energiasrenovadas.com>, 2016
- Recuperado de: <http://sobrehistoria.com/maquina-de-vapor-stephenson/>,2016
- Recuperado de: <http://www.history.com/topics/water-and-air-pollution>, 2016
- Recuperado de: <http://euanmearns.com/global-energy-trends-bp-statistical-review-2015/>, 2016
- Recuperado de: <https://airandspace.si.edu/collection-objects/satellite-vanguard-1-backup>, 2017
- Recuperado de: <http://www.hoy-no-circula.com.mx/>, 2016. Hoy no circula, 2016
- Recuperado de: <http://www.fide.org.mx/>, 2016. FIDE, 2016

- Recuperado de: <http://www.fisicalab.com>, 2016

- Recuperado de:
<http://www.cfe.gob.mx/Industria/AhorroEnergia/Lists/Ahorro%20de%20energia/Attachments/3/Factordepotencia1.pdf>, 2016

- Recuperado de: <http://www.history.com/topics/industrial-revolution/pictures/industrial-inventions/longwall-shearer>, 2016

- Recuperado de: <http://www.portaleducativo.net/cuarto-basico/640/Estados-de-materia-solido-liquido-gaseoso-plasma>, 2016

- Recuperado de: <http://erenovable.com/como-funciona-la-energia-solar/>, 2016

- Recuperado de: http://revosolar.com/3-tu-empresa-solar-telecom.php?idioma=es_ 2016

- Recuperado de: <http://www.domtesol.es/fotovoltaica>, 2016

- Recuperado de:
http://www.educa.madrid.org/web/ies.federicamontsen.fuenlabrada/documentos/comunidad%20educativa/profesores/tecnologia/3A-Web2013/Lucia%20Robles/Sitio%20web/Carpeta%20imagenes/carpeta%20funcionamiento/foto_esquema.png, 2016

- Recuperado de: http://www.cenitsolar.com/fotovoltaica_esquema.php, 2016

- Recuperado de: <http://revistadelconsumidor.gob.mx/?p=7077>, 2016

- Recuperado de: <https://energiasrenovadas.com/los-mares-y-oceanos-fuentes-de-energia-renovable/>, 2016

- Recuperado de: <http://erenovable.com/energia-nuclear/>, 2016

- Recuperado de:
http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/04/160426_tecnologia_cuanto_consumen_aparatos_en_bombillos_electricidad_yv, 2016

- Recuperado de: http://www.batterymart.com.mx/baterias-solares?gclid=EAIaIQobChMI1unt1tGS2gIVhiOBCh1RWAYtEAAYASAAEgLjJfD_BwE, 2017

- Recuperado de: <http://soluciones.alcione.mx/energias-alternas/productos/>, 2016

- Recuperado de: https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/estructuras-para-paneles-solares_1, 2016

- Recuperado de:
http://solartekka.cl/solartekka_store/image/data/%20Panel%20Support/MontajeHojalataSimilar.jpg

- Recuperado de: <http://norma-ohsas18001.blogspot.mx/2013/02/gestion-de-equipos-de-proteccion.html>, 2016

- Recuperado de:

http://ecelectronics.com.mx/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/c/a/cable-thw_1.gif, 2016

- Recuperado de:
http://www.fronius.com.mx/cps/rde/xchg/SID-81628289-49918BE6/fronius_mexico/hs.xsl/6884_7371.htm#.WQCuoPk1-00, 2016
- Recuperado de: <http://www.cerogradossur.es/instalacion-fotovoltaica-aislada/>, 2016
- Recuperado de: <http://www.safetysign.com/images/source/large-images/E3393BI.png>, 2016
- Recuperado de:
<http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/leyesy normas/html/nmx.png>, 2016
- Recuperado de: www.conocer.gob.mx, 2016
- Recuperado de: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/conector-mc4/>, 2016
- Recuperado de:
https://www2.ineel.mx/proyectofotovoltaico/DESCARGAS/1ER_COLOQUIO_2007/Especificaciones%20tecnicas%20CFE.pdf, 2017
- Recuperado de: http://www.cfe.gob.mx/negocio/4_Informacionalcliente/Paginas/Paracontratar.aspx, 2017

➤ Recuperado de:

http://www.cfe.gob.mx/casa/4_informacionalcliente/lists/para%20servicios%20de%20red%200area/attachments/1/monofasico.pdf

➤ Recuperado de:

http://www.cfe.gob.mx/negocio/4_Informacionalcliente/Lists/Red%20aerea/Attachments/1/Bifasico.pdf