



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD ZACATENCO
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**PROPUESTA DE LA INTRODUCCIÓN
DE LA ENERGÍA RENOVABLE
EN LA VIVIENDA MEXICANA.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL**

P R E S E N T A

ÁNGEL JESÚS GONZÁLEZ GONZÁLEZ

DIRECTOR

DR. VÍCTOR MANUEL LÓPEZ LÓPEZ

MÉXICO D. F. 2012





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México D. F., siendo las 16:30 horas del día 22 del mes de noviembre del 2012 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.A. – U. Z. para examinar la tesis titulada:

“Propuesta de la introducción de la energía renovable en la vivienda mexicana”

Presentada por el alumno:

González
Apellido paterno

González
Apellido materno

Ángel Jesús
Nombre(s)

Con registro:

B	1	0	1	3	3	5
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL

Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Director de tesis

Dr. Víctor Manuel López López

M. en I. Felipe López Sánchez

M. en C. Ricardo Contreras Contreras

Dr. Esteban Flores Méndez

M. en C. Javier Avila Moreno

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

M. en C. Pino Durán Escamilla



SECCIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México D.F. el día 26 del mes Noviembre del año 2012, el que suscribe Ángel Jesús González González alumno del Programa de Maestría en Ingeniería Civil con número de registro B101335, adscrito a la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura UZ, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. Víctor Manuel López López y cede los derechos del trabajo intitulado "Propuesta de la Introducción de la Energía Renovable en la Vivienda Mexicana", al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección agonzalezg0910@ipn.mx Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Ángel Jesús González González





AGRADECIMIENTOS.

Éste trabajo abarca varios aspectos de mí persona, debido a que contiene temas que me apasionan y en él pude desarrollar el ingenio que me caracteriza. Es cierto que al finalizar un trabajo tan arduo y lleno de dificultades es inevitable que te asalte un muy humano egocentrismo, es decir, dar solo mérito al aporte personal sin embargo la magnitud y feliz término de ésta tesis hubiese sido imposible sin la participación de más individuos los cuales han facilitado el proceso para poder consumarla en su totalidad. Por ello, es para mí un verdadero placer utilizar este espacio para ser justo y consecuente con ellos, expresándoles mi agradecimiento.

Debo agradecer de manera especial y sincera al Doctor Víctor Manuel López López por aceptarme para realizar este trabajo bajo su dirección. Su apoyo y confianza en mí persona y su capacidad para guiar mis ideas ha sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de la tesis sino también en mi formación como Maestro en Ingeniería Civil. Le agradezco también el haberme facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de este documento.

Debo destacar la participación de mis profesores M. en C. Felipe López Sánchez, M. en C. Javier Avila Moreno, M.C. Ricardo Contreras Contreras, Dr. Jorge Meléndez Estrada, Dr. Esteban Flores Méndez, Dr. Francisco A. Díaz Guerra y Dr. Oscar Cruz Castro, para quienes va un agradecimiento especial por las veces que sostuvimos pláticas de carácter científico y personal que fueron altamente compensadas por la calidad y enriquecidas bipartitamente, sinceramente, gracias Profesores.

Debo agradecer singularmente también a la Profesora M.C. Norma Josefina Ruiz Castillejos por su amabilidad y disponibilidad durante mi estancia en la unidad académica, durante la cual tuve todo su apoyo profesional y logístico para alcanzar los objetivos perseguidos.

Para mis compañeros de la unidad académica tengo sólo palabras de gratitud, especialmente por aquellos momentos en que su simple compañía me



motivó a seguir adelante. Todos ellos son buenas personas, generosos y dispuestos como pocos y me honra poder llamarlos colegas.

Y, por supuesto, el agradecimiento más profundo y sentido va para mi familia. Sin su apoyo, colaboración e inspiración habría sido imposible llevar a cabo esta dura empresa. A mis segundos padres que son mis Abuelas y Abuelo por su tenacidad, paciencia, inteligencia y generosidad, a mis padres, por su ejemplo de lucha y honestidad...

¡Por todos ustedes y para ustedes mil gracias!

Atte. Ángel Jesús González González



PROPUESTA DE LA INTRODUCCIÓN DE LA ENERGÍA RENOVABLE EN LA VIVIENDA MEXICANA

(PROPOSAL OF THE INTRODUCTION OF THE RENEWABLE ENERGY IN THE MEXICAN HOUSING)

ÍNDICE

RESUMEN (ABSTRACT)	I
INTRODUCCIÓN	III
JUSTIFICACIÓN.....	IX
OBJETIVOS	XIII
<i>OBJETIVO GENERAL</i>	XIII
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	XIII
MARCO TEÓRICO	1
CAPÍTULO 1. LAS ENERGÍAS RENOVABLES	1
1.1. <i>DEFINICIÓN</i>	1
1.2. <i>CLASIFICACIÓN</i>	1
1.3. <i>APLICACIONES ESPECÍFICAS</i>	20
CAPÍTULO 2. EL CONTEXTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES.....	23
2.1. <i>HISTORIA Y POPULARIZACIÓN ANTE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES</i>	23
2.2. <i>APROVECHAMIENTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL MUNDO</i>	25
2.3. <i>ENERGÍAS RENOVABLES CON POTENCIAL EN MÉXICO</i>	33
MARCO TÉCNICO INSTRUMENTAL	41
CAPÍTULO 3. INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS	41
3.1. <i>TIPOLOGÍA DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS</i>	43
3.2. <i>EFFECTO FOTOVOLTAICO; CELDAS FOTOVOLTAICAS</i>	44
3.3. <i>COMPONENTES GENERALES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA</i>	48
3.3.1. <i>Módulo fotovoltaico ó Panel solar</i>	48



3.3.2.	<i>Almacenamiento de energía eléctrica en baterías</i>	53
3.3.3.	<i>Reguladores y acondicionamiento de potencia</i>	54
3.3.4.	<i>Estructuras y accesorios</i>	57
3.4.	UBICACIÓN Y SOMBRAS	59
3.4.1.	<i>Inclinación óptima</i>	59
3.4.2.	<i>Orientación óptima</i>	60
3.4.3.	<i>Efectos del sombreado sobre campo fotovoltaico</i>	61
3.4.4.	<i>Distancia entre paneles</i>	62
CAPÍTULO 4. INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS AISLADAS		65
4.1.	<i>ELECTRIFICACIÓN DE VIVIENDAS</i>	65
4.1.1.	<i>Generalidades</i>	65
4.1.2.	<i>Dimensionado básico y Recomendaciones de diseño</i>	68
4.2.	<i>BOMBEO FOTOVOLTAICO</i>	71
4.2.1.	<i>Generalidades</i>	71
4.2.2.	<i>Dimensionado básico y Recomendaciones de diseño</i>	71
CAPÍTULO 5. INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS CONECTADAS A RED		73
5.1.	<i>ASPECTOS TÉCNICOS; CRITERIOS DE DISEÑO</i>	73
5.1.1.	<i>Generalidades</i>	73
5.1.2.	<i>Dimensionado básico y Recomendaciones de diseño</i>	75
CAPÍTULO 6. ESTUDIO DE CASO		77
6.1.	<i>ANTECEDENTES DEL ESTUDIO DE CASO</i>	77
6.1.1.	<i>Reseña histórica</i>	77
6.1.2.	<i>Características del área de estudio</i>	78
CAPÍTULO 7. INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL ESTUDIO DE CASO		81
7.1.	<i>SELECCIÓN DE LA ENERGÍA RENOVABLE A INSTALAR</i>	81
7.2.	<i>DISEÑO DE LA INSTALACIÓN PARA INTRODUCIR LA ENERGÍA RENOVABLE SELECCIONADA</i>	81
7.2.1.	<i>Cálculo de las horas sol pico (HSP)</i>	81
7.2.2.	<i>Cálculo de la inclinación y orientación óptimas</i>	89
7.2.3.	<i>Cálculo de la distancia entre paneles</i>	90



7.2.4.	Selección del tipo de sistema fotovoltaico.....	95
7.2.5.	Resultados finales del pre dimensionamiento	97
7.2.6.	Cálculo y resultados del dimensionamiento final	101
7.2.7.	Selección del Inversor y Medidor de corriente eléctrica.....	105
7.2.8.	Consideraciones de la estructura de soporte y anclaje.....	108
CAPÍTULO 8.	ASPECTO ECONÓMICO DE LA ENERGÍA RENOVABLE SELECCIONADA	111
8.1.	ANÁLISIS PRESUPUESTAL A CORTO PLAZO	111
8.1.1.	1° Método de análisis	112
8.1.2.	2° Método de análisis	113
8.2.	ANÁLISIS PRESUPUESTAL A LARGO PLAZO.....	119
8.2.1.	2° Método de análisis	120
CAPÍTULO 9.	PROTOTIPO DISEÑADO A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES	129
9.1.	INTRODUCCIÓN.....	129
9.1.1.	Diseño lámpara/linterna solar.....	130
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		XII
ANEXOS		XVI
ANEXO A (Croquis de Localización).....		XVI
ANEXO B (Enchufes, voltajes y frecuencias por país).....		XVII
ANEXO C (Recibos de la CFE).....		XXI
ANEXO D (Estados de cuenta de la CFE).....		XXVI
BIBLIOGRAFÍA		XXX

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1 ÁREAS INSTALADAS DE COLECTORES SOLARES PLANOS PARA ALGUNOS PAÍSES (1998).....	27
CUADRO 2 CAPACIDAD ELÉCTRICA INSTALADA EN CELDAS FOTOVOLTAICAS (EN MW).....	29
CUADRO 3 PROYECTOS DE ENERGÍA EÓLICA EN MÉXICO, 2011.....	37
CUADRO 4 RESUMEN DE CENTRALES EN OPERACIÓN EN MÉXICO.....	39
CUADRO 5 PARÁMETROS HABITUALES DE BATERÍAS DE USO FOTOVOLTAICO.....	54
CUADRO 6 INCLINACIÓN ÓPTIMA PANELES SOLARES.....	60
CUADRO 7 CARGAS DE CONSUMO DIARIAS TÍPICAS EN ELECTRIFICACIÓN AISLADA.....	69
CUADRO 8 CLIMATOLOGÍA MENSUAL EN kWh/m² X MES.....	85



CUADRO 9 CLIMATOLOGÍA MENSUAL EN kWh/m ² X DÍA.....	86
CUADRO 10 “HORAS SOL PICO” (HSP).....	86
CUADRO 11 RESUMEN DE RESULTADOS FINALES DEL PRE DIMENSIONAMIENTO.....	100
CUADRO 12 PRE DIMENSIONAMIENTO kWh PRODUCIDOS POR LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA BIMESTRALMENTE.....	100
CUADRO 13 SUMATORIA PROMEDIO DE kWh/AÑO CONSUMIDOS POR LA VIVIENDA.....	101
CUADRO 14 RESUMEN DE RESULTADOS FINALES.....	104
CUADRO 15 kWh PRODUCIDOS POR LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA BIMESTRALMENTE.....	105
CUADRO 16 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL INVERSOR.....	107
CUADRO 17 CÁLCULO DEL COSTO PROMEDIO ANUAL DEL SERVICIO ELÉCTRICO COMERCIAL.....	112
CUADRO 18 CÁLCULO DE COSTOS DEL SERVICIO ELÉCTRICO COMERCIAL PROYECTADO A 10 AÑOS.....	115
CUADRO 19 RESUMEN ANUAL DE COSTOS DEL SERVICIO ELÉCTRICO COMERCIAL PROYECTADO A 10 AÑOS.....	118
CUADRO 20 CÁLCULO DE COSTOS DEL SERVICIO ELÉCTRICO COMERCIAL, 20 AÑOS RESTANTES.....	121
CUADRO 21 RESUMEN ANUAL DE COSTOS DEL SERVICIO ELÉCTRICO COMERCIAL, 20 AÑOS RESTANTES.....	126
CUADRO 22 VALORES NORMALIZADOS CABLES A.W.G.....	132
CUADRO 23 PAÍSES DE INTERÉS ENCHUFES, TENSIONES Y FRECUENCIAS.....	XX

ÍNDICE DE FIGURAS

FIG. 1 DESHIELO ATÍPICO DEL ÁRTICO.....	IV
FIG. 2 AMAZONAS SEQUIA RECORD 2010 (NASA).....	V
FIG. 3 BAJI APODADO "LA DIOSA DEL YANGTZE".....	VI
FIG. 4 VERTIDO DE AGUA EN LA CENTRAL NUCLEAR DE FUKUSHIMA.....	IX
FIG. 5 PETRÓLEO DERRAMADO EN EL GOLFO DE MÉXICO POR LA <i>BRITISH PETROLEUM (BP)</i>	X
FIG. 6 CAPA DE OZONO.....	3
FIG. 7 DIFERENTES PORCENTAJES DE ALBEDO.....	4
FIG. 8 EFECTO FOTOVOLTAICO.....	5
FIG. 9 LÁMINAS NANO-SOLARES.....	6
FIG. 10 SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS PLANOS.....	7
FIG. 11 SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DE CONCENTRACIÓN O ENFOQUE.....	8
FIG. 12 DESPLAZAMIENTO NATURAL DEL AIRE.....	8
FIG. 13 AERO-TURBINAS VERTICALES (A. TIPO SAVONIUS, B. TIPO DARRIEUS, C. TIPO GIROMILL, D. TIPO WINDSIDE).....	9
FIG. 14 AERO-TURBINAS HORIZONTALES (A. TIPO TRIPALA, B. TIPO BIPALA, C. TIPO MONOPALA, D. TIPO TORRE DE CELOSÍA, E. TIPO TORRE TUBULAR).....	10
FIG. 15 CICLO HIDROLÓGICO, ORIGEN DE LA ENERGÍA HIDROELÉCTRICA.....	11
FIG. 16 FOTOSÍNTESIS, ECUACIÓN QUÍMICA OCURRIDA DURANTE EL DÍA.....	12
FIG. 17 BRIQUETAS.....	12
FIG. 18 BOMBA O SURTIDOR DE BIOCMBUSTIBLES, B20 (20% BIODIESEL), E85 (85% ETANOL), E10 (10% ETANOL).....	14
FIG. 19 DIGESTOR BIOLÓGICO O BIO-DIGESTOR.....	15
FIG. 20 RELLENO SANITARIO, PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.....	16
FIG. 21 CENTRAL ELÉCTRICA MAREOMOTRIZ (ESTUARIO DEL RÍO RANCE, FRANCIA).....	17
FIG. 22 SISTEMA GENERADOR DE ENERGÍA UNDIMOTRIZ.....	18
FIG. 23 PLANTA DE ENERGÍA GEOTÉRMICA. (THE BLUE LAGOON; GRINDAVIK ISLANDIA).....	19



FIG. 24 FRIBURGO ALEMANIA LA "CIUDAD SOLAR".....	25
FIG. 25 CALENTADORES SOLARES DE AGUA (CHIPRE E ISRAEL).....	26
FIG. 26 PLANTA DE CONCENTRACIÓN SOLAR (SEVILLA, ESPAÑA).....	28
FIG. 27 PARQUE EÓLICO NAVARRA ESPAÑA.	31
FIG. 28 CONCEPTO DE "HORAS SOL PICO".....	42
FIG. 29 ESQUEMA BÁSICO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA PARA ELECTRIFICACIÓN DE VIVIENDA.	43
FIG. 30 ESQUEMA BÁSICO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE CONEXIÓN A RED.	44
FIG. 31 GENERACIÓN ELÉCTRICA POR EFECTO FOTOVOLTAICO EN UNA UNIÓN P-N.	45
FIG. 32 CURVA DE FUNCIONAMIENTO I-V DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA.....	46
FIG. 33 CELDAS DE SILICIO MONOCRISTALINO Y POLICRISTALINO.	47
FIG. 34 CUOTA MUNDIAL DE PRODUCCIÓN POR TIPO DE CELDAS FOTOVOLTAICAS 2006	47
FIG. 35 MÓDULO FOTOVOLTAICO. PANEL SOLAR.	48
FIG. 36 CURVA CARACTERÍSTICA DE UN MÓDULO FOTOVOLTAICO DE 50 WP.	49
FIG. 37 PARTES PRINCIPALES DE UN MÓDULO FOTOVOLTAICO.	50
FIG. 38 CAMPO FOTOVOLTAICO.	51
FIG. 39 CONEXIÓN DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EN SERIE.....	52
FIG. 40 CONEXIÓN DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EN PARALELO.....	52
FIG. 41 BATERÍAS.....	53
FIG. 42 REACCIÓN ELECTROQUÍMICA DE CARGA Y DESCARGA DE LA BATERÍA.	54
FIG. 43 REGULADOR/UBICACIÓN DEL REGULADOR EN EL ESQUEMA DE CONEXIÓN DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA.	55
FIG. 44 ESQUEMA DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA CON CONVERTIDOR CC/CC.....	56
FIG. 45 CURVA DE RENDIMIENTO DE UN INVERSOR.	57
FIG. 46 MEDIDOR O CONTADOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA, INSTALACIÓN CONECTADA A RED.	59
FIG. 47 POSICIONES DEL SOL AL AMANECER, MEDIODÍA Y OCASO EN EL HEMISFERIO NORTE EN LAS DIFERENTES ESTACIONES O SOLSTICIOS.	61
FIG. 48 DISTANCIA ENTRE PANELES, MÍNIMA Y MÁXIMA PARA LA CIUDAD DE MÉXICO.....	63
FIG. 49 INSTALACIÓN CON CARGAS DE CONSUMO EN CORRIENTE CONTINUA, Y REGULADOR DE CARGA/DESCARGA.	65
FIG. 50 INSTALACIÓN CON CARGAS DE CONSUMO EN CORRIENTE ALTERNA, Y REGULADOR DE CARGA/DESCARGA.	66
FIG. 51 INSTALACIÓN CON CARGAS DE CONSUMO EN CORRIENTE ALTERNA, Y REGULADOR DE CARGA.	66
FIG. 52 INSTALACIÓN CON CARGAS DE CONSUMO EN CORRIENTE CONTINUA Y CORRIENTE ALTERNA, Y REGULADOR DE CARGA/DESCARGA.....	67
FIG. 53 INSTALACIÓN CON CARGAS DE CONSUMO EN CORRIENTE CONTINUA Y CORRIENTE ALTERNA, Y REGULADOR DE CARGA/DESCARGA.....	67
FIG. 54 ESQUEMAS BÁSICOS DE BOMBEO FOTOVOLTAICO.	71
FIG. 55 ESQUEMA SIMPLIFICADO DE INSTALACIÓN DE CONEXIÓN A RED.....	74
FIG. 56 UBICACIÓN DE LA DELEGACIÓN GUSTAVO A. MADERO.	77
FIG. 57 UBICACIÓN DE LA VIVIENDA DEL ESTUDIO DE CASO EN GOOGLE EARTH.	82
FIG. 58 INGRESO DE DATOS INICIALES SOFTWARE PVSYST 5.	83
FIG. 59 INGRESO DE DATOS GEOGRÁFICOS SOFTWARE PVSYST 5.	83
FIG. 60 MAPA DE HUSOS HORARIOS DEL MUNDO.	84
FIG. 61 TRAYECTORIA SOLAR EN COORDENADAS POLARES.....	88
FIG. 62 TRAYECTORIA SOLAR EN COORDENADAS CARTESIANAS.....	89



FIG. 63 INCLINACIÓN Y ORIENTACIÓN ÓPTIMAS PARA EL ESTUDIO DE CASO.	90
FIG. 64 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA (INCLINACIÓN, ORIENTACIÓN, ÁREA ACTIVA).	92
FIG. 65 ÁREA ACTIVA APROXIMADA (ÁREA OCUPADA POR LOS PANELES SOLARES).	93
FIG. 66 GRÁFICAS DE ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN, SISTEMA FUNCIONAL TODO EL AÑO.	94
FIG. 67 LÍNEAS DE SOMBREADO EN LA TRAYECTORIA DEL SOL.	95
FIG. 68 SELECCIÓN DE LAS CONDICIONES DEL SISTEMA O INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.	96
FIG. 69 RESULTADOS FINALES DEL PRE DIMENSIONAMIENTO.	98
FIG. 70 SALIDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL PRE DIMENSIONAMIENTO POR MES EN KWH/DÍA.	99
FIG. 71 ÁREA ACTIVA FINAL.	102
FIG. 72 RESULTADOS FINALES.	103
FIG. 73 SALIDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA FINAL POR MES EN KWH/DÍA.	104
FIG. 74 INVERSOR SELECCIONADO MODELO: EXELTECH XP-1100-24.	106
FIG. 75 MEDIDOR SELECCIONADO MODELO: GE KILOWATT HOUR METER W/ EZ-READ CYCLOMETER.	108
FIG. 76 PRESUPUESTO DETALLADO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.	111
FIG. 77 GRÁFICA COMPARATIVA DE COSTOS, 1° MÉTODO DE PROYECCIÓN A 10 AÑOS.	113
FIG. 78 PROYECCIÓN DE COSTOS DEL SERVICIO ELÉCTRICO COMERCIAL A 10 AÑOS.	118
FIG. 79 GRÁFICA COMPARATIVA DE COSTOS, 2° MÉTODO DE PROYECCIÓN A 10 AÑOS.	119
FIG. 80 GRÁFICA COMPARATIVA DE COSTOS, 1° MÉTODO DE PROYECCIÓN A 30 AÑOS.	120
FIG. 81 PROYECCIÓN DE COSTOS DEL SERVICIO ELÉCTRICO COMERCIAL, 20 AÑOS RESTANTES.	127
FIG. 82 LINTERNA O LÁMPARA SOLAR DISEÑADA POR WADONGO EVANS.	130
FIG. 83 LÁMPARAS/LINTERNAS SOLARES COMERCIALES EXTRANJERAS.	130
FIG. 84 LED, CON RESISTOR Y CIRCUITO INCLUIDO.	131
FIG. 85 ESQUEMA DEL CIRCUITO DE LA LINTERNA SOLAR.	133
FIG. 86 DISEÑO DEL CIRCUITO DE LA LÁMPARA SOLAR.	134
FIG. 87 LOCALIZACIÓN DEL MULTÍMETRO EN EL CIRCUITO.	135
FIG. 88 CIRCUITO APAGADO ACUMULANDO ENERGÍA CON LUZ SOLAR SIMULADA.	135
FIG. 89 FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO CON LA CARGA DE LA PILA O BATERÍA.	136
FIG. 90 PAÍSES DEL MUNDO, COLOREADOS SEGÚN EL TIPO DE ENCHUFE PRINCIPALES EN USO.	XVII
FIG. 91 TIPOS DE ENCHUFE.	XVIII
FIG. 92 MAPA MUNDIAL INDICANDO LA TENSIÓN ELÉCTRICA Y LA FRECUENCIA USADA EN CADA PAÍS.	XIX



RESUMEN (ABSTRACT)

RESUMEN

Todo proyecto propuesto que trate acerca de la introducción de una energía renovable, conlleva una gran importancia en el aspecto ambiental social y económico, ya que primero ayuda a cambiar parcial o totalmente la utilización de fuentes de energía eléctrica contaminantes, instruyendo acerca de cómo (teoría y cálculo) instalar una fuente de energía renovable, en este caso en una vivienda. Además la electricidad puede substituir los servicios de gas que necesita una vivienda, es decir ya existen estufas eléctricas, calentadores eléctricos, etc. En segundo término este proyecto informa ampliamente sobre las diferentes energías renovables (ER), para que el lector las conozca, y vea que son realmente simples en funcionamiento y relativamente fáciles de emplear, cambiando a su vez la mentalidad de rechazo hacia las mismas, debido a que el ser humano acepta las nuevas tecnologías siempre y cuando se demuestre su éxito. Finalmente se desarrolla un instructivo detallado de un prototipo, de uso casero a base de energías renovables, ya sea un ventilador o una linterna, ambos solares, para motivar y acercar al mexicano a las ER.

Con este proyecto en específico, se pretende emplear la energía renovable pertinente para la población mexicana, de una vivienda, ubicada en la localidad, San Juan de Aragón, 4ª y 5ª Secciones, en la Delegación Gustavo A. Madero, México, D.F., (**ANEXO A**) además de realizar el presupuesto que conllevaría adoptar dicha energía renovable y compararlo con el servicio eléctrico comercial en costos principalmente.

CURRÍCULUM VITAE DEL AUTOR

El autor Ingeniero Civil Ángel Jesús González González estudio su licenciatura en el Instituto Politécnico Nacional en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco, su correo electrónico es: agonzalezg0910@ipn.mx y su domicilio está ubicado en la Calle 619 n° 82 Colonia San Juan de Aragón 4ª y 5ª Secciones Código Postal: 07979 en la Delegación Gustavo A. Madero, México Distrito Federal.



ABSTRACT

All proposed project that it tries about the introduction of a renewable energy bears a great importance in the environmental, social and economic aspect, first it helps to change partial or totally the use of polluting electric power sources, instructing about how (theory and calculation) to install a source of renewable energy, in this case in a house. The electricity can also substitute the services of gas which needs a home I mean there are already electric stoves, and electric heaters, etc. In second term this project informs thoroughly about the different renewable energy (RE), so that the reader can know them, and sees that they are really simple in operation and relatively easy of use, changing the mentality of rejection in turn toward the same ones, because the human accept the new technologies only if its success is demonstrated. Finally a detailed instructive of a prototype will be developed, with the help of renewable energy, maybe a fan or a lantern, both based in solar energy, this to motivate and to bring near even more to the Mexican to those RE.

With this project in specific we are looking for to use the most suitable renewable energy for the Mexican population, of a house, located in the town, San Juan Aragon 4th and 5th Sections, in the Delegation Gustavo A. Madero, Mexico City, (**ANNEX A**) besides to calculate the budget that would bear to adopt such renewable energy, and to compare it with the government electric service in costs mainly.

CURRÍCULUM VITAE AUTHOR

The author Civil Engineer Angel Jesus Gonzalez Gonzalez studied his degree in the National Polytechnic Institute in the Superior School of Engineering and Architecture Zacatenco Unit, his electronic mail is: agonzalezg0910@ipn.mx and his home is located in the Street 619 n° 82 Colony San Juan Aragon 4th and 5th Sections, Postal Code: 07979 in the Delegation Gustavo A. Madero, Mexico City.



INTRODUCCIÓN

Hoy en día, las energías renovables (ER) (solar, eólica, geotérmica, mareomotriz etc.), han tomado gran importancia debido al cambio climático (CC), ya que reducen significativamente las emisiones a la atmosfera de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) que originan el calentamiento global y que son producto de la combustión de fósiles, sin embargo no son empleadas como se debiere, y esto es porque el paso que debe tomar el hombre de la utilización de petróleo primordialmente, a la utilización de las ER es sumamente costoso en especial para los países y particulares que dependen de éste en su economía para seguir siendo competitivos y poderosos a nivel económico, y que es el caso de México, citando un documental televisado cuyo tema era el petróleo y sus principales dueños que fue transmitido en el año 2009 a través del canal ISAT¹ “el petróleo vale más que toda la sangre de la gente del mundo”, esto debe cambiar.

Es fácil desalentarse aún para un ambientalista pensando que al emplear las ER no se logrará un cambio climático favorable lo suficientemente rápido para poder apreciarlo en nuestra generación, pero ese es un pensamiento sumamente egoísta y contradictorio con la definición del ser humano como especie racional. Y sin embargo, en nuestra generación (finales del siglo XX inicios del siglo XXI), ya podemos ver los efectos del cambio climático originados por generaciones pasadas y actuales, ejemplos:

- El Ártico tendrá veranos sin hielo probablemente dentro de una década, es decir en 2020 (*Figura 1*) (GOODALL, 2008).

¹ I. SAT es un canal de televisión por cable con sede en Argentina, especializado en cine independiente, música, documentales y series, y orientado al público joven-adulto (18 a 35 años) y urbano.



Fig. 1 Deshielo atípico del Ártico.
Fuente: *National Geographic Channel*

- Es probable que los mayores ríos se sequen durante varios meses al año. Durante la sequía de 2010, el río Amazonas mostró su nivel más bajo en medio siglo, lo que produjo que varios afluentes terminaran completamente secos y paralelamente, ocurrió la mayor disminución de la vegetación verde desde 2005, que es un valioso freno para el cambio climático, y que pasa a convertirse en una de las principales fuentes de Gases de Efecto Invernadero (GEI), es decir al producirse una sequía severa los árboles mueren y liberan una gran cantidad de dióxido de carbono (CO_2) durante el proceso de putrefacción (*Figura 2*) (NASA², 2011).

² NASA son las siglas en Idioma inglés para la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (*National Aeronautics and Space Administration*) de los Estados Unidos, que es la agencia gubernamental responsable de los programas espaciales.



Fig. 2 Amazonas sequía record 2010 (NASA).

Fuente: Diario Clarín; Sección: Sociedad y Medio Ambiente

- La biodiversidad está decayendo a una proporción acelerada (GOODALL, 2008).
- Los rendimientos de las cosechas se están alentando por la sequedad y salinidad crecientes, además las temperaturas cada vez mayores afectan a las plantas más vulnerables (GOODALL, 2008).

La energía obtenida de las grandes hidroeléctricas debe también ser sustituida, una solución para ello son las mini hidroeléctricas; es decir, presas a menor escala o por ER como la solar o la eólica, esto porque las presas de gran tamaño afectan al medio ambiente de manera significativa, evitando que las escorrentías que llevan nutrientes importantes a través de sus cauces sean distribuidas adecuadamente en todo su trayecto y finalmente desemboquen en el mar, además de que se inundan zonas donde habita flora y fauna diversa y por consiguiente esta desaparece del sitio, el ejemplo más reciente y claro de esto es el de la presa Tres Gargantas en China y su relación directa con la extinción del baiji, también llamado delfín chino de río (*Lipotes vexillifer*), declarado extinto una vez terminada la presa en 2006, visto de nuevo en 2007, y por último nuevamente declarado extinto en los meses de Mayo-Junio del 2008 (Figura 3) (WALES, 2009).



Fig. 3 Baiji Apodado "la diosa del Yangtzé".
Fuente: www.animalesenpeligro.info

Es verdad que las ER, se encuentran en lo que podríamos llamar su infancia, pero también debemos admitir por esa misma razón su gran potencial de crecer, dado que a su vez pueden generar miles de fuentes de trabajo (en especial la ER eólica y solar), además de crear un abasto eléctrico mundial sustentable, y lo más importante reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera, como podemos ver los beneficios de utilizar las ER son diversos (GOODALL, 2008).

Para lograr una mejor comprensión del término sustentable o sustentabilidad a continuación se definirá dicho concepto basándonos en el Informe Brundtland (*Our Common Future*, 1987), debido a que en este último fue formalizado por primera vez el término, fruto de los trabajos de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas y de su autora principal Gro Harlem Brundtland. La definición de sustentabilidad es entonces la descripción del cómo los sistemas del medio ambiente se mantienen diversos y productivos con el transcurso del tiempo y se refiere además al equilibrio de una especie con los recursos de su entorno. Por extensión se aplica a la explotación de un recurso por debajo del límite de renovación del mismo. Y es por ello que es tan importante en lo que refiere a energías renovables, debido a que estas son inherentemente sustentables.

Los capítulos siguientes describen cuales son las ER más comunes actualmente, así como información importante de cada una, con el objeto de interesar al lector en todas, además demuestran que la implementación de las ER en una vivienda es relativamente fácil, inclusive con un sencillo prototipo de uso casero como es una linterna solar.



Se hace la aclaración que en algunos capítulos la fuente de origen de imágenes y cuadros es de autoría propia, para poder diferenciar dados casos se incluye el símbolo “FGRT11” posterior a la indicación de la fuente, es decir Fuente: FGRT11.



JUSTIFICACIÓN

Es importante, para evolucionar como civilización obtener los recursos que necesitamos de la naturaleza de forma sustentable, y por tanto que afecte lo menos posible a la misma. Al ser transformados los recursos finitos como son petróleo, carbón y gas natural, en energía eléctrica y calorífica, se corrompe el concepto de sustentabilidad y se incluyen Gases de Efecto Invernadero (GEI) que alteran la composición y temperatura de la atmósfera, y por tanto disminuye la calidad de vida para todos los seres vivos que habitan el planeta Tierra.

Los casos más recientes y que no podemos ignorar, que ejemplifican el porqué, las ER deben ser la principal fuente de energía eléctrica, solo van en aumento. Con espíritu de solidaridad y con un profundo pésame, el ejemplo a mencionar es el de Japón que en Marzo de 2011 después de sufrir el mayor terremoto registrado en su historia y el subsecuente tsunami³, tuvo serios problemas en sus plantas nucleares, y aunque su respuesta fue inmediata y adecuada, la radiación expelida estará presente en todo el planeta, y especialmente en un radio de 20 km a la planta nuclear de Fukushima, contaminando a las especies de flora y fauna que habitan cerca de ella, originando casos de cáncer e inclusive mutaciones, además de que el agua utilizada, para evitar el sobrecalentamiento del reactor, fue vertida en el océano pacífico sin ningún control (*Figura 4*).



Fig. 4 Vertido de agua en la central nuclear de Fukushima.

Fuente: Radio Programas del Perú (RPP) Noticias; Sección: Internacional

³ Tsunami es una palabra japonesa (tsu (津): 'puerto' o 'bahía', y nami (波): 'ola'; literalmente significa 'ola de puerto') que se refiere a maremoto.

El otro caso de consecuencias catastróficas fue el derrame petrolero, originado por una plataforma de la *British Petroleum* cerca del Golfo de México en Abril del 2010, el cual también tendrá graves repercusiones para el medio ambiente (sobre todo marino), además de que el petróleo vertido en el Golfo de México permanecerá en gran medida por más de 40 años según especialistas (*Figura 5*).



Fig. 5 Petróleo derramado en el Golfo de México por la *British Petroleum* (BP).

Fuente: www.cubadebate.cu; Sección: Noticias

Es un hecho, si las energías renovables son aplicadas en todo México, y el mundo, inevitablemente existirá un desarrollo económico, además de un importante avance social, y por supuesto habrá innumerables beneficios para el medio ambiente (RAMIRO, 2004).

Con el tiempo el ser humano indudablemente terminará utilizando las energías renovables, la razón es muy sencilla las demás fuentes de energía, en especial las que provienen de combustibles fósiles, se agotarán en un periodo de tiempo corto, comparado, con las energías renovables que están supuestas a durar miles o millones de años (excepto biomasa), cabe mencionar que esperar a cambiar las fuentes de energía contaminantes por las renovables hasta que las primeras se agoten es actuar de manera dolosa e irresponsable con respecto al medio ambiente ya que las fuentes de energía fósil crean problemas ambientales serios, el ejemplo más preocupante y comúnmente mencionado, es el calentamiento solar que propicia el cambio climático en el cual ciertos gases radiativos (CO_2 , CH_4 , N_2O)⁴ (ESTUDIO, 2010), no permiten que la radiación infrarroja emitida por la Tierra sea liberada al espacio de manera regular, lo que ha aumentado la

⁴ CO_2 (dióxido de carbono), CH_4 (metano) y N_2O (óxido de nitroso).



temperatura del planeta gradualmente, no está de más mencionar que 6 °C menos ó 6 °C más definen si el planeta puede albergar vida en la superficie terrestre o simplemente no. Otros problemas que causa la producción de energía contaminante son la lluvia ácida, los residuos radiactivos, la contaminación atmosférica y a veces el efecto invernadero inversión térmica. Las energías renovables podrían solucionar muchos de estos problemas ambientales, además de cubrir un tercio del consumo de electricidad y reducir las emisiones de dióxido de carbono en un porcentaje importante.

La cuestión económica (que será desglosada en este proyecto), la desinformación y el desinterés, ya no son una excusa aceptable para frenar la utilización de las energías renovables, y cuando menos este trabajo debe informar e interesar al mexicano sobre este tema, ya que a fin de cuentas ello es en beneficio propio del ser humano y de su medio ambiente.

Hoy en día las energías renovables son ampliamente utilizadas en países desarrollados, con resultados óptimos y por supuesto favorables; es imprudente y despreciable que solo imitemos los vicios de esos países y no todos sus adelantos en beneficio de nuestro planeta.

La localidad de San Juan de Aragón, 4ª y 5ª Secciones, en la Delegación Gustavo A. Madero, México, D.F., fue seleccionada para llevar a cabo la instalación de la energía renovable que se elija, debido a su estatus social promedio, ya que en esta zona la población se clasifica económicamente como media, también debido a su estabilidad climática que obedece a su altitud y latitud, que evita que exista nieve o que sea sumamente atípica en esta zona, ya que afectaría el proceso de obtención de la energía solar, de ser ésta la ER seleccionada para la instalación eléctrica, además la zona fue elegida por su ubicación cercana al centro de la capital mexicana, y la facilidad de obtención de datos y recursos acerca de las energías renovables, en general se buscó que el lugar seleccionado fuese accesible y el promedio de una vivienda mexicana.

Es importante reconocer que los sistemas generadores de ER pueden tener limitaciones, como por ejemplo el no funcionar en la noche caso de los sistemas a base de ER solar, e inclusive ser insuficientes para abastecer de electricidad a la vivienda seleccionada, debido a las características propias de la misma, por ello se debe sustituir por el momento solo parcialmente el servicio eléctrico comercial, por la ER seleccionada, esto obedece a que si llegase a fallar la misma el servicio eléctrico no sea interrumpido.





OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar la propuesta de la energía renovable pertinente para una casa habitación ubicada en la localidad San Juan de Aragón, 4ª y 5ª Secciones, en la Delegación Gustavo A. Madero, México, D.F., (**ANEXO A**) en sustitución parcial o total del servicio eléctrico de la red pública.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Investigar y proporcionar información relacionada con las diferentes energías renovables, en qué casos se usa cada una, como funcionan, todo de forma clara y simple, así como describir ejemplos de aplicación práctica.

Estimar el presupuesto que conllevaría la implementación de la energía renovable seleccionada en la casa habitación, a corto y largo plazos.

Hacer prototipos de utilización diaria tales como lámparas o ventiladores que utilicen las energías renovables y que sean fáciles y económicos de reproducir, incluyendo un instructivo detallado.





MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO 1. LAS ENERGÍAS RENOVABLES

1.1. DEFINICIÓN

Se denomina **energía renovable** o alternativa a la energía que se obtiene de fuentes desemejantes a los combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas natural) y radioactivos (comúnmente uranio-235 o $^{235}\text{U}^5$). Proviene principalmente del sol y de la dinámica propia del planeta y son formas de energía tan abundantes en la Tierra que perdurarán por miles o millones de años, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen y otras porque son capaces de regenerarse rápidamente por medios naturales.

Otra definición nos indica que una fuente de energía alternativa es aquella que puede suplir a las energías o fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante ó por su posibilidad de renovación (WALES, 2011).

1.2. CLASIFICACIÓN

Las energías renovables se dividen principalmente en:

- Solar directa
- Del viento o eólica
- Mini hidráulica
- Mareomotriz y undimotriz
- Biomasa
- Geotérmica

Sin embargo la energía solar se manifiesta de diversas formas incluyendo algunas de las anteriores divisiones, y su aplicación ha sido fundamental para el desarrollo de la humanidad. Algunas de estas formas son: energía eólica, hidráulica y biomasa, ya que la energía mareomotriz de oleaje proviene en última instancia de la energía eólica y todas son energías renovables (ER) provenientes del sol (GOMEZ, 2010). También existen otro tipo de energías renovables, que no tienen origen en la energía solar que incide en el planeta, como son la energía mareomotriz de mareas y la energía geotérmica.

⁵El ^{235}U se utiliza como combustible en centrales nucleares y en algunos diseños de armamento nuclear.



Energía solar directa.

La energía solar que recibe nuestro planeta es resultado de un proceso de fusión nuclear⁶ que tiene lugar en el interior del Sol. Esta energía llega a la Tierra a través del espacio en *Quanta*⁷ de energía llamada fotones⁸, que interactúan con la atmósfera, hidrósfera y la superficie terrestres. De toda la energía que produce ese proceso nuestro planeta recibe menos de una milmillonésima parte. Esa energía, que en ocho minutos recorre los más de 145 millones de kilómetros que separan al Sol de la Tierra resulta, sin embargo, una cantidad enorme en proporción al tamaño de nuestro planeta.

La energía solar se manifiesta en un espectro que se compone de radiación ultravioleta, visible e infrarroja. Al llegar a la Tierra, pierde primero gran parte de su radiación ultravioleta, que es absorbida por una capa de ozono natural, ubicada en la estratosfera (*Figura 6*). En la atmósfera, la radiación infrarroja se pierde ya sea por dispersión al reflejarse en las partículas que en ella se presentan, o al llegar a las nubes o zonas congeladas del planeta (principalmente la Antártica y el Ártico), ambas con gran capacidad de albedo⁹ (*Figura 7*), las nubes por ejemplo, son capaces de reflejar hasta un 90% de la radiación solar que a ellas llega, mientras que las zonas congeladas reflejan hasta el 95% de la radiación solar (FARIZANO, 2006). El resto llega a la superficie, ya sea de manera directa o indirectamente como reflejo de las nubes y partículas en la atmósfera.

⁶ En física nuclear y química nuclear, la fusión nuclear es el proceso por el cual varios núcleos atómicos de carga similar se unen para formar un núcleo más pesado. Se acompaña de la liberación o absorción de una cantidad enorme de energía.

⁷ En física, el término cuanto o cuantío (del latín Quantum, plural *Quanta*, que representa una cantidad de algo) denotaba en la física cuántica primitiva tanto el valor mínimo que puede tomar una determinada magnitud en un sistema físico, como la mínima variación posible de este parámetro al pasar de un estado separado a otro.

⁸ En física moderna, el fotón es la partícula elemental responsable de las manifestaciones cuánticas del fenómeno electromagnético. Es la partícula portadora de todas las formas de radiación electromagnética. Incluyendo a los rayos gamma, los rayos X, la luz ultravioleta, la luz visible (espectro electromagnético), la luz infrarroja, las microondas, y las ondas de radio.

⁹ El **albedo** es la relación, expresada en porcentaje, de la radiación que cualquier superficie refleja sobre la radiación que incide sobre la misma.

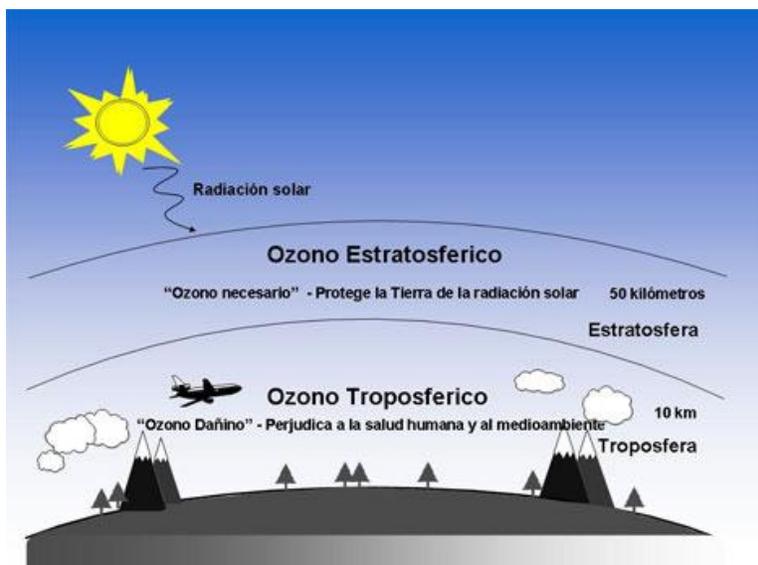


Fig. 6 Capa de ozono.

Fuente: bahiablanca.gov.ar; Indicador de la Calidad del Aire

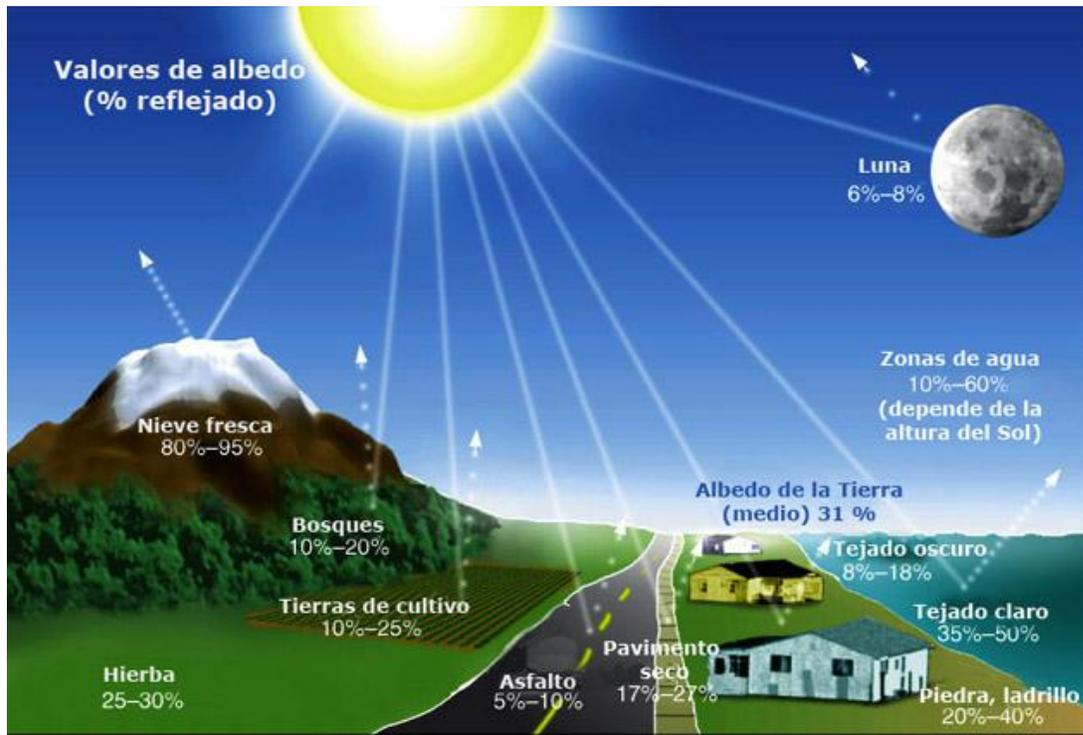


Fig. 7 Diferentes porcentajes de albedo.

Fuente: www.laalertaverde.com; Publicado por Julio Báez

La radiación solar que llega a la superficie terrestre se puede transformar en electricidad (sistema fotovoltaico), o en energía calorífica (sistema térmico), esta última, a su vez, puede ser utilizada directamente, o para producir vapor y generar electricidad (MAMANI, 2009).

Sistemas fotovoltaicos.

Las celdas fotovoltaicas son placas fabricadas principalmente de silicio. Cuando al silicio se le añaden cantidades relativamente pequeñas de ciertos materiales con características muy particulares, obtiene propiedades eléctricas únicas en presencia de luz solar: los electrones son excitados por los fotones asociados a la luz y se mueven a través del silicio produciendo una corriente eléctrica (intensidad); este efecto es conocido como fotovoltaico (*Figura 8*). La eficiencia de conversión de estos sistemas es de alrededor de 15%, por lo que un metro

cuadrado puede proveer 150 Watts¹⁰, potencia suficiente para operar un televisor mediano.

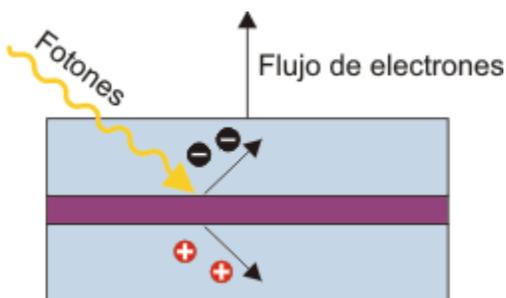


Fig. 8 Efecto fotovoltaico.

Fuente: www.textoscientificos.com; Celdas Solares

Las celdas fotovoltaicas, para poder proveer de energía eléctrica en las noches, requieren de baterías donde se acumula la energía eléctrica generada durante el día, lo cual encarece su aplicación. Sin embargo, en la actualidad se están desarrollando sistemas fotovoltaicos conectados directamente a la red eléctrica, evitando así el uso de baterías, por lo que la energía que generan se usa de inmediato por el propio usuario que la genera, con la posibilidad de vender los excedentes de electricidad a las compañías generadoras (GOMEZ, 2010).

Recubrimiento nanotecnológico solar.

Son capas delgadas fotovoltaicas o solares de última generación consisten en una tecnología fotovoltaica compuesta en las que se mezclan conjuntamente nano partículas con polímeros para fabricar una capa simple multi-espectral (*Figura 9*), el material más importante es la tinta conductora CIGS compuesta principalmente por cobre (Cu), indio (In), galio (Ga) y selenio (Se) cuya fórmula química final es $CuInGaSe_2$. Las casas, los coches o la ropa podrían producir su propia electricidad gracias a su tinte elaborado con nano-materiales que aprovechan la energía del sol. Ejemplos: viviendas revestidas de una pintura que autoabastece de energía solar a sus inquilinos, ropa coloreada con un tinte que recarga el teléfono móvil y el reproductor de música de su usuario. Cabe mencionar que se podrían fabricar impresoras caseras para crear paneles solares domésticos con este tipo de tecnología (LORENTE, 2008).

¹⁰ El vatio (en inglés: watt) es la unidad de potencia del Sistema Internacional de Unidades. Su símbolo es W.



Fig. 9 Láminas Nano-solares.

Fuente: FGRT11

Varios expertos en nanotecnología de todo el mundo investigan para que sea realidad en un futuro cercano. Cualquier superficie podría ser así utilizada para generar electricidad mientras brilla el sol, lo que supondría un espectacular progreso de este tipo de energía renovable. Basadas en esta idea, y la tecnología multi-unión, han sido usadas en las misiones a Marte que ha llevado a cabo la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*, Estados Unidos).

Entre las empresas que se encuentran trabajando en esta cuarta generación destacan: Xsunx, Konarka Technologies Inc., Nano-solar, Dyesol y Nanosys (WALES, 2008 A.).

Sistemas solares térmicos.

Los sistemas solares térmicos pueden clasificarse en *planos*; y de *concentración o enfoque*. Los *sistemas solares planos* (Figura 10), o colectores solares planos, son dispositivos que se calientan al ser expuestos a la radiación solar y que transmiten el calor a un fluido. Con el colector solar plano se pueden calentar fluidos a temperaturas de hasta 200°C (para el caso de sistemas de tubos evacuados) pero, en general, se aprovecha para calentar hasta los 75°C .



Fig. 10 Sistemas solares térmicos planos.
Fuente: FGRT11

Los sistemas solares de concentración (Figura 11) son aquellos que funcionan concentrando la radiación solar directa en un área focal, pudiéndose ubicar ésta alrededor de un punto o a lo largo de una línea. Este conjunto de dispositivos (paneles solares o helióstatos¹¹), requiere de procedimientos o mecanismos de seguimiento, ya que la línea de incidencia solar, varía durante el día y durante el año. Estos sistemas pueden lograr temperaturas de varios centenares de grados Celsius y en casos especiales hasta los miles de grados. Con estos sistemas de concentración, también se puede obtener energía eléctrica reflejando los rayos hacia una torre, donde la alta temperatura produce vapor de agua que moverá una turbina para producir electricidad.

¹¹ Un heliostato o helióstato (del griego *helios*, que significa sol, y *stat*, que significa estacionario), es un aparato que incluye un espejo, usualmente un espejo curvo o plano, que gira siguiendo la luz solar, y a su vez la refleja a un determinado objetivo.

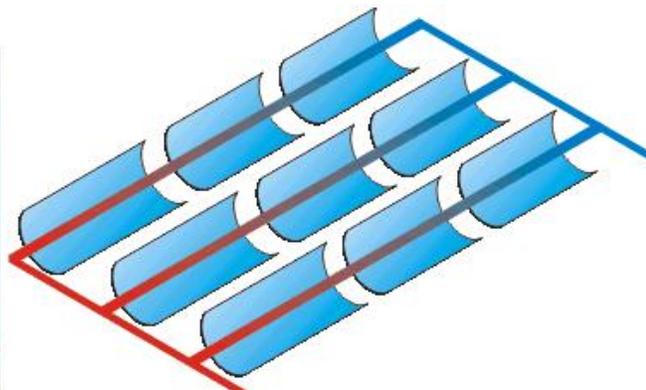


Fig. 11 Sistemas solares térmicos de concentración o enfoque.
Fuente: FGRT11

Hay que señalar la importancia de aprovechar de una forma pasiva las cualidades tanto climáticas como lumínicas de la radiación solar, para el acondicionamiento de espacios, con una visión arquitectónica y constructiva más respetuosa con el medio ambiente (y a la vez más inteligente), con la que se logrará ahorrar gran cantidad de energía eléctrica, que usualmente es utilizada, si no se cuenta con una buena iluminación durante el día.

Energía del viento o eólica.

Los vientos ocurren por diferencias de presión generadas por un calentamiento no uniforme de la atmósfera terrestre, desplazándose grandes masas de aire de las zonas de alta presión a las de baja (*Figura 12*).



Fig. 12 Desplazamiento natural del aire.
Fuente: MetEd; University Corporation for Atmospheric Research's (UCAR's)

Aproximadamente el 2% del calor del Sol que llega a la Tierra se convierte en viento, pero sólo una fracción muy pequeña puede ser aprovechada, ya que buena parte de estos vientos ocurre a grandes alturas o sobre los océanos, mar adentro. Además, se requieren condiciones de intensidad y regularidad en el régimen de vientos para poder aprovecharlos. Se considera que vientos con velocidades promedio entre 5.0 y 12.5 metros por segundo son los aprovechables.

El viento contiene energía cinética¹² (de las masas de aire en movimiento), que puede convertirse en energía mecánica o eléctrica por medio de aero-turbinas, las cuales se componen por un arreglo de aspas, generador y torre, principalmente. Las aero-turbinas pueden ser clasificadas, por la posición de su eje, en verticales y horizontales *figuras 13 y 14* respectivamente (OPEX, 2011).

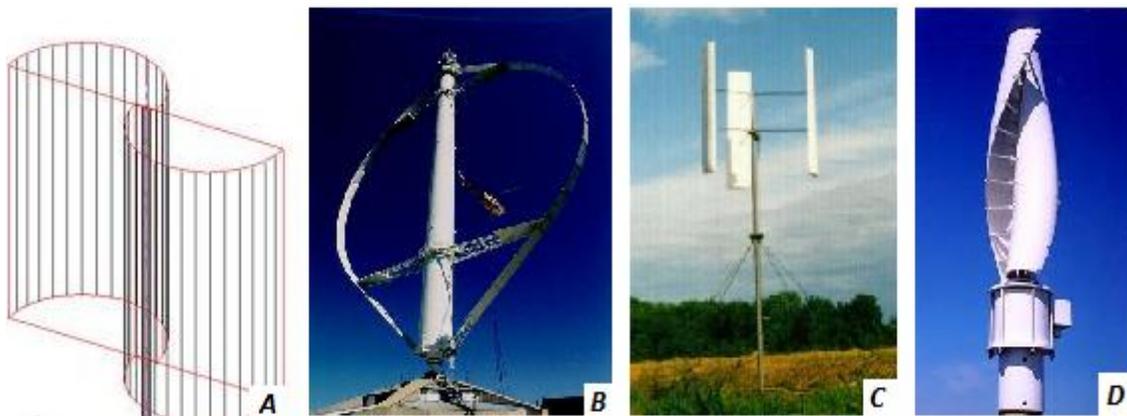


Fig. 13 Aero-turbinas verticales (A. Tipo Savonius, B. Tipo Darrieus, C. Tipo Giromill, D. Tipo Windside).

Fuente: (OPEX, 2011)

¹² La energía cinética de un cuerpo es una energía que surge en el fenómeno del movimiento. Está definida como *el trabajo necesario para acelerar un cuerpo de una masa dada desde el reposo hasta la velocidad que posee.*



Fig. 14 Aero-turbinas horizontales (A. Tipo Tripala, B. Tipo Bipala, C. Tipo Monopala, D. Tipo Torre de Celosía¹³, E. Tipo Torre Tubular).

Fuente: (OPEX, 2011)

De manera muy general, con un aerogenerador cuyas aspas tienen un diámetro de 40 metros y sujeto a vientos con velocidad promedio de 8 metros por segundo, se pueden tener 600 Kw¹⁴ (kilowatt) de capacidad, lo cual es suficiente para proveer de electricidad a un conjunto habitacional de 200 departamentos (GOMEZ, 2010).

Hidráulica.

La energía que llega del sol da lugar, entre otros fenómenos, a la evaporación del agua contenida sobre su superficie, principalmente en los océanos. Esta humedad se acumula en nubes que viajan largas distancias y se deposita en forma de lluvia sobre montañas, muchas alejadas del mar. El agua, acumulada en corrientes y por gravedad, busca de nuevo el mar, formando ríos. Este caudal, que se puede manifestar en grandes caídas o en muchas corrientes, es la fuente de la energía hidroeléctrica (*Figura 15*).

¹³En ingeniería estructural, una celosía es una estructura reticular de barras rectas interconectadas en nudos formando triángulos planos (en celosías planas) o pirámides tridimensionales (en celosías espaciales). En muchos países se les conoce como armaduras o reticulados. Las barras trabajan predominantemente a compresión y tracción presentando comparativamente flexiones pequeñas.

¹⁴ El kilowatt (Kw) es igual a mil (10^3) watts. Esta unidad es típicamente usada para expresar la salida de poder en máquinas y el poder de consumo de motores eléctricos, herramientas, y calentadores entre muchas otras aplicaciones.

CICLO DEL AGUA



Fig. 15 Ciclo hidrológico, origen de la energía hidroeléctrica.

Fuente: www.aguasdecima.cl; Empresa de Servicios Sanitarios

En muchos casos, esta energía se deposita en forma potencial¹⁵ en embalses y se transforma en energía aprovechable al desplazarse hacia niveles inferiores. El agua en movimiento empuja dispositivos giratorios que la convierten en energía mecánica, o para mover generadores de electricidad. Por ejemplo, para lograr una capacidad de 3,000 Kw, que es la suficiente para satisfacer 1,000 departamentos, se requiere tener una caída de agua de 100 metros con un gasto de 3 metros cúbicos por segundo. Esto se logra ampliamente en cualquier zona montañosa del planeta con un régimen regular de lluvias.

Sin embargo se considera que este tipo de fuente de energía no es amigable con el medio ambiente, porque para poder ser producida requiere la construcción de presas y estas evitan que el agua con nutrientes y sedimentos indispensables para los ecosistemas marinos lleguen al mar, impidiendo a su vez la escorrentía natural que propicia la depuración de las aguas contaminadas, además afecta directamente a la fauna del encauce que queda atrapada y a los asentamientos humanos aledaños desplazándolos (MAMANI, 2009).

¹⁵ Es energía que mide la capacidad que tiene dicho sistema para realizar un trabajo en función exclusivamente de su posición o configuración.

Biomasa.

Las plantas acumulan energía a través de la fotosíntesis donde, alimentadas por la energía solar, separan las moléculas de bióxido de carbono, acumulando el carbono en forma de hidrocarburos y soltando el oxígeno (*Figura 16*). La eficiencia de conversión de energía solar en energía almacenada en forma de materia orgánica (a través de la fotosíntesis) es muy baja, estimándose su límite máximo en cerca de 3%, aunque algunas especies forestales en explotación comercial alcanzan eficiencias de conversión de hasta 1%.

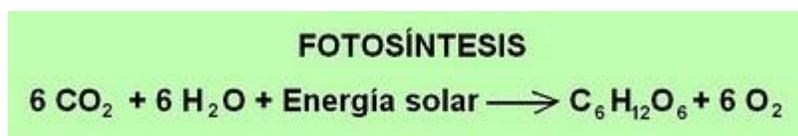


Fig. 16 Fotosíntesis, ecuación química ocurrida durante el día.
Fuente: FGRT11

Leña.

La forma más común de biocombustibles sólidos es la leña, que aún en la actualidad cubre casi 50% de las necesidades energéticas en los países en vías de desarrollo. El carbón vegetal es otra forma de biocombustible sólido, así como las *briquetas*¹⁶ (*Figura 17*) y los lechos artificiales que se fabrican aglomerando y comprimiendo astillas y pajas. También los residuos de las cosechas de granos, trátense de tallos y pajas de trigo, arroz, maíz, etc., que se pueden aprovechar para hacer funcionar pequeñas centrales eléctricas (GOMEZ, 2010).



Fig. 17 Briquetas.
Fuente: bosquenativoperu.com; Capturando CO₂

¹⁶Las briquetas o bloque sólido combustible son bio-combustibles para generar calor utilizados en estufas, chimeneas, salamandras, hornos y calderas. Están hechas de desperdicios forestales tales como el serrín, viruta, chips, ramas, restos de poda, raleo fino, etc. Los mismos son molidos, secados a un 10 % de humedad y luego se compactan para formar briquetas en forma de ladrillo o cilíndricas.



Es aún tan importante el uso de la leña como energético, que existen plantaciones de árboles de rápido crecimiento, como el eucalipto, que se denominan plantaciones energéticas, cuyo propósito es producir madera para combustible. Como referencia al potencial de la biomasa, un metro cúbico de leña es suficiente para permitir que 5 personas tengan suficiente calor para calentar agua para 108 baños de 15 minutos cada uno.

Fermentación.

Los procesos de fermentación de alcohol y su destilación son conocidos y empleados por las sociedades humanas desde la antigüedad para la producción de vinos y aguardientes. A través de este mismo proceso es posible obtener etanol, un alcohol que se emplea actualmente como combustible en la sustitución de la gasolina o mezclado con ella, y como insumo en la obtención de productos químicos (vitaminas, antibióticos, solventes y otros).

La caña de azúcar, el sorgo dulce, las frutas y la remolacha son los cultivos más fácilmente convertibles en etanol; los azúcares base de la fermentación se obtienen con pre tratamientos suaves tales como prensado, corte o lavado de los cultivos. Los procesos de fermentación tienen una eficiencia de conversión muy alta, ligeramente superior al 85%.

El uso intensivo del etanol puede ser motivado por su habilidad para sustituir a la gasolina o utilizarlo como componente oxigenante de la gasolina y antidetonante principalmente de dos maneras.

- 1.- En vehículos a gasolina (90% gasolina y 10% etanol en volumen) gasoil (E10) (*Figura 18*), esto se practica sin ninguna modificación al motor.
- 2.- Etanol como sustituto de la gasolina. Una mezcla de 85% etanol y 15% gasolina (E85) es un combustible viable para vehículos ligeros, éstos pueden operar con cualquier proporción de etanol mezclado con gasolina, teniendo como límite 85% (*Figura 18*). Algunos autobuses y camiones con la adecuada modificación a sus motores diesel, pueden operar con etanol casi puro.



Fig. 18 Bomba o surtidor de Biocombustibles, B20 (20% biodiesel), E85 (85% etanol), E10 (10% etanol).

Fuente: www.arbolesymedioambiente.es/biocombustibles.html

Un ejemplo de la aplicación del etanol lo encontramos en Brasil, donde gran parte de los automóviles queman este biocombustible mezclado con gasolina en una proporción de 60 y 40 respectivamente (GOMEZ, 2010).

Biometanización.

En el proceso de biometanización, desperdicios orgánicos o biomasa con alto contenido de humedad se alimentan a un recipiente llamado digestor biológico (*Figura 19*). Por la acción de microorganismos adecuados, la materia orgánica se transforma en biogás (una mezcla de bióxido de carbono y metano

esencialmente), que puede aprovecharse como combustible, produciéndose además lodos residuales utilizados como mejoradores de suelos o fertilizantes.

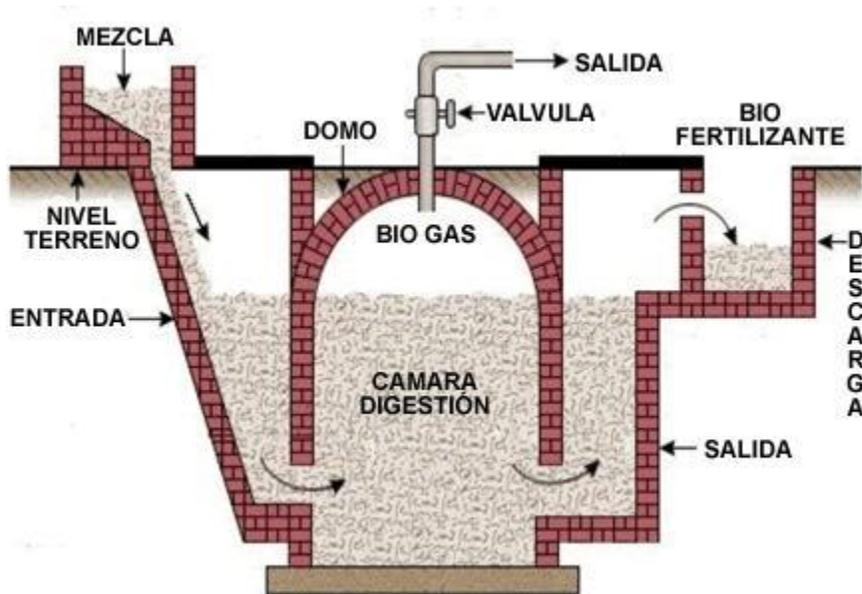


Fig. 19 Digestor biológico o Bio-digestor.
Fuente: biodigestores.org

En la provincia de Sichuan, en China, es el más claro ejemplo donde se obtiene gas a partir de estiércol.

Biogás de los rellenos sanitarios.

El biogás también se produce en rellenos sanitarios, que contienen gran proporción de desechos orgánicos húmedos, y en donde existen las condiciones adecuadas para que proliferen las bacterias anaerobias que al digerir esos desechos producen el metano y el bióxido de carbono en el interior del relleno (*Figura 20*).

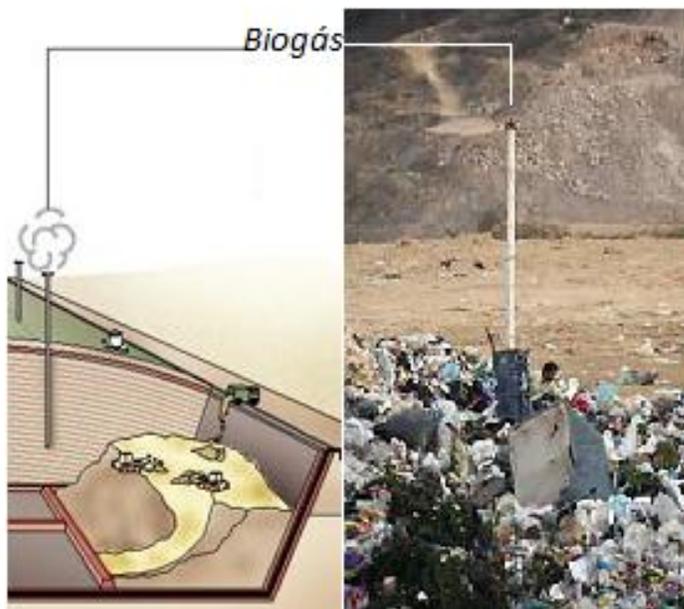


Fig. 20 Relleno sanitario, producción de biogás.
Fuente: FGRT11

Por ejemplo, el relleno sanitario Prados de la Montaña ubicado en Santa Fe en la Ciudad de México con 5.6 millones de toneladas de residuos sólidos produciría suficiente biogás para alimentar una planta de 5 MW¹⁷ (Mega watt) de capacidad para operar durante 10 años.

Energía mareomotriz y undimotriz¹⁸.

El Mar es una enorme reserva energética, por ocupar gran parte de la superficie del planeta. La energía de las mareas puede emplearse para producir electricidad. Estas plantas de energía mareomotriz desarrollan su máxima eficiencia cuando la diferencia entre las mareas alta y baja es grande, como en el estuario de Rance en Francia, donde es de 8.5 metros. Las mareas más altas del mundo, se producen en la bahía de Fundy en Canadá, donde hay una diferencia de unos 18 metros.

¹⁷ El Mega watt es igual a un millón (10⁶) watts. Muchos eventos o máquinas producen o sostienen la conversión de energía en esta balanza, incluso los relámpagos o truenos; los motores eléctricos grandes; los buques de guerra grandes como los portaaviones, cruceros y submarinos; y también en los pulsos del rendimiento de láseres muy grandes, etc.

¹⁸ La energía undimotriz también llamada energía ola motriz, es la energía producida por el movimiento de las olas mar adentro.

Se debe diferenciar entre las diversas formas de aprovechamiento de su energía: Mareas, Olas, Corrientes, Calor.

Mareas.

Se basa en el movimiento armónico de subida y bajada del agua, mediante turbinas colocadas en una presa que reciben dicho movimiento del agua. Cuando el rango (diferencia de alturas) supera los 5 metros, podemos hablar de competitividad en la producción energética, siendo esta la energía que se considera con mayor rentabilidad energética.

En el verano de 1966 se puso en marcha una planta de energía mareomotriz de 240,000 Kw en el río Rance, un estuario del canal de la Mancha, en el noroeste de Francia. La marea ascendente del río fluye a través de un dique mueve unas turbinas y luego queda retenida tras él. Cuando la marea descende, el agua atrapada se libera, atraviesa el dique y mueve de nuevo las turbinas (*Figura 21*).

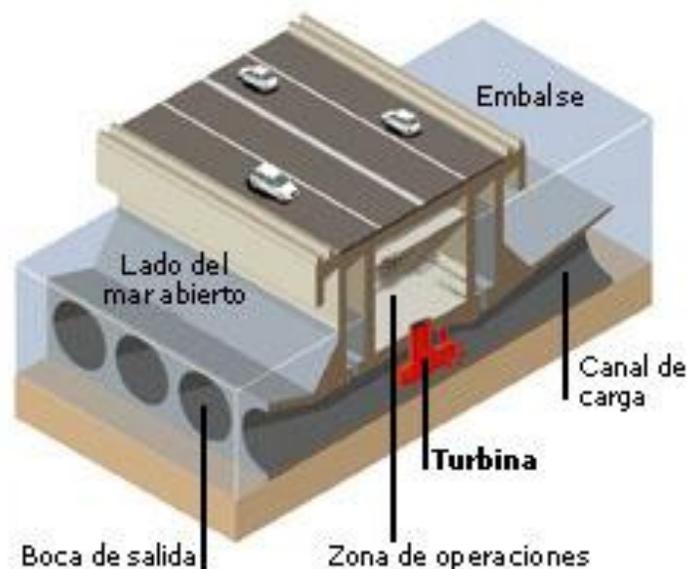


Fig. 21 Central eléctrica mareomotriz (estuario del río Rance, Francia).

Fuente: energiaelctrica.blogspot.mx

Olas (undimotriz u ola motriz).

Se trata de aprovechar a través de bombas hidráulicas, el movimiento de cuerpos oscilantes movidos por olas, o bien otro tipo de aprovechamiento, que se basa en que las olas llenan un depósito elevado, que al descargarse mueven unas turbinas hidráulicas situadas en la base.

Algunos sistemas pueden ser:

1. Un aparato anclado al fondo y con una boya unida a él con un cable. El movimiento de la boya se utiliza para mover un generador. Otra variante sería tener la maquinaria en tierra y las boyas metidas en un pozo comunicado con el mar.
2. Un aparato flotante de partes articuladas que obtiene energía del movimiento relativo entre sus partes. Como la "serpiente marina" Pelamis (*Figura 22*).



Fig. 22 Sistema generador de energía undimotriz.

Fuente: diarioecologia.com

Energía geotérmica.

Él término geotermia se refiere a la energía térmica producida en el interior de la tierra. Y esta es conducida a través del manto hacia la superficie terrestre que asciende con un flujo promedio haciéndose difuso para las aplicaciones prácticas,

dado que existen zonas anómalas en las cuales la variación de la temperatura es mayor; esto puede ocurrir en las zonas volcánicas, o en contacto entre placas corticales¹⁹. Los sistemas conectivos de agua subterránea captan dicho calor, alcanzando la superficie a través de rocas porosas o fallas geológicas.

Su aplicación práctica principal es la localización de yacimientos naturales de agua caliente, fuente de la energía geotérmica, para su uso en generación de energía eléctrica, o en calefacción.

Sus manifestaciones hidro-térmicas superficiales son, entre otras, los manantiales calientes, los géiseres y las fumarolas. Los primeros han sido usados desde la antigüedad con propósitos terapéuticos y recreativos. Los colonos escandinavos en Islandia llevaban agua desde las fuentes calientes cercanas hasta sus viviendas a través de conductos de madera (*Figura 23*).



Fig. 23 Planta de energía geotérmica. (The Blue Lagoon; Grindavik Islandia).

Fuente: patchanko.wordpress.com

¹⁹ Subdivisiones de la parte exterior del planeta, para cada una de las cuales se considera un espesor de 100 a 150 km; pueden desplazarse mutuamente mediante traslación o giros, que cambian continuamente la configuración de la parte externa de la Tierra.



1.3. APLICACIONES ESPECÍFICAS

Ya sea como energía térmica, mecánica o eléctrica, las energías renovables pueden ser útiles para muchos propósitos. A continuación, se enumeran las aplicaciones de las energías renovables técnica y económicamente posibles en la actualidad, por tipo de usuario:

Hogares

- Generar electricidad para usos múltiples (fotoceldas, nanoceldas o nanopintura y generador eólico)
- Calentar agua para los baños y la cocina (colectores solares planos)
- Calentar el agua de una alberca (colectores solares planos)
- Calentar el aire para los espacios interiores en tiempos de frío (colectores solares)
- Cocción de alimentos (biomasa y estufas solares)
- Acondicionamiento de aire (fotoceldas y enfriadores solares)

Industria

- Generar electricidad para usos múltiples (mini hidráulica, eólica, fotoceldas, nanoceldas o nanopintura)
- Pre calentamiento de agua y de otros fluidos (colectores solares planos y de concentración)
- Procesamiento de alimentos (colectores solares planos y de concentración)

Comercios y servicios

- Generar electricidad para usos múltiples (fotoceldas y generadores eólicos)
- Alimentar pequeños refrigeradores para conservación de medicinas en hospitales rurales (fotoceldas) (GOMEZ, 2010)

Municipios

- Generar electricidad para usos múltiples (mini hidráulica, eólica, fotoceldas biomasa)
- Destilación de agua en regiones aisladas junto al mar (destiladores solares)

Comunicaciones y transporte



- Señalización de carreteras (fotoceldas)
- Aplicaciones de señalización con boyas en el mar (fotoceldas)
- Sistemas de telecomunicación, tales como: estaciones repetidoras, microondas, telefonía aislada, sistemas de redes, sistemas portátiles de comunicación, etc. (fotoceldas)
- Utilización de biocombustibles a base de alcohol para el transporte (biomasa)
- Utilización de pequeños vehículos solares o híbridos (fotoceldas)

Agricultura, ganadería y pesca

- Bombeo de agua para riego (eólica, fotoceldas)
- Secado de granos, hierbas, pescado y, en general, productos perecederos (calentadores solares)
- Sistemas de desalinización y purificación de agua (calentadores solares)
- Pre calentamiento de agua y otros fluidos (calentadores solares)
- Refrigeración solar para enfriamiento y producción de hielo (refrigeración solar)





CAPÍTULO 2. EL CONTEXTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

2.1. HISTORIA Y POPULARIZACIÓN ANTE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES

Las energías renovables han constituido una parte importante de la energía utilizada por los humanos desde tiempos remotos, especialmente la solar, la eólica y la hidráulica. La navegación a vela, los molinos de viento o de agua y las disposiciones constructivas de los edificios para aprovechar la energía lumínica y en ocasiones térmica del sol, son buenos ejemplos de ello. Con el invento de la máquina de vapor por James Watt²⁰, se van abandonando estas formas de aprovechamiento, por considerarse inestables y caprichosas y se utilizan cada vez más los motores térmicos y eléctricos, cuyo funcionamiento dependía primordialmente de los combustibles fósiles²¹ (principalmente el carbón) y otras sustancias químicas, en una época en que el todavía relativamente escaso consumo, no hacía prever un agotamiento de las fuentes, y mucho menos otros problemas ambientales que más tarde se presentaron (WALES, 2011).

Hacia la década de los años 1970 las energías renovables se consideraron una alternativa a las energías tradicionales, tanto por su disponibilidad presente y futura garantizada (a diferencia de los combustibles fósiles que precisan millones de años para su formación) como por su menor impacto ambiental en el caso de las energías limpias, y por esta razón fueron llamadas *energías alternativas*. Recordemos que actualmente muchas de estas energías son una realidad, no una alternativa, por lo que el nombre de *alternativas* ya no debe emplearse.

Las energías renovables en la actualidad representan un 20% del consumo mundial de electricidad, siendo el 90% de origen hidráulico. El resto es muy marginal: biomasa 5.5%, geotérmica 1.5%, eólica 0.5% y solar 0.05%.²²

Cuando en 1973 se produjeron eventos importantes en el mercado del petróleo en el mundo, que se manifestaron en los años posteriores en un encarecimiento notable de esta fuente de energía no renovable, resurgieron las preocupaciones sobre el suministro y precio futuro de la energía. Resultado de esto, los países

²⁰ **James Watt** (Greenock, 19 de enero de 1736 - Handsworth, 25 de agosto de 1819) fue un matemático e ingeniero escocés.

²¹ Los combustibles fósiles son tres: petróleo, carbón y gas natural, y se formaron hace millones de años, a partir de restos orgánicos de plantas y animales muertos.

²² Balance Energético Mundial, estudio realizado por España en 2007.



consumidores, enfrentados a los altos costos del petróleo y a una dependencia casi total de este energético, tuvieron que modificar costumbres y buscar opciones para reducir su dependencia de fuentes no renovables.

Entre las opciones para reducir la dependencia del petróleo como principal energético, se reconsideró el mejor aprovechamiento de la energía solar y sus diversas manifestaciones secundarias tales como la energía eólica, hidráulica y las diversas formas de biomasa; es decir, las llamadas energías renovables.

Así, hacia mediados de los años setenta, múltiples centros de investigación en el mundo retomaron viejos estudios, organizaron grupos de trabajo e iniciaron la construcción y operación de prototipos de equipos y sistemas operados con energéticos renovables. Asimismo, se establecieron diversas empresas para aprovechar las oportunidades que se ofrecían para el desarrollo de estas tecnologías, dados los altos precios de las energías convencionales.

En la década de los ochenta, aparecen evidencias de un aumento en las concentraciones de gases que provocan el cambio climático, en la atmósfera terrestre, las cuales han sido atribuidas, en gran medida, a la quema de combustibles fósiles. Esto trajo como resultado una convocatoria mundial para buscar alternativas de reducción de las concentraciones actuales de estos gases, lo que llevó a un replanteamiento de la importancia que pueden tener las energías renovables para crear sistemas sustentables. Como resultado de esta convocatoria, muchos países, particularmente los más desarrollados, establecen compromisos para limitar y reducir emisiones de gases contaminantes, renovando así su interés en aplicar políticas de promoción de las energías renovables (GOMEZ, 2010).

Hoy en día, más de un cuarto de siglo después de la llamada *crisis del petróleo*, muchas de las tecnologías de aprovechamiento de energías renovables han madurado y evolucionado, aumentando su confiabilidad y mejorando su rentabilidad para muchas aplicaciones. Como resultado, países como Estados Unidos, Alemania, España e Israel presentan un crecimiento muy acelerado en el número de instalaciones que aprovechan la energía solar de manera directa o indirectamente a través de sus manifestaciones secundarias (*Figura 24*).



Fig. 24 Friburgo Alemania la "Ciudad Solar".
Fuente: domokyo.com; Friburgo capital ecológica

Además de la riqueza en energéticos de origen fósil, México cuenta con un potencial muy importante en cuestión de recursos energéticos renovables, cuyo desarrollo permitirá al país contar con una mayor diversificación de fuentes de energía, ampliar la base industrial en un área que puede tener valor estratégico en el futuro, y atenuar los impactos ambientales ocasionados por la producción, distribución y uso final de las formas de energía convencionales.

Para analizar y plantear estrategias nacionales sobre energías renovables, la Secretaría de Energía se ha apoyado en la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, CONAE, creada como comisión intersecretarial en 1989 y elevada a la categoría de órgano desconcentrado de la Secretaría de Energía en 1999. A su vez, reconociendo su invaluable participación en el tema, la CONAE estableció, desde hace más de tres años, una alianza con la Asociación Nacional de Energía Solar, ANES, y juntas han operado el Consejo Consultivo para el Fomento de las Energías Renovables, COFER.

2.2. APROVECHAMIENTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL MUNDO

El impulso dado al desarrollo de la tecnología asociada al aprovechamiento de las energías renovables a partir de la década de los setenta, ha permitido que diversas tecnologías en fase experimental se conviertan en un producto capaz de competir en el mercado y ganar terreno a otras alternativas que operan con

combustibles fósiles. A continuación repasaremos lo más significativo de los desarrollos que se tienen en la actualidad.

Calentadores solares planos.

Los calentadores solares planos son una de las tecnologías solares más simples, más probadas y que tiene un gran potencial de aplicación en todo el mundo. Uno de los casos más relevantes es el de Israel, donde se usa la energía solar para calentamiento de agua desde hace más de 50 años y donde, a partir de 1980, la legislación hizo obligatoria la instalación de sistemas solares para calentamiento de agua en todas las construcciones residenciales nuevas (*Figura 25*) (GOMEZ, 2010).



Fig. 25 Calentadores Solares de Agua (Chipre e Israel).

Fuente: quenergia.com; Calentadores solares de agua en los techos de Chipre

Hoy en día, la tecnología solar térmica experimenta un fuerte crecimiento en Europa. Desde 1993, se tiene un crecimiento de 14.8% anual en el área instalada de colectores solares planos. Tres países, Alemania, Grecia y Austria, se destacan de los demás. En 1998, estos países instalaron más de 150,000 m² de colectores solares. Alemania es el líder, ya que instaló en el año mencionado 470,000 m², en más de 50,000 instalaciones colectivas e individuales para calentamiento de agua. En términos relativos, es decir, número de colectores solares por cada mil habitantes, Grecia y Austria superan a Alemania.



En 1999, en México se instalaron 35,000 m² de colectores solares, principalmente para el calentamiento de albercas, registrándose un ligero incremento de 8% respecto a 1998 y de 40% respecto a 1997 (*Cuadro 1*).

Cuadro 1 Áreas instaladas de colectores solares planos para algunos países (1998).

País	Área de colectores solares instalados en 1998 (m²)	Área de colectores solares instalados por cada 1,000 habitantes (m²)
Alemania	470,000	35
Austria	195,000	240
Grecia	153,900	260
Francia	28,000	14
Holanda	26,640	15
España	19,440	11
Italia	18,000	5
Dinamarca	17,000	60
Portugal	8,000	25
México	32,400	0.33

Fuente: EurObservÉR; para México, Balance Nacional de Energía (1998). ANES para datos sobre México.

Sistemas de concentración de radiación solar.

Como alternativa existen los sistemas concentrados de energía solar. El Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) tiene abierta una línea de investigación en el campo de la concentración solar (DE MIGUEL, 2007).

En Canarias²³ hay una iniciativa para su desarrollo, en Israel están estudiando un modelo que consigue concentrar la energía solar entre 500 y 3,000 veces, lo que

²³ Canarias es un archipiélago del Atlántico que conforma una de las diecisiete comunidades autónomas de España.

se verá reflejado, en un considerable aumento de rendimiento por panel o heliostato.

En Australia hay un proyecto de una torre de concentración de energía solar para abastecer 200,000 hogares, parecida al proyecto de Castilla La Mancha, España (DE MIGUEL, 2007).

En San Lúcar la Mayor (Sevilla, España) una planta de concentración solar está siendo construida (*Figura 26*), se proyecta esté terminada en el año 2013, cuando esté totalmente operativa podrá abastecer a todos los hogares de la Ciudad de Sevilla (Proyecto llevado a cabo por Solucar, empresa relacionada con *Abengoa Bioenergy*). Esta planta consiste en 624 heliostatos de paneles solares curvados que reflejan los rayos hacia una torre donde la alta temperatura produce vapor de agua que moverá una turbina para producir electricidad.



Fig. 26 Planta de concentración solar (Sevilla, España).

Fuente: www.energiasolaresp.com

La generación fototérmica de electricidad, a través de sistemas que concentran la energía solar en una línea, es actualmente una de las aplicaciones más extensas de la energía solar en el mundo, ya que se tienen 354 MW instalados en sistemas que utilizan más de 2.5 millones de m² de concentradores solares en 9 plantas del *Solar Energy Generation System* (SEGS), el cual es un producto de la compañía Luz de Israel (DE MIGUEL, 2007).



Fotovoltaica.

La tecnología relacionada con la generación de electricidad por procesos fotovoltaicos ha tenido grandes avances. Su costo unitario de potencia se ha reducido más de 20 veces desde 1973, al pasar de 200 a 10 dólares estadounidenses por watt. Esto ha permitido que el uso de esta tecnología se haya generalizado y que se tengan expectativas de mayores reducciones en su precio, lo que la coloca en el umbral de aplicaciones masivas.

En 1999, la producción de celdas fotovoltaicas a escala mundial prácticamente alcanzó la marca de los 200 MW por año, lo que representó un crecimiento de 29% con respecto a 1998 (*Cuadro 2*).

También en 1999, la capacidad instalada acumulada en la Comunidad Europea excedió los 123 MW (*Cuadro 2*).

Actualmente, e impulsado por un mercado nacional dinámico, Japón supera a los Estados Unidos como líder productor de celdas fotovoltaicas con 80 MW por año (*Cuadro 2*).

Cuadro 2 Capacidad eléctrica instalada en celdas fotovoltaicas (en MW).

PAIS	Capacidad instalada en el final de 1998	Capacidad instalada en el final de 1999 *
Alemania	53.9	66.2
Italia	17.68	18.5
Francia	8.0	10.0
Holanda	6.48	9.5
España	8.0	9.0
Austria	2.86	3.46
Resto de la CEU	6.54	7.42
Total CEU	103.46	123.58
EEUU	127.9	147.0
Japón	133.3	190.0
México	12.0	12.9

Fuente: EurObservÉR y ANES
European Union Countries (CEU).



(*) Estimado.

Eólica.

A partir de las leyes establecidas para promover alternativas al petróleo en los Estados Unidos como resultado de la crisis de 1973, en el estado de California se presentó un fenómeno particular y extraordinario que fue la aparición de las *granjas eólicas*, grandes arreglos de pequeñas unidades de generación que agregadas, representan capacidades comparables a las de grandes plantas convencionales. Bajo este esquema, para 1994 California tenía más de 15, 000 turbinas eólicas instaladas que generaban la energía equivalente a la consumida por todos los habitantes de la Ciudad de San Francisco en un año (GOODALL, 2008).

La experiencia positiva de California desencadenó una ola de desarrollo que llevó a otros estados de la Unión Americana y a otros países a aprovechar las oportunidades de esta tecnología. Actualmente existen varios proyectos en construcción en los estados de Colorado, Iowa, Minnesota, Nebraska, Kansas, Nuevo México, Oregón, Texas, Wisconsin y Wyoming. Todo indica que estos desarrollos elevarán la capacidad eólica de los EU en 50%, lo suficiente para potenciar más de medio millón de hogares americanos. A comienzos del año 2001 se tenían instalados cerca de 2,800 MW eólicos en Estados Unidos.

Asimismo, al iniciar el presente año se contaba con alrededor de 18,500 MW eólicos en todo el mundo (GOMEZ, 2010).

Con un crecimiento de 38% a escala mundial (4,500 MW), 2000 fue un año excelente para la energía eólica. Con esto, la capacidad de generación de electricidad a partir de viento ha crecido a una tasa anual promedio de 30% en los últimos tres años. Por su parte, la Unión Europea cuenta con un acumulado de cerca de los 12,822 MW, donde Alemania se consolida como primer lugar con 6,113 MW.

En Europa resalta el dinamismo que presenta la península ibérica, donde el mercado de las energías renovables se ha colocado entre los más importantes de Europa, justo detrás de Alemania y Dinamarca.

Esto ha ocurrido, en buena medida, como resultado de una agresiva estrategia gubernamental de fomento de alternativas al petróleo y ha resultado en un crecimiento exponencial, duplicándose la capacidad instalada cada año. De esta

manera, de una potencia eólica instalada en 1996 de 216 MW, se alcanzó una capacidad acumulada de 2,900 MW para 2001. Resalta, en particular, la provincia española de Navarra (*Figura 27*), la cual posee la industria eólica de más rápido crecimiento en el mundo ya que partiendo de cero capacidad de este tipo, pasó a obtener 23% de su electricidad del viento en menos de tres años.



Fig. 27 Parque eólico Navarra España.

Fuente: otracordobaesposible.wordpress.com; Energías renovables

Todo lo anterior ha causado disminuciones significativas en el costo de la tecnología y de la energía generada por este medio. Ejemplo de esto es la reducción de costos de 50% entre 1992-1997. Actualmente los costos promedio de la energía eléctrica generada a partir del viento se ubican entre 4 y 8 centavos de dólar por kWh generado, los cuales ya están muy cerca de los 2.5 centavos de dólar por kWh que actualmente cuesta la generación convencional mediante tecnología de punta.

El caso particular del aprovechamiento de la energía eólica en México, se abordara a detalle en el posterior apartado 2.3.

Mini hidráulica.

La hidro-energía es quizás la forma más antigua de aprovechamiento de energía para el desarrollo de las actividades productivas de la humanidad. Las ruedas hidráulicas se utilizaron desde el tiempo de los antiguos romanos para actividades



como la molienda de granos, los aserraderos²⁴ o simplemente como fuerza mecánica.

A principio del siglo XX proliferaron en Europa, las centrales hidroeléctricas *pequeñas* con capacidades instaladas de varias decenas o centenas de kilowatts. Después de la segunda guerra mundial se dio un gran auge al desarrollo de la hidroelectricidad de gran capacidad, con centrales en el orden de los cientos de mega watts. La construcción de mini centrales se siguió dando principalmente en varios países de Europa y en algunos de Asia (GOMEZ, 2010).

A la fecha, existen en todo el mundo cerca de 35,500 MW de potencia global instalada en pequeñas centrales. Para principios del siglo XXI se espera contar con alrededor de 38,700 MW. De estos totales, China cuenta con la mayor capacidad instalada del mundo con alrededor de 14,300 MW, lo cual representa aproximadamente 43% del total, para la capacidad actual y la que se encuentra en construcción y planeada. A éste le siguen Japón y Estados Unidos con 3,381 y 3,019 MW instalados respectivamente. De los países latinoamericanos Brasil se encuentra a la cabeza con alrededor de 950 MW, lo cual lo coloca en octavo lugar mundial en aprovechamiento de pequeños saltos hidráulicos.

Biomasa.

Con un estimado de 14,000 MW de capacidad instalada alrededor del mundo, la biomasa es la mayor fuente de potencia para generación de energía eléctrica con energías renovables, después de la hidroeléctrica. Estados Unidos es el más grande generador de potencia con biomasa con 7,000 MW instalados. Las expectativas de crecimiento de la generación con biomasa alrededor del mundo son de más de 30,000 MW para el año 2020. China y la India son considerados candidatos para instalar sistemas con biomasa de manera masiva. Las estimaciones muestran que para el 2015 China deberá tener entre 3,500 y 4,100 MW instalados, y la India entre 1,400 y 1,700 MW. Esto representa un crecimiento acelerado de sus niveles actuales de capacidad instalada de 154 y 59 MW respectivamente.

Otros países que muestran un promisorio crecimiento por la variedad de sus sistemas de biomasa son Brasil, Malasia, Filipinas, Indonesia, Australia, Canadá, Inglaterra, Alemania y Francia.

²⁴ Un **aserradero** es una instalación industrial o artesanal dedicada al aserrado de madera.



Indudablemente Europa es quien ha asumido con mayor responsabilidad el proceso de transición a un sistema energético sustentable, siendo Alemania, Dinamarca y España quienes más se han destacado en estos esfuerzos. El caso de Dinamarca merece ser ejemplificado. Actualmente cubre 7% de su oferta energética con energías renovables, 5% corresponde a biomasa y para el año 2020 planea cubrir 20% con renovables (GOMEZ, 2010).

2.3. ENERGÍAS RENOVABLES CON POTENCIAL EN MÉXICO

En general, dada la dispersión y la baja densidad energética de las fuentes renovables de energía, se requiere de grandes extensiones de tierra para lograr un nivel de aprovechamiento similar al de los sistemas que operan con combustibles fósiles. Igualmente, los sistemas de aprovechamiento de energías renovables tienen que ubicarse en el lugar donde se dispone del recurso, lo que muchas veces ocurre lejos de donde está la necesidad. Estas circunstancias, sin embargo, no han sido un impedimento para su desarrollo, como lo demuestran los proyectos en operación en el país.

De una manera muy general se puede afirmar que la República Mexicana recibe, en seis horas de exposición al Sol, la misma cantidad de energía que consumirá durante todo un año. Esta energía se transforma en calor, viento, agua evaporada y en diversas formas de biomasa y solo una fracción pequeña es aprovechable para el uso que los humanos le damos a la energía. En México, existen actividades tendientes al aprovechamiento de la energía solar y sus diversas manifestaciones desde hace varias décadas, aunque es particularmente significativo el avance e interés de instituciones e industrias en las últimas tres (eólica, agua evaporada y biomasa), periodo en el que se han desarrollado investigaciones y diversos proyectos, prototipos, equipos y sistemas para el mejor aprovechamiento de las energías renovables.

De manera general, resalta la investigación y desarrollo en energías renovables que arranca en la mitad de la década de los setentas y que continúa hasta la fecha. En este sentido, son importantes las actividades de universidades e institutos, nacionales y regionales, a lo largo y ancho del país. Igualmente importante ha sido el trabajo de difusión y promoción de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), la cual ha unificado a esta comunidad, particularmente a través de sus “semanas” y reuniones nacionales celebradas anualmente desde 1977.



Por otro lado, son importantes los trabajos para la manufactura y comercialización de equipos y sistemas relacionados con las energías renovables, en donde resalta la gran cantidad de fabricantes de calentadores solares planos en el territorio nacional.

Finalmente, para analizar y plantear estrategias nacionales sobre energías renovables, la Secretaría de Energía se ha apoyado en la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, CONAE, quien a su vez, estableció, desde hace más de tres años, una alianza con la ANES, y juntas han operado el Consejo Consultivo para el Fomento de las Energías Renovables, COFER, al cual concurren reconocidos especialistas de los sectores público y privado y en cuyo contexto se han organizado media docena de foros públicos sobre asuntos relacionados con la promoción de las energías renovables (GOMEZ, 2010).

Energía solar.

El conocimiento general que se tiene de la energía solar en nuestro país indica que más de la mitad del territorio nacional presenta una densidad en promedio energética de 5 kWh por metro cuadrado al día.

Esto significa que para un dispositivo de colección y transformación de energía solar a energía eléctrica que tuviera una eficiencia de 100%, bastaría un metro cuadrado para proporcionar energía eléctrica a un hogar mexicano promedio que consume 150 kWh por mes. De manera más precisa, considerando eficiencias de 10% para los dispositivos en el mercado, se puede decir que con 200 millones de m² de área de colección de radiación solar (un área de 14.2 Km por lado) podríamos dar electricidad a todos los hogares mexicanos.

Esto no significa, sin embargo, que la energía solar directa sea la más económica para el universo de usuarios de energía en el país, ya que su costo actual (2010), sólo lo justifica para un número limitado de usuarios, particularmente los que viven alejados de la red eléctrica.

Calentamiento solar

En México se fabrican calentadores solares planos desde hace más de cincuenta años y en la actualidad existen cerca de 64 fabricantes registrados²⁵ de estos equipos. Igualmente, la investigación sobre este tema es amplia y existe un gran

²⁵ El organismo nacional, de normalización y certificación de la construcción y edificación (ONNCCE) tiene registrados (Septiembre 2011) 123 modelos de 64 empresas autorizadas en el país.



número de ingenieros y técnicos que pueden diseñar este tipo de sistemas. Esto se ha reflejado en el crecimiento de la producción de calentadores solares planos desde 1997, habiéndose logrado para 1999, 35,000 m² instalados. De esta manera, en 1999, se contaba en el país con 328,000 m² de este tipo de sistemas, la mayoría de ellos instalados en la Ciudad de México, Guadalajara, Cuernavaca y Morelia (GOMEZ, 2010).

Sistemas térmicos de concentración solar

En México existen instalaciones de este tipo de colectores, resaltando la que se construyó en el Instituto de Ingeniería de la UNAM a principios de los ochenta en la Ciudad de México, y que ha sido la base para investigaciones posteriores en nuestro país. Actualmente, esta tecnología se desarrolla en México en cuando menos dos centros de investigación aplicada y en una universidad: el Instituto de Investigaciones Eléctricas, IIE; el Centro de Investigaciones en Energía, CIE, de la UNAM y en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Fotovoltaicos

En el contexto nacional, los pioneros en el desarrollo de tecnología de generación de electricidad, a partir de celdas fotovoltaicas, fueron investigadores del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), quienes desarrollaron una pequeña planta piloto con una capacidad de producción de fotoceldas que permitió, en los años setenta, proveer de electricidad a un número significativo de aulas dentro del sistema nacional de telesecundarias.

A través de un esfuerzo del gobierno federal dentro del Programa Solidaridad, y mediante la participación de instituciones como la Comisión Federal de Electricidad (CFE), y los Gobiernos estatales y municipales, entre otros, se instalaron en México alrededor de 40,000 sistemas fotovoltaicos, y otros diez mil por la iniciativa privada, para proveer de electricidad a zonas alejadas de la red eléctrica. Esto ha permitido que miles de pequeños poblados cuenten con iluminación eléctrica durante las noches y, en algunos casos, con electricidad para bombeo de agua. Igualmente, el uso de estos sistemas se ha generalizado para la comunicación en sistemas de auxilio e iluminación en carreteras federales, para dar energía a estaciones del sistema de comunicación por microondas y a la telefonía rural.



Asimismo, en México se aplican ampliamente los sistemas fotovoltaicos en sistemas de comunicación telefónica rural. La capacidad instalada en sistemas fotovoltaicos en México, según datos de la ANES, fue de 0.9 MW para el año de 1999, con lo que el acumulado, hasta ese mismo año, es de 12.92 MW.

Energía eólica.

Se estima que el potencial eólico eléctrico técnicamente aprovechable de México alcanza los 5,000 MW, lo que equivale a 14% de la capacidad total de generación eléctrica instalada en 2010. Este potencial tiene ahora mayores posibilidades de desarrollarse, por la disminución de sus costos que han llegado a ser casi competitivos con las energías convencionales y por las modificaciones a la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento. En este sentido, resaltan los potenciales identificados en la región del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, en la parte correspondiente a la costa del Pacífico. Se han identificado también sitios en los estados de Baja California, Baja California Sur, Coahuila, Hidalgo, Quintana Roo y Zacatecas (GOMEZ, 2010).

En agosto de 1994, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) puso en operación una central Eolo-eléctrica de 1.6 MW de capacidad en La Venta, Oaxaca. En diciembre de 1998, entró en operación la central eólica Guerrero Negro que se ubica en la península de Baja California Sur y tiene una capacidad de 600 Kw. En enero de 2007, entró en operación el segundo parque eólico, La Venta II, localizado también en el Istmo de Tehuantepec, al norte del ejido La Venta en Oaxaca, el proyecto consistió en la instalación de 98 Aerogeneradores con una capacidad de 83.3 MW, que se ubicaron en un área poligonal de 650 hectáreas.

A fines del año 2010, la capacidad eólica instalada en todo México era de 518.70 MW comprendidos en ocho proyectos, existiendo quince proyectos más (4 en construcción, 11 en desarrollo) que llevarán la capacidad total a más de 4,700 MW (*Cuadro 3*) (FEMSA, 2011).



Cuadro 3 Proyectos de Energía Eólica en México, 2011.

Proyecto	Ubicación	Esquema	Desarrollador	FOC	MW
Proyectos Eólicos en Operación					
La Venta	Oaxaca	OPF	CFE	1994	1,6
La Venta II	Oaxaca	OPF	CFE	2006	83,3
Parques Ecológicos de México	Oaxaca	Autoabast.	Iberdrola	2009	79,9
Eurus Fase 1	Oaxaca	Autoabast.	Cemex / Acciona	2009	37,5
Eurus Fase 2	Oaxaca	Autoabast.	Cemex / Acciona	2010	212,5
Gobierno Baja California	Baja California	OPF	GBC / Turbo Power Services	2010	10,0
Bii Nee Stipa I	Oaxaca	Autoabast.	Cisa - Gamesa	2010	26,4
La Mata - La Ventosa	Oaxaca	Autoabast.	Eléctrica del Valle de México	2010	67,5
					518,7
Proyectos Eólicos en Construcción					
Fuerza Eólica del Istmo	Oaxaca	Autoabast.	Peñoles	2010 - 2011	50,0
La Venta III	Oaxaca	PIE	CFE / Iberdrola	2011	101,0
Oaxaca II, III y TV	Oaxaca	PIE	CFE / Iberdrola	2011 - 2012	304,2
Oaxaca I	Oaxaca	PIE	CFE / Eyra	2011	101,0
Los Vergeles	Tamaulips	Autoabast.	GSFER	2010 - 2011	161,0
					717,2
Proyectos Eólicos en Construcción					
Vientos del Istmo	Oaxaca	Autoabast.	FEMSA / Macquaire	2011 - 2014	395,9
Fuerza Eólica del Istmo	Oaxaca	Autoabast.	Peñoles	2011 - 2012	30,0
Bii Hioxio	Oaxaca	Autoabast.	Unión Fenosa	2011 - 2014	227,5
Bii Stinú	Oaxaca	Autoabast.	Eoliatec del Istmo / Eolia	2011 - 2013	164,0
Santo Domingo	Oaxaca	Autoabast.	Eoliatec del Pacífico / Eolia	2011 - 2014	160,0
Bii Nee Stipa	Oaxaca	Autoabast.	Cisa / Gamesa	2011 - 2014	288,0
Desarrollo Eólicos Mexicanos	Oaxaca	Autoabast.	Renovalia	2011 - 2014	227,5
Unión Fenosa	Baja California	Exportación	Gas Natural / Unión Fenosa	2011 - 2014	400,0
Sempra	Baja California	Exportación	Sempra	2011 - 2014	1.200,0
Fuerza Eólica	Baja California	Exportación	Fuerza Eólica	2011 - 2014	400,0
					3.492,9
					Total MW 4.728,8
<i>OPF: Obra Pública Financiada PIE: Productor Independiente de E FOC: Fecha de Operación Comercial</i>					

Fuente: Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE), Proyectos de Energía Eólica en México, 2011.

En nuestro país existe desarrollo tecnológico importante en relación con la generación de electricidad a partir del viento. En particular, resalta el trabajo del Instituto de Investigaciones Eléctricas, IIE, con más de 20 años de experiencia en el tema. En el sector privado, destaca la capacidad de diseño y manufactura



nacionales de este tipo de equipos desarrollados por una empresa que los exporta ensamblados en el Distrito Federal.

Por su parte, la Comisión Federal de Electricidad, CFE, a partir del conocimiento y de la experiencia desarrollada en el IIE construyó y opera dos plantas eólicas piloto, con el objetivo de adentrarse en esta tecnología, reconocer sus ventajas y limitaciones, y validar su integración al Sistema Eléctrico Nacional.

Asimismo, en algunos estados de la República tales como Chihuahua y Sonora, se utilizan sistemas eólicos para bombeo de agua denominados *aero-bombas*, muy útiles en localidades rurales aisladas de la red de suministro, o cuyas condiciones geográficas impiden la electrificación convencional.

Finalmente, y desarrolladas con capital privado, se tienen 5 permisos de la Comisión Reguladora de Energía, CRE, para instalar 148 MW a partir de energía eólica (GOMEZ, 2010).

Mini hidráulica.

En 1999, la energía hidráulica aportaba 14.4% de la generación de electricidad en nuestro país. El potencial nacional mini hidráulico, es decir, de pequeñas centrales hidroeléctricas de menos de 5 MW es, de acuerdo con estudios realizados por la CONAE y la CFE, de alrededor 3,000 MW. Tan sólo para una importante región montañosa de México, comprendida entre los estados de Veracruz y Puebla, se han identificado 100 sitios de aprovechamiento que alcanzarían una generación de 3,570 GWh²⁶ anuales, equivalentes a una capacidad media de 400 MW. Es importante señalar que las condiciones del entorno a esta tecnología han cambiado, permitiendo que su aplicación sea una alternativa viable en muchos casos. Los cambios en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento así como el incremento en los costos de los energéticos convencionales y la demanda creciente de energía eléctrica así lo indican.

En el año 2010 se reveló que en México existen mini centrales en operación en la CFE, y en sistemas independientes de particulares (*Cuadro 4*).

²⁶ El Giga watt es igual a 1 billón (10⁹) de watts o un Giga watt es igual a 1000 Mega watts. Esta unidad es utilizada algunas veces en enormes plantas de energía o alambrados eléctricos extensos.



Cuadro 4 Resumen de centrales en operación en México.

Institución o empresa	Número de centrales	Número de unidades	Potencia instalada (MW)	(%)	Generación media (GWh)	(%)
CFE	22	44	32.8	42.8	102.3	46.4
LyFC *	-	-	-	-	-	-
Independientes	61	77	43.5	57	118	53.5
TOTAL	83	121	76.3	99.8	220.3	100

Fuente: *Estudio de la situación actual de la mini hidráulica nacional y potencial en una región de los estados de Veracruz y Puebla*, CONAE, 1997.

(*) Los valores de Luz y Fuerza del Centro (L y FC) son sumados a la CFE debido a que el 11 de octubre del 2009 por decreto presidencial, se dispuso la extinción de L y FC; con lo que se inició su proceso de liquidación administrativa y todas sus funciones pasaron a ser parte de la CFE.

Las cifras anteriores nos indican que en México la producción mini hidroeléctrica es mayoritariamente privada y que lo ha sido desde principio de siglo. Este es un factor en favor de la futura constitución de nuevas empresas particulares que decidan dedicarse al autoabastecimiento de energía eléctrica por este medio.

De las mini centrales fuera de servicio, sólo se conocen con certeza los datos de la CFE. Se sabe de 36 centrales que han dejado de operar debido, principalmente, a sus altos costos operativos y la obsolescencia de su equipo principal. Su potencia conjunta asciende a 36.78 MW, con una generación estimada en 125.65 GWh.

Finalmente, se tienen 12 permisos de la Comisión Reguladora de Energía (CRE) para instalar 184 MW en plantas mini hidráulicas (GOMEZ, 2010).

Biomasa.

En México, sin que exista una evaluación precisa del universo de posibilidades de este tipo de recurso, existe un amplio potencial de aprovechamiento de las diversas formas de biomasa. Las comunidades rurales aisladas del país, satisfacen la mayor parte de sus necesidades energéticas con biomasa. Se estima que la leña provee cerca del 75% de la energía de los hogares rurales. En el sector agroindustrial, específicamente la industria de la caña de azúcar, se ha



establecido un potencial de generación de electricidad, a partir del bagazo de caña, superior a 3,000 GWh al año.

En 2010, se obtuvieron 12 permisos de la CRE para instalar 135 MW en plantas de generación eléctrica a partir de biomasa.

Las tecnologías de generación eléctrica mencionadas anteriormente, como muchas otras, experimentan un proceso de maduración tecnológica. Por lo que es importante contar con un panorama general de las tecnologías disponibles actualmente y las que están en desarrollo, que buscan la reducción de emisiones de GEI en el proceso de generación eléctrica. Para lo cual se ponen en contexto las características más relevantes en la maduración de las energías renovables como son: su capacidad de generación actual y esperada, el estatus tecnológico actual y su perspectiva de desarrollo y el potencial técnico estimado para su posible desarrollo en México.

Como podemos concluir las energías renovables son tecnologías que se considera podrían tener un impacto importante en la reducción de emisiones de GEI en el sector eléctrico y a su vez mitigar el cambio climático es valioso emplearlas a nivel global y local siguiendo los ejemplos de apartados anteriores e inclusive superándolos.

Ahora bien se desarrollara una de estas energías renovables con la finalidad de conocer sus aspectos técnicos de operación entre otros como son costos actuales y esperados para el futuro. Todo en pro de adoptarlas más fácilmente, de tener un entorno ambiental de calidad y por último conseguir un avance social tecnológico e inherentemente económico y por tanto ser mejores seres humanos.



MARCO TÉCNICO INSTRUMENTAL

CAPÍTULO 3. INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

SOLARES

El tipo de instalación seleccionada para la vivienda, ubicada en la localidad, San Juan de Aragón, 4ª y 5ª Secciones, en la Delegación Gustavo A. Madero, México, D.F., (**ANEXO A**) es la solar fotovoltaica, debido al texto acerca de las aplicaciones específicas, de las energías renovables (apartado 1.3), que dice, que en los hogares para generar electricidad para usos múltiples, se deben utilizar fotoceldas, nanoceldas o generadores eólicos, sin embargo por ser la zona de bajo potencial eólico (apartado 2.3) es decir, que carece de velocidades de viento y espacios significativos, quedan descartados los generadores eólicos y también a su vez la tecnología de nanoceldas que aún requiere de experimentación para ser utilizada con certeza.

Una instalación fotovoltaica tiene como objetivo producir energía eléctrica a partir de la energía solar. Esta generación de energía eléctrica, sin emisión de contaminantes, se produce como resultado de la captación directa de energía solar y mediante la intervención del llamado efecto fotovoltaico (ARAMBERRI, 2008).

Los módulos fotovoltaicos, formados por celdas fotovoltaicas, son los dispositivos que transforman directamente la radiación solar, en energía eléctrica de corriente continua. La batería es el componente que almacena la energía eléctrica generada por los módulos fotovoltaicos por el carácter aleatorio de la energía solar, en caso de no ir conectada la instalación a la red. El regulador es el que controla el proceso de carga y, en ocasiones, el de descarga de la batería. Y finalmente es el inversor el que transforma la corriente continua en corriente alterna esta última con valores de 120 a 127 V y 60 Hz²⁷ para México (la tensión puede variar legalmente entre +/- 10% proporcionando un rango de 114 a 140 voltios, estas cantidades varían dependiendo del país) (**ANEXO B**).

Lo ya descrito anteriormente, es de aplicación para instalaciones solares fotovoltaicas, no obstante, es necesario tener en cuenta que en este tipo de

²⁷ El hercio, hertzio o hertz (símbolo Hz), es la unidad de frecuencia del Sistema Internacional de Unidades. Nombrado en honor al físico alemán Heinrich Rudolf Hertz, que descubrió la propagación de las ondas electromagnéticas. 1 Hz equivale a una 1 onda electromagnética cada segundo o bien físicamente a una pulsación luminosa cada segundo.

instalaciones, se emplea un concepto relacionado con la radiación solar, que simplifica el cálculo, son las “horas sol pico” (HSP).

Se denomina HSP al número de horas diarias que con una irradiación solar ideal de $1,000 \text{ W/m}^2$ proporciona la misma irradiación solar total que la real de ese día. Este concepto se explica gráficamente en la (Figura 28).

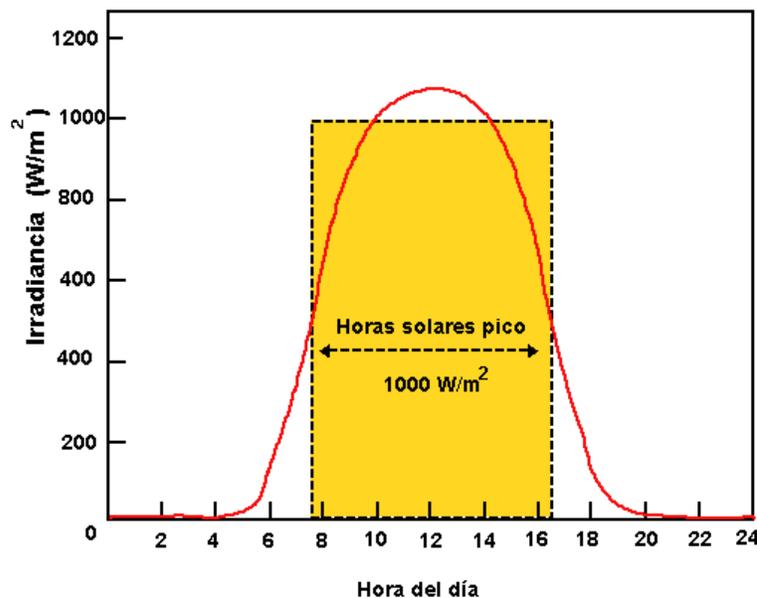


Fig. 28 Concepto de “Horas Sol Pico”.

Fuente: *New Mexico State University*; Guía para el desarrollo de proyectos con energía fotovoltaica

Es decir, si se dispone de los datos de irradiación solar de un determinado día y se divide entre $1,000$, se obtienen las HSP. Se puede deducir fácilmente que si los valores de radiación solar disponibles están expresados en kWh/m^2 , coinciden numéricamente con los que resultan al expresarlos en HSP.

Ejemplo: para una irradiación de 5 kWh/m^2 , el resultado es:

$$HSP = \frac{5 \text{ kWh/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2} = \frac{5000 \text{ Wh/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2} = 5$$

3.1. TIPOLOGÍA DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

Los distintos tipos de configuraciones de instalaciones fotovoltaicas se pueden clasificar en dos grandes grupos de instalaciones:

- Instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red: cuyo objetivo es satisfacer total o parcialmente la demanda de energía eléctrica en un lugar determinado donde no existe red eléctrica convencional. Las aplicaciones más habituales suelen ser las de bombeo de agua y las de electrificación de viviendas rurales, aunque existen otras muchas aplicaciones en telecomunicaciones, señalizaciones, juguetería, etc. (Figura 29).

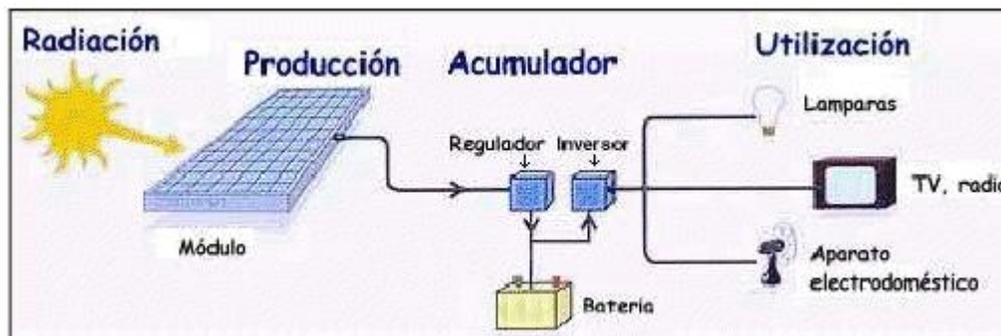


Fig. 29 Esquema básico de una instalación fotovoltaica aislada para electrificación de vivienda.

Fuente: www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas_Frecuentes/

- Instalaciones fotovoltaicas de conexión a red: tienen como objetivo fundamental generar energía eléctrica, e inyectarla en su totalidad a la red eléctrica de distribución (Figura 30). Hay que destacar que al inyectar toda la energía producida en la red se anula el concepto de autoabastecimiento, pasando a ser un sistema generador. Nuestra instalación será una central eléctrica, y no podremos consumir ni acumular parte de la energía producida.

Estas instalaciones suelen ubicarse en tejados o estructuras fotovoltaicas en edificios, o a modo de grandes centrales de generación fotovoltaica como son los denominados “huertos solares”²⁸.

²⁸Una **huerta solar**, **huerto solar** o **campo solar** es un recinto o espacio en el que pequeñas instalaciones fotovoltaicas de diferentes titulares comparten infraestructuras y servicios.

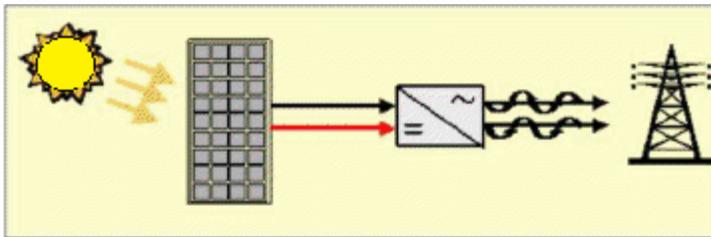


Fig. 30 Esquema básico de una instalación fotovoltaica de conexión a red.

Fuente: FGRT11

Otras instalaciones, cuyo número es notablemente inferior a las anteriores, son las instalaciones mixtas, en las que se complementa una instalación fotovoltaica aislada con otro tipo de recurso energético como pueden ser los grupos electrógenos²⁹ o aerogeneradores³⁰ (ARAMBERRI, 2008).

3.2. EFECTO FOTOVOLTAICO; CELDAS FOTOVOLTAICAS

Aún, y que ya se habló del efecto fotovoltaico en el marco teórico, es necesario hacer algunas precisiones sobre este tipo de tecnología.

La transformación de la radiación solar en energía eléctrica se realiza mediante un dispositivo denominado celda fotovoltaica. El proceso que realiza esta transformación se denomina efecto fotovoltaico, y se produce cuando la radiación solar incide sobre un material semiconductor.

Como ya sabemos por el marco teórico, las celdas fotovoltaicas están formadas fundamentalmente por silicio. Este material es modificado químicamente para dar lugar a dos estructuras eléctricamente distintas entre sí, semiconductor tipo P y semiconductor tipo N³¹. Una vez que estos elementos se ponen en contacto y se exponen a la radiación solar, los fotones que transportan la energía de la luz solar al incidir sobre ellos hacen que se genere una corriente eléctrica (intensidad), convirtiendo así la celda fotovoltaica en una pequeña pila generadora de energía eléctrica (*Figura 31*).

²⁹Un **grupo electrógeno** es una máquina que mueve un generador de electricidad a través de un motor de combustión interna.

³⁰Un **aerogenerador** es un generador eléctrico movido por una turbina accionada por el viento (turbina eólica).

³¹ Semiconductor **tipo N** – En este tipo, fósforo o arsénico es añadido a la silicona en pequeñas cantidades. Los electrones tienen una carga negativa, y de ahí viene su nombre.

Semiconductor **tipo P** – En este tipo de silicona, el boro y el galio es el elemento insertado. La ausencia de un electrón crea el efecto de una carga positiva, y por eso su nombre.

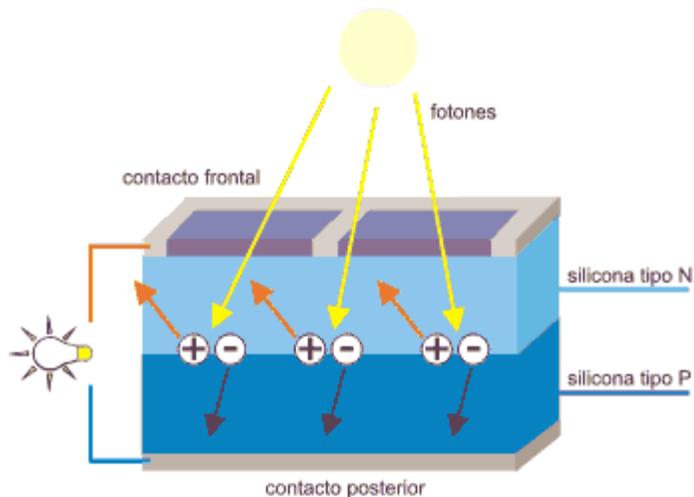


Fig. 31 Generación eléctrica por efecto fotovoltaico en una unión p-n.

Fuente: www.electricasas.com/electricidad/energia-solar; Características de los módulos fotovoltaicos

La corriente eléctrica (intensidad) generada será proporcional a la irradiación incidente, (ya que al aumentar la irradiación aumenta el número de fotones), y dependerá también de otros parámetros (temperatura de la celda, temperatura ambiente, velocidad y dirección del viento, etc.), siendo, por tanto, el funcionamiento de la celda considerablemente variable (ARAMBERRI, 2008).

La curva de funcionamiento I-V (Intensidad-Voltaje), de la celda fotovoltaica es la que marca sus características eléctricas, en ella se ven relacionados los siguientes parámetros:

- *Intensidad de corriente de cortocircuito* (I_{sc}), que se generaría si se cortocircuitaran las bornes³² de la celda.
- *Voltaje de circuito abierto* (V_{oc}), que es la propia tensión (voltaje) en bornes de la celda.
- *Punto de máxima potencia* de la curva, es aquél en el que la celda produce la máxima potencia, siendo su magnitud igual al producto de la intensidad y tensión máximas. La potencia máxima que puede alcanzar la celda en condiciones estándar se le denomina potencia pico, y su unidad de medida es el Watio pico (Wp).

³²Un **borne** es cada una de las partes metálicas de una máquina o dispositivo eléctrico donde se produce la conexión con el circuito eléctrico exterior al mismo.

Con objeto de poder comparar las curvas características eléctricas de las distintas celdas fotovoltaicas existentes en el mercado, se definen unas condiciones estándar de medida, que son: irradiación de $1,000 \text{ W/m}^2$, $25 \text{ }^\circ\text{C}$ en celda y velocidad del viento de 1 m/s . En estas condiciones, los valores de la celda suelen ser los siguientes:

$$I_{sc} \sim 3 - 3.5 \text{ A}^{33} \quad V_{oc} \sim 0.6 - 0.7 \text{ V}^{34}$$

En la *Figura 32* se muestra la curva de funcionamiento intensidad-voltaje típica de una celda fotovoltaica:

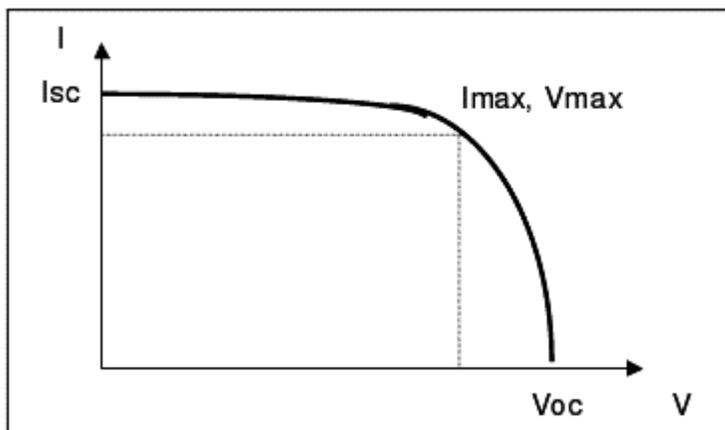


Fig. 32 Curva de funcionamiento I-V de una celda fotovoltaica.

Fuente: (ARAMBERRI, 2008)

Las tecnologías de fabricación de celdas fotovoltaicas de silicio dan lugar a celdas de silicio monocristalino y policristalino (*Figura 33*), que son las más utilizadas en las aplicaciones que nos ocupan.

³³ **El amperio o ampere** (símbolo A), es la unidad de intensidad de corriente eléctrica y fue nombrado en honor de André-Marie Ampère. La corriente o intensidad eléctrica es el flujo de carga por unidad de tiempo que recorre un material. Se debe al movimiento de los electrones en el interior del material. En el Sistema Internacional de Unidades se expresa en C/s (culombios sobre segundo), unidad que se denomina amperio. Una corriente eléctrica, puesto que se trata de un movimiento de cargas, produce un campo magnético, un fenómeno que puede aprovecharse en el electroimán.

³⁴ **El voltio o volt** (símbolo V), es la unidad derivada del Sistema Internacional para el potencial eléctrico, la fuerza electromotriz y la tensión eléctrica. Recibe su nombre en honor a Alessandro Volta, quien en 1800 inventó la pila voltaica, la primera batería química. También se puede definir como el trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico sobre una partícula cargada para moverla entre dos posiciones determinadas.

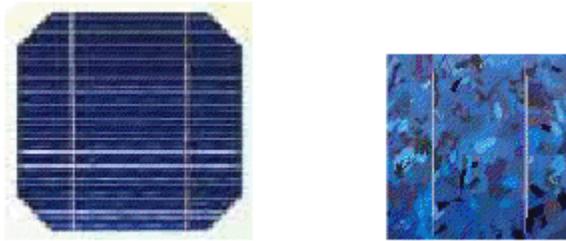


Fig. 33 Celdas de silicio monocristalino y policristalino.
Fuente: FGRT11

Otros procesos de fabricación más sencillos dan lugar a celdas de silicio amorfo de película delgada, que se utiliza en menor medida, como se muestra en la *Figura 34*.

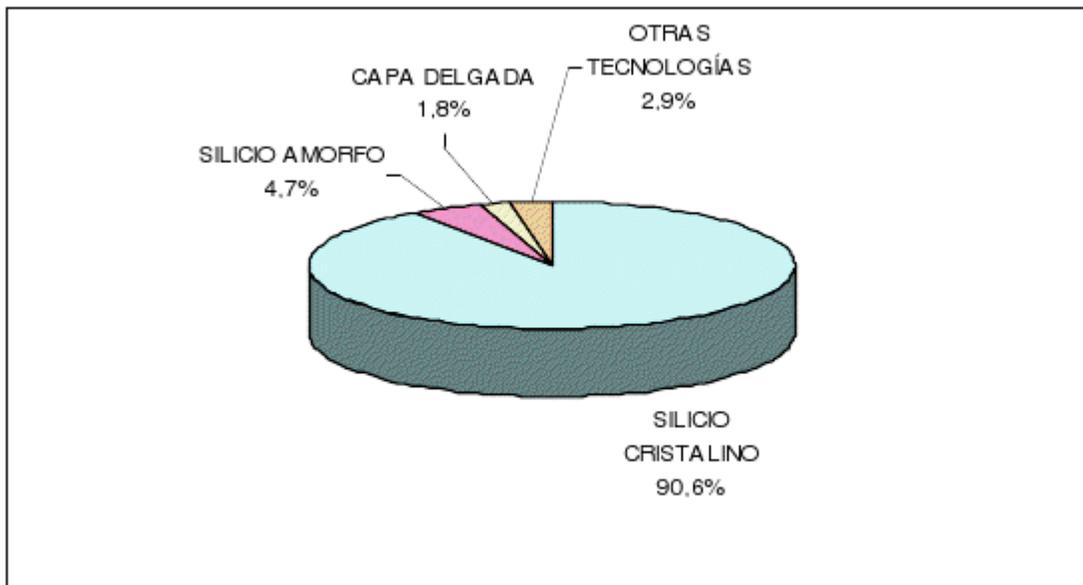


Fig. 34 Cuota mundial de producción por tipo de celdas fotovoltaicas 2006
Fuente: ASIF³⁵; Publicado en 2008

³⁵La Asociación de la Industria Fotovoltaica.

3.3. COMPONENTES GENERALES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Una instalación de este tipo puede constar solo de un regulador, un acondicionamiento de potencia y uno o varios paneles solares compuestos de varias celdas solares, que son las encargadas de producir la energía eléctrica, sin embargo también debe ser incluido un almacenamiento de energía eléctrica o bien baterías, ya que no siempre podremos contar con luz solar (GALLEGOS, 2008).

Por tanto una instalación fotovoltaica consta de cuatro partes o elementos que son los siguientes:

- Módulo fotovoltaico. Campo fotovoltaico.
- Almacenamiento de energía eléctrica. Baterías.
- Reguladores y acondicionamiento de potencia.
- Estructuras y accesorios.

3.3.1. Módulo fotovoltaico ó Panel solar

La unión eléctrica de las celdas fotovoltaicas da lugar a los módulos fotovoltaicos con eficiencias diferentes (*Figura 35*), que no son más que un conjunto de celdas (36 a 72 celdas por módulo) fotovoltaicas conectadas entre sí, de modo que son capaces de generar una corriente eléctrica (intensidad) a partir de la incidencia de la luz solar. Ésta corriente eléctrica es generada a baja tensión o voltaje (de 12 a 48 V) y en corriente continua (ARAMBERRI, 2008).



Fig. 35 Módulo fotovoltaico. Panel solar.
Fuente: www.solarshop.cl; Panel solar

Los paneles o módulos fotovoltaicos pueden variar en su funcionamiento obteniendo diferentes voltajes, corrientes y por tanto potencias eléctricas para un mismo panel, esto ocurre principalmente debido a un cambio en la cantidad de luz solar o bien irradiación que incide sobre los mismos procurando que la temperatura del panel no supere ciertos límites (*Figura 36*).

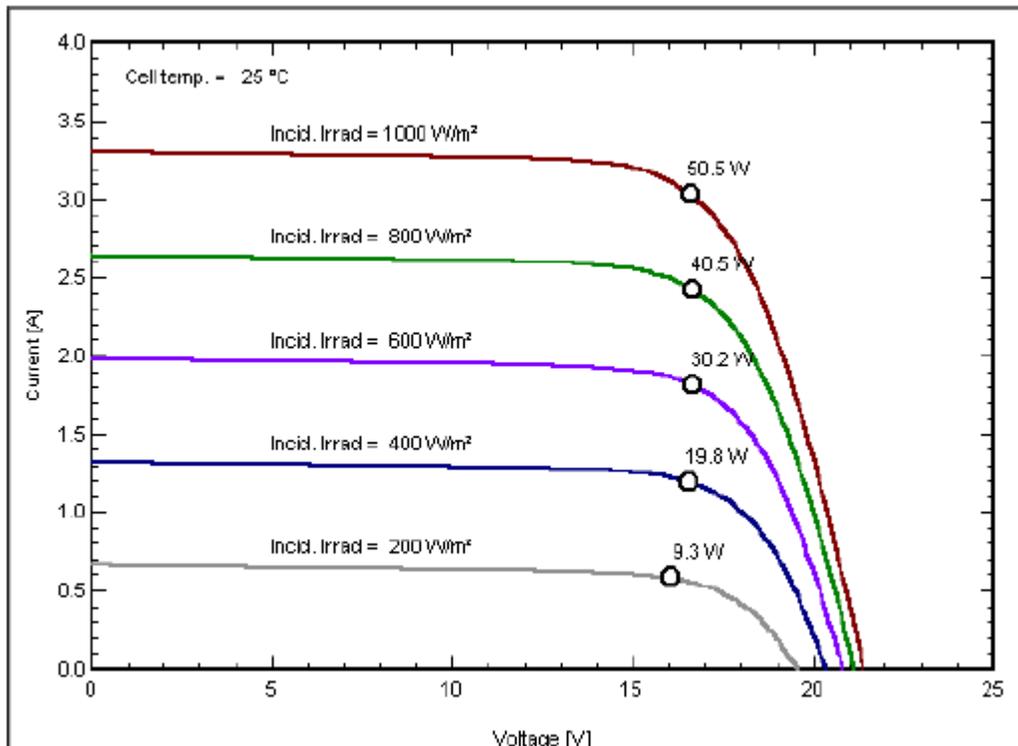


Fig. 36 Curva característica de un módulo fotovoltaico de 50 Wp.
Fuente: (ARAMBERRI, 2008)

Las partes principales de un módulo fotovoltaico son:

- Vidrio: vidrio templado con un alto coeficiente de transmisión a la radiación incidente (del orden del 95%).
- Cubierta posterior: lámina delgada opaca de un polímero (normalmente Tedlar³⁶).

³⁶ Es un tipo de lámina hecha de polivinilo fluoruro: la lámina PVF TEDLAR®. Sus excelentes propiedades mecánicas, eléctricas y químicas, así como su resistencia a cambios climáticos hacen de TEDLAR® un material ideal de protección y de liberación.

En algunas aplicaciones en conexión a red, para una mejor integración en la cubierta o fachadas de edificios se suele colocar un polímero transparente con otro vidrio.

- Encapsulante: para poder ensamblar correctamente el módulo, se utiliza otro polímero transparente.
- Marco y caja de conexiones: perfiles de aluminio, sellados, situando la caja de conexiones en la cara posterior del módulo también llamada cajetín estanco donde se alojan los bornes de conexión eléctrica y el diodo de protección contra corrientes inversas.

Todo el conjunto debe estar aislado del exterior y también eléctricamente. Un esquema de la sección de un módulo fotovoltaico se muestra en la *Figura 37*.

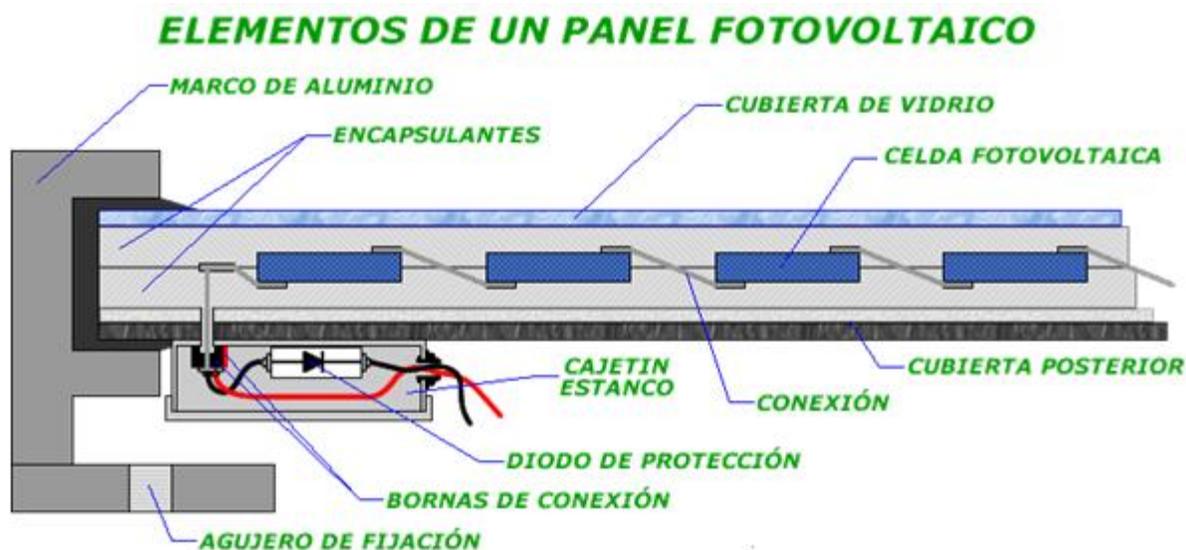


Fig. 37 Partes principales de un módulo fotovoltaico.

Fuente: www.adrformacion.com; Curso de energía solar fotovoltaica

Los módulos fotovoltaicos actualmente se comercializan con potencias entre los 50-200 Wp, aunque algunos fabricantes ofrecen módulos con potencias picos superiores. En términos generales sus tamaños oscilan entre 0.5 y 1 m² y su durabilidad o vida útil se estima en más de 30 años (ARAMBERRI, 2008).

El campo fotovoltaico lo forman uno o más módulos fotovoltaicos conectados entre sí (*Figura 38*). La conexión de estos módulos puede ser en serie o en paralelo, así como combinaciones de ambas conexiones, en función de las características eléctricas que se deseen obtener a la salida del campo fotovoltaico (I, V).



Fig. 38 Campo fotovoltaico.

Fuente: www.ecotelia.es; Fotovoltaica

La tensión (voltaje) e intensidad de salida del campo fotovoltaico vendrán dadas por:

- La suma de los voltajes de los módulos y la intensidad de un módulo, si están conectados en serie (*Figura 39*). Por ejemplo: si el voltaje de un módulo es de 12 Vcc (Voltios circuito cerrado), al unir 3 en serie sumarán 36 Vcc conservando la cantidad de Amperios de un módulo en toda la conexión.

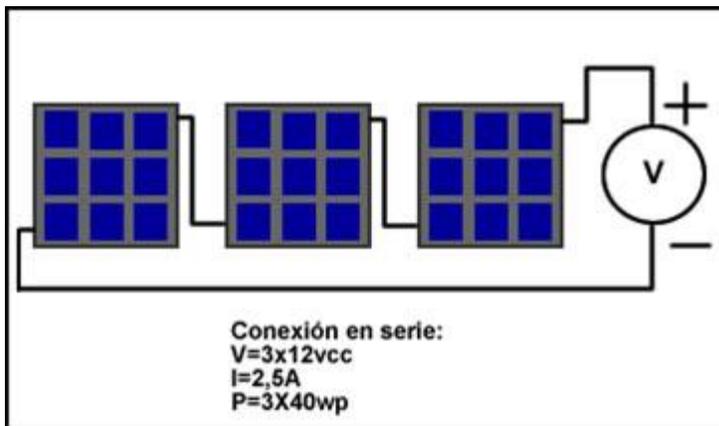


Fig. 39 Conexión de módulos fotovoltaicos en serie.

Fuente: eliseosebastian.com; Paneles solares y circuitos en serie y en paralelo

- La suma de las intensidades de los módulos y el voltaje de un módulo, si están conectados en paralelo (*Figura 40*).

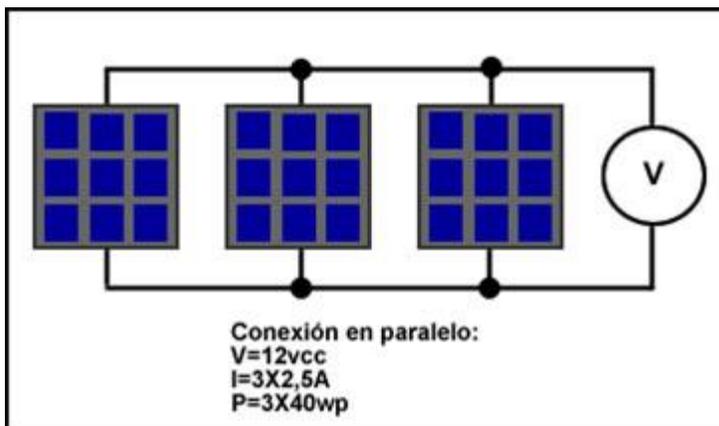


Fig. 40 Conexión de módulos fotovoltaicos en paralelo.

Fuente: eliseosebastian.com; Paneles solares y circuitos en serie y en paralelo

Cabe mencionar que la potencia en serie y paralelo será la misma, es decir, la suma de los Watts de cada uno de los módulos.

3.3.2. Almacenamiento de energía eléctrica en baterías

Dada la aleatoriedad de la intensidad de la radiación solar, y que la demanda de energía eléctrica no tiene por qué coincidir temporalmente con las horas de radiación solar, es imprescindible disponer de un acumulador de energía o batería (*Figura 41*) que almacene la energía eléctrica generada por el campo fotovoltaico, asegurando así el suministro para la demanda a la que se haya dimensionado la instalación. Este componente sólo se encuentra en las instalaciones aisladas de la red eléctrica, ya que las instalaciones conectadas a red inyectan toda la energía producida a la misma en el momento de generación, y por tanto este componente carece de utilidad.

La capacidad de almacenamiento de las baterías es variable y puede proporcionar la autonomía necesaria para los días sin radiación solar.



Fig. 41 Baterías.

Fuente: www.fotovoltaica.info; Instalaciones eólica y fotovoltaica

Las baterías que se utilizan para las instalaciones fotovoltaicas son las baterías estacionarias, concretamente baterías de plomo-ácido. La reacción química que da lugar al almacenamiento y descarga de la energía eléctrica está representada en la *Figura 42*:

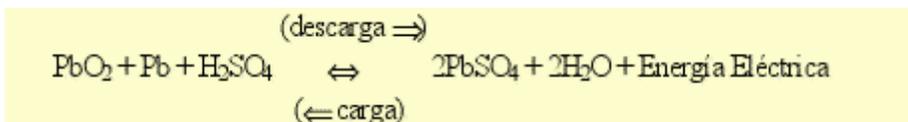


Fig. 42 Reacción electroquímica de carga y descarga de la batería.

Fuente: (ARAMBERRI, 2008)

Nota: H_2SO_4 = Ácido Sulfúrico, PbO_2 = Dióxido de Plomo, PbSO_4 = Sulfato de Plomo.

En el *Cuadro 5* se aportan los datos estándar de los dos tipos de batería más utilizados en instalaciones fotovoltaicas.

Cuadro 5 Parámetros habituales de baterías de uso fotovoltaico.

	Plomo-ácido	Niquel-cadmio
Temperatura de operación (°C)	Ambiente	
Rendimiento energético (%)	80	60-75
Autodescarga (%/mes)	2-15	3-10
Ciclos de vida (ciclos)	1500-2000	1500-3000
Vida (años)	5-10	5-15
Electrolito	H_2SO_4	KOH
Funcionamiento	Electrodos sólidos	

Fuente: (ARAMBERRI, 2008).

Nota: KOH = Hidróxido de Potasio

La inclusión de baterías en una instalación fotovoltaica, permite fijar un voltaje de referencia de funcionamiento de las mismas, estableciéndose así, un punto de trabajo óptimo del campo fotovoltaico y por otra parte permite soportar puntas de consumo superiores a la nominal.

3.3.3. Reguladores y acondicionamiento de potencia

En una instalación fotovoltaica se designan como elementos de acondicionamiento de potencia, aquellos que controlan el funcionamiento de los elementos básicos de una instalación fotovoltaica (campo fotovoltaico, acumuladores y cargas), así como los que ajustan desde el punto de vista eléctrico las características de la corriente eléctrica (intensidad).

Los principales elementos de acondicionamiento de potencia son:

- Reguladores de voltaje.
- Convertidores cc-cc (cc corriente continúa).
- Convertidores cc-ca o inversores (ca corriente alterna).

a) Reguladores

La función principal de este elemento es la de proteger las baterías de la sobrecarga y descarga excesiva, además de actuar como indicador de carga de las baterías. De ahí su ubicación dentro de una instalación (*Figura 43*). La vida útil³⁷ de la batería depende fundamentalmente de la buena elección y programación del regulador.

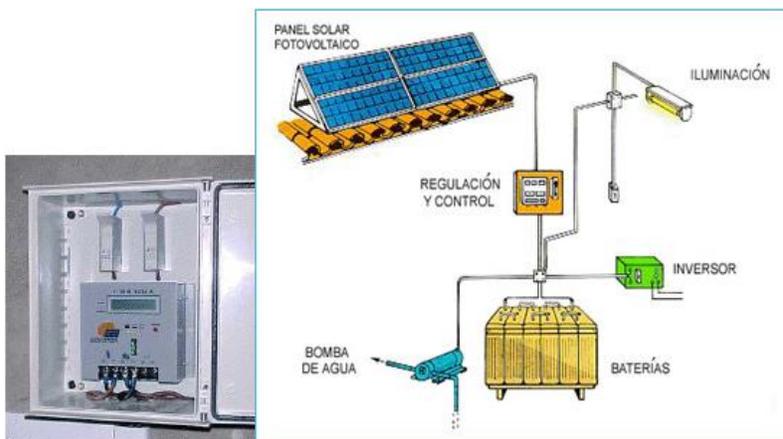


Fig. 43 Regulador/Ubicación del regulador en el esquema de conexión de una instalación fotovoltaica aislada.

Fuente: www.inelsacontrols.com; Solar fotovoltaica

Los principales parámetros de operación de un regulador son la *tensión (voltaje) e intensidad nominal del regulador*, que corresponden a la tensión nominal y a la intensidad máxima de funcionamiento de la instalación fotovoltaica. Existen modelos disponibles con rangos habituales entre 12 y 48 V de tensión, y entre los 5 y los 50 A de intensidad (ARAMBERRI, 2008).

b) Convertidores de cc/cc

³⁷ La **vida útil** es la duración estimada que un objeto puede tener cumpliendo correctamente con la función para la cual ha sido creado.

Los convertidores de cc/cc son dispositivos que adaptan la energía generada en corriente continua por el campo fotovoltaico o por las baterías a las condiciones requeridas por las cargas de consumo o por la red (*Figura 44*).

Se utilizan:

1. En aplicaciones en las que se necesita disponer de energía eléctrica en corriente continua en varias tensiones.
2. Cuando se requiere un seguimiento del punto de máxima potencia del campo fotovoltaico con el fin de optimizar el funcionamiento de la instalación, sea cual sea la carga aplicada.

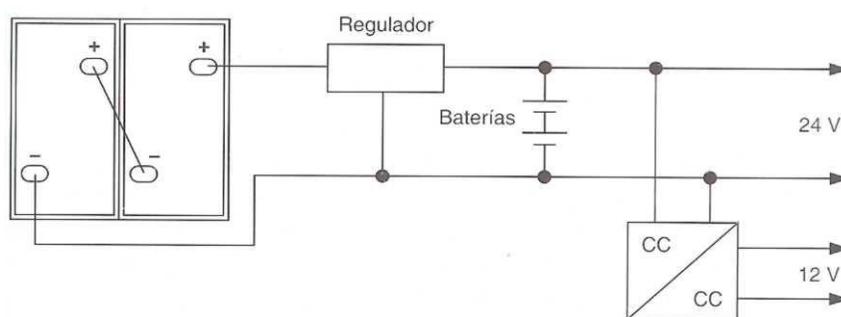


Fig. 44 Esquema de instalación fotovoltaica aislada con convertidor cc/cc.

Fuente: www.gobiernodecanarias.org; Guía fotovoltaica final

Estos convertidores de acoplamiento trabajan a la tensión (voltaje) de máxima potencia del campo fotovoltaico en cada momento y recortan la onda de tensión para alimentar a las cargas.

c) Inversores

El inversor es el que realiza la transformación de la corriente generada en continua por el campo fotovoltaico a corriente alterna, con el fin de suministrar energía eléctrica de 120 a 127 V y 60 Hz para México (**ANEXO B**).

La elección de un inversor u otro, dependerá principalmente de la aplicación de la instalación fotovoltaica, es decir, de las cargas a satisfacer por la instalación, del rendimiento del inversor y del costo de los mismos.

Los inversores conectados directamente al campo fotovoltaico incorporan un sistema seguidor del punto de máxima potencia, de forma que el generador está siempre extrayendo la máxima potencia del sistema.

Los inversores llevan asociados un rendimiento en la transformación, que se define como el cociente entre la potencia de salida y la potencia de entrada del inversor y generalmente superior al 90% (ARAMBERRI, 2008). En la curva de rendimiento de un inversor (*Figura 45*) se observa que con 30% del potencial nominal³⁸ se obtiene el máximo rendimiento del mismo, sin embargo, para que sea estable el sistema se recomienda superar éste potencial nominal un 45% como mínimo, siendo así el rendimiento ubicado en la potencia nominal mínima de 75% superior aún a 90%.

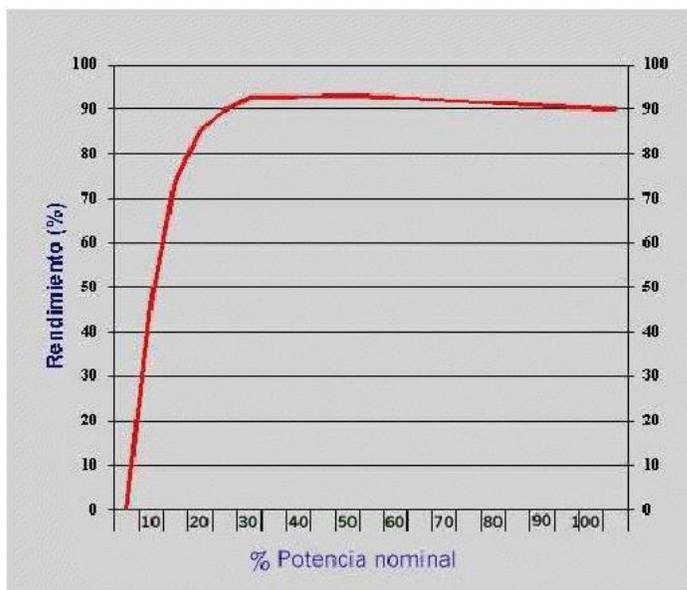


Fig. 45 Curva de rendimiento de un inversor.

Fuente: (ARAMBERRI, 2008)

3.3.4. Estructuras y accesorios

La estructura que soporta los módulos debe ser de material inalterable a la corrosión y a los agentes atmosféricos (acero galvanizado en caliente o el aluminio

³⁸ La potencia nominal es la potencia máxima que demanda una máquina o aparato en condiciones de uso normales.



anodizado³⁹). La estructura debe ser capaz de soportar el peso de los módulos (del orden de 10 kg/m²) y las cargas de viento y nieve, según la normativa vigente. Si se desea disminuir la resistencia al viento, es aconsejable separar los módulos entre sí del orden de 1 cm.

Especial atención deberá presentarse a los puntos de apoyo de la estructura. En el supuesto de que esta sea de tipo mástil es conveniente arriostrarla⁴⁰. Si la base donde descansa es de hormigón, es conveniente reforzarlo en sus extremos mediante tirantes de acero. En cuanto a los anclajes o empotramiento de la estructura, se utilizan bloques de hormigón y tornillos roscados. Tanto la estructura como los soportes habrán de ser preferiblemente de aluminio anodizado, acero inoxidable o hierro galvanizado y los tornillos de acero inoxidable. El aluminio anodizado es de poco peso y gran resistencia. El acero inoxidable es apropiado para ambientes muy corrosivos, siendo de mayor calidad y período de vida aunque presenta un elevado costo. Las estructuras de hierro galvanizado ofrecen una buena protección frente a los agentes corrosivos externos con la ventaja de que el zinc es compatible químicamente con el mortero de cal y de cemento, una vez que estos están secos. Las estructuras galvanizadas suelen montarse mediante tornillos.

Actualmente se está desarrollando un amplio rango de productos de estructuras para la instalación de los módulos fotovoltaicos en los edificios. Estos incluyen estructuras de montaje sobre fachadas, tejados, terrazas e incluso tejas fotovoltaicas que pueden ser utilizadas remplazando las tejas ordinarias (ARAMBERRI, 2008).

Los nuevos productos están orientados a una más fácil integración de los módulos fotovoltaicos en los edificios y a la corrección del impacto visual.

El resto de accesorios que incorpora una instalación fotovoltaica son elementos de seguridad y protecciones (caja de conexiones con diodo de bloqueo⁴¹), fusibles, interruptores magneto-térmicos⁴², etc., de utilización habitual en instalaciones de

³⁹ El **aluminio anodizado** es aquel aluminio que luego de cierto tratamiento electrolítico, es recubierto con una capa de protección artificial que se genera sobre el mismo mediante el óxido protector del aluminio, conocido como alúmina, la cual le brinda una mayor protección ante las amenazas del medio ambiente.

⁴⁰ **Arriostrar**. Colocar piezas de forma oblicua (es decir en una posición media entre la vertical y la horizontal), para dar estabilidad y que no se deforme un armazón.

⁴¹ Los diodos son componentes electrónicos que permiten el flujo de corriente en una única dirección. Los diodos de bloqueo impiden que la batería se descargue a través de los paneles fotovoltaicos en ausencia de luz solar.

⁴² Un **interruptor termo magnético**, o **disyuntor termo magnético**, es un dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos.

bajo voltaje, así como el cableado y técnicas de conexión utilizados de manera extensiva en este tipo de instalaciones.

El último accesorio que se instala es el medidor o contador, que se encarga de cuantificar la energía eléctrica que hemos producido, ya sea para ser utilizada directamente en la vivienda (Instalación fotovoltaica aislada) o inyectada en la red (Instalación fotovoltaica de conexión a red), en esta última con el fin de poder facturar a la compañía eléctrica la energía vertida en la red (*Figura 46*) nulificando el costo del servicio de la energía eléctrica comercial, o en su defecto obtener un descuento en el pago del mismo.

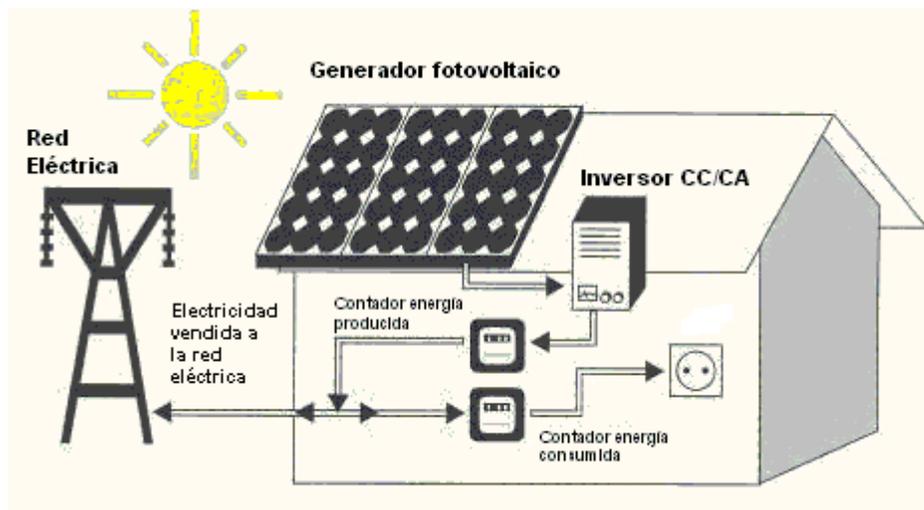


Fig. 46 Medidor o contador de energía eléctrica, instalación conectada a red.

Fuente: sustainable-tech.inf.um.es; Esquema típico de una instalación fotovoltaica conectada a red

3.4. UBICACIÓN Y SOMBRAS

3.4.1. Inclinación óptima

Las condiciones climáticas de un lugar suelen ser muy variables, y el funcionamiento del módulo fotovoltaico variará en función de éstas. Se debe procurar por tanto, que sobre el módulo incida la mayor irradiación posible, y que su temperatura, en cada instante, sea mínima. Esto se consigue con una buena selección de la inclinación, orientación y montaje de los módulos fotovoltaicos (ARAMBERRI, 2008).



La radiación solar que incide sobre una placa variará con el ángulo que forme la misma con la radiación. La captación será máxima cuando la posición de la placa solar sea perpendicular a la radiación.

La inclinación de los rayos del sol respecto a la superficie horizontal es variable a lo largo del año (máxima en verano, mínima en invierno) y por tanto, en instalaciones de paneles fijos, existirá un ángulo de inclinación que optimizará la colección de energía anual (*Cuadro 6*). Conviene buscar el ángulo de inclinación de los paneles respecto al plano horizontal que hace máxima la potencia media anual recibida (ZEUS, 2005).

Cuadro 6 Inclinación óptima paneles solares.

Latitud del lugar de instalación (en grados)	Ángulo de inclinación INVIERNO	Ángulo de inclinación VERANO
0 ÷ 15°	15°	15°
15 ÷ 25°	IGUAL QUE LATITUD	IGUAL QUE LATITUD
25 ÷ 30°	Latitud + 5°	Latitud - 5°
30 ÷ 35°	Latitud + 10°	Latitud - 10°
35 ÷ 40°	Latitud + 15°	Latitud - 15°
> 40°	Latitud + 20°	Latitud - 20°

Fuente: (ZEUS, 2005).

En la mayoría de los casos este ángulo coincide con la latitud del lugar de la instalación. Normalmente se suele tomar un ángulo mayor, aproximadamente 15°, en beneficio de una mayor captación durante el invierno, cuando la luminosidad disminuye, a costa de una peor captación en verano, cuando hay una mayor cantidad de luz. Si la instalación se va a usar preferentemente en verano conviene que la inclinación del colector sea menor que la latitud del lugar, aproximadamente en 15° (ZEUS, 2005).

3.4.2. Orientación óptima

La orientación preferida de los colectores es hacia el Sur, debido a que la trayectoria del Sol en movimiento Este a Oeste es simétrica respecto de la posición que ocupa al mediodía y a que es precisamente en este momento cuando la captación de energía solar es máxima (*Figura 47*) (ZEUS, 2005).

Las desviaciones hacia el Oeste o hacia el Este en un ángulo inferior a 30° hacen disminuir la radiación diaria recibida en un pequeño valor que se cifra en menos del 5%. Por el contrario, para ángulos superiores a este valor, las pérdidas en la irradiación captada son considerables. La orientación óptima de un colector es la que mira directamente hacia el Sur, pero si esto no es posible puede determinarse una variación aproximada de 15° (ZEUS, 2005).

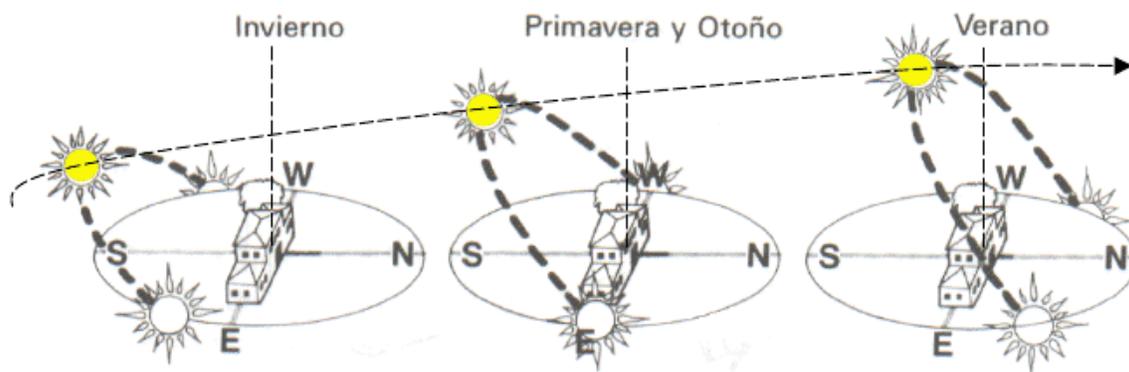


Fig. 47 Posiciones del Sol al amanecer, mediodía y ocaso en el hemisferio Norte en las diferentes estaciones o solsticios.

Fuente: (ZEUS, 2005)

3.4.3. Efectos del sombreado sobre campo fotovoltaico

Un sombreado parcial sobre un módulo, en el que quede sombreada una celda del módulo, hace variar la curva característica I-V de esa celda respecto a las demás, ya que la radiación incidente sobre ella es distinta (ARAMBERRI, 2008).

Esta celda sombreada puede, no sólo no producir corriente eléctrica, si no que puede consumirla, es decir, este sombreado ocasiona dos consecuencias inmediatas:

- Una disminución de la potencia máxima de la celda, con la disminución de la producción que esto conlleva.
- Producir una circulación de corriente en sentido inverso en la celda, convirtiéndose, la celda sombreada, en un elemento consumidor de energía en lugar de generador. Esta circulación inversa produce un sobrecalentamiento de la celda, deteriorándola, esto es lo que se conoce como efecto punto caliente.



En caso de que estos sombreados no sean temporales en horas de baja irradiación solar, es recomendable realizar un análisis de sombras sobre la instalación fotovoltaica.

3.4.4. Distancia entre paneles

La separación entre líneas de paneles se establece de tal forma que al mediodía solar del día más desfavorable (altura solar mínima) del período de utilización, la sombra de la arista superior de una fila ha de proyectarse, como máximo, sobre la cresta inferior de la siguiente.

En equipos de utilización todo el año o en invierno, el día más desfavorable corresponde al 21 de diciembre. En este día, la altura solar mínima al mediodía tiene el valor:

$$H \text{ mínima i.} = (90^\circ - \text{Latitud del lugar}) - 23^\circ 5'$$

Para los equipos de utilización solo en verano, los días más desfavorables pueden ser el 21 de marzo o de septiembre. En estos días, la altura solar mínima al mediodía solar será:

$$H \text{ mínima v.} = (90^\circ - \text{Latitud del lugar})$$

Existen en México generalmente, latitudes que obligan a tener una inclinación de paneles solares similar en grados a la latitud esto significa que la altura solar mínima al mediodía que ocurre en invierno (H mínima i.), y que es la más desfavorable porque crea la mayor sombra entre paneles, será igual o muy cercana a los 45° ; de acuerdo a este razonamiento los paneles cuya H mínima i. sea cercana a los 45° , deberán estar a una distancia mínima de al menos 1.2 hasta una máxima de 2.5 veces el ancho del panel, aseguramos así que nunca se proyecten sombras unos a otros (*Figura 48*) (ZEUS, 2005).



Fig. 48 Distancia entre paneles, mínima y máxima para la Ciudad de México.
Fuente: FGRT11

Por último el espacio o distancia que tiene cada panel solar con respecto a la superficie de apoyo (azotea o estructura metálica), puede ser calculado conociendo cuánto mide el ancho del panel solar y los grados de inclinación del mismo, con estos datos se utiliza la siguiente fórmula:

$$H = a (\text{seno } \alpha)$$

Siendo; H – altura del panel solar, a – ancho del panel solar y α – ángulo de inclinación del panel solar.



CAPÍTULO 4. INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS AISLADAS

4.1. ELECTRIFICACIÓN DE VIVIENDAS

4.1.1. Generalidades

Las electrificaciones aisladas son instalaciones que incorporan los siguientes componentes básicos:

- Generador fotovoltaico (G. FV)
- Regulador (R)
- Batería (B)
- Inversor (I) (sólo si hay cargas de consumo de corriente o energía alterna)

Las cargas que se pueden acoplar a estas instalaciones fotovoltaicas pueden ser de equipos en corriente continua (E c.c.) (iluminación, televisión, enlaces de telecomunicación, bombas para extracción de agua, laptop, etc.) y equipos en corriente alterna (E c.a.) (motores eléctricos, iluminación, licuadora, lavadora, etc.). Como consecuencia pueden surgir distintas configuraciones. Algunas de ellas se muestran a continuación a modo de ejemplo:

a) Instalación con consumo sólo en c.c. (*Figura 49*).

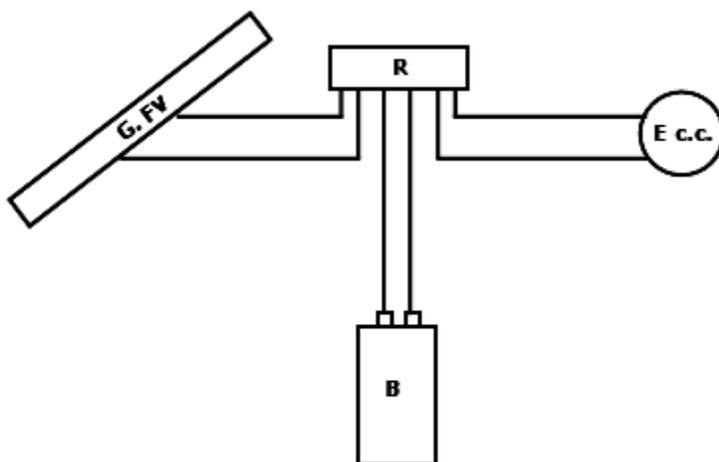


Fig. 49 Instalación con cargas de consumo en corriente continua, y regulador de carga/descarga.

Fuente: (ARAMBERRI, 2008)

b) Instalación con consumo sólo en c.a. (Figuras 50 y 51).

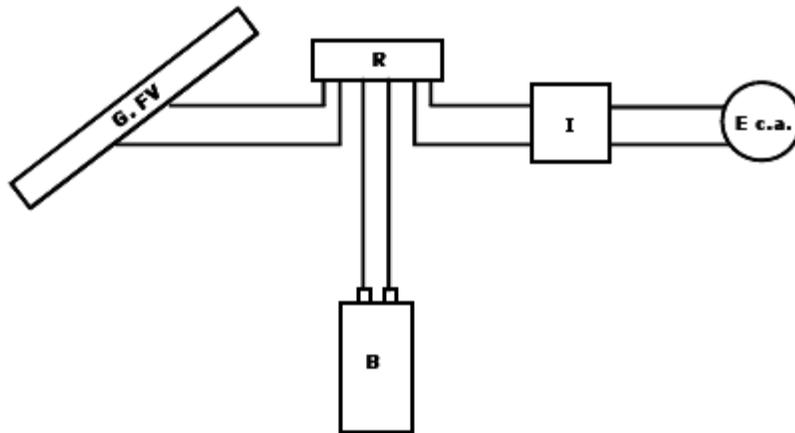


Fig. 50 Instalación con cargas de consumo en corriente alterna, y regulador de carga/descarga.

Fuente: (ARAMBERRI, 2008)

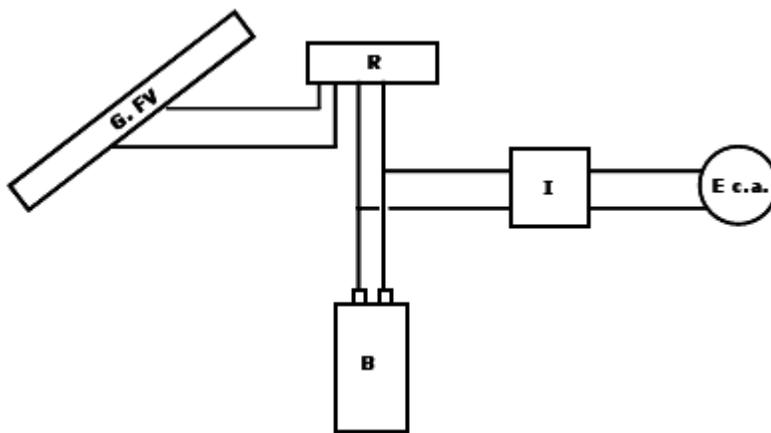


Fig. 51 Instalación con cargas de consumo en corriente alterna, y regulador de carga.

Fuente: (ARAMBERRI, 2008)

c) Instalación con consumo en c.c. y en c.a. (*Figuras 52 y 53*).

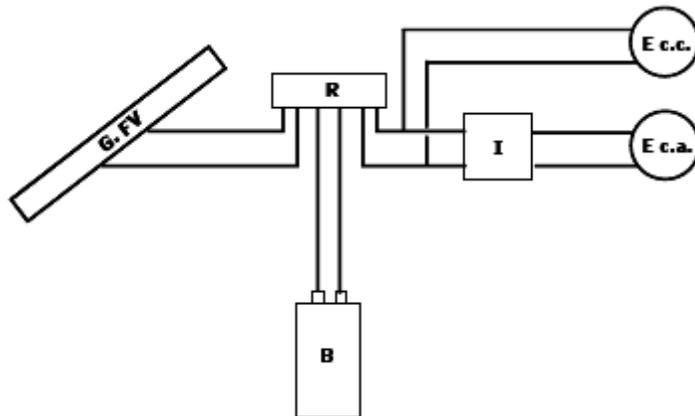


Fig. 52 Instalación con cargas de consumo en corriente continua y corriente alterna, y regulador de carga/descarga.

Fuente: (ARAMBERRI, 2008)

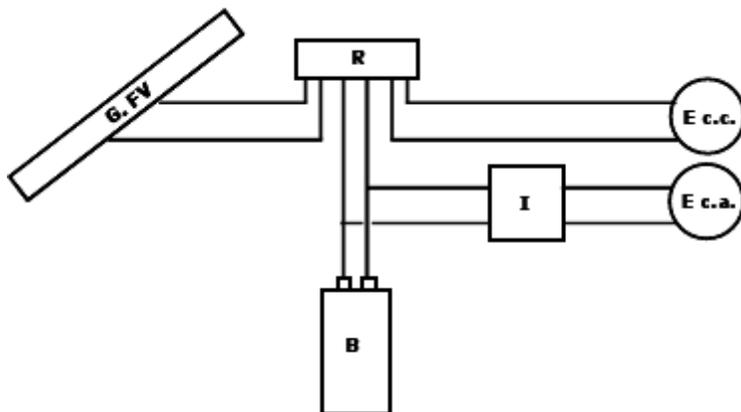


Fig. 53 Instalación con cargas de consumo en corriente continua y corriente alterna, y regulador de carga/descarga.

Fuente: (ARAMBERRI, 2008)

Actualmente casi la totalidad de inversores comerciales se encuentran con la opción de ser programados para controlar la descarga de baterías, por lo que las configuraciones más utilizadas han pasado a ser, en los últimos años, aquellas que sólo precisan de un regulador controlador de carga (*Figura 51*), en lugar de reguladores de carga y descarga.



Debido a que no se conoce con exactitud la radiación solar que incidirá diariamente sobre una instalación (por la aleatoriedad de la misma), no es posible diseñar una instalación fotovoltaica que garantice que en un día concreto se vaya a producir una cantidad de energía fijada. Son instalaciones flexibles tanto en la materia prima generadora de la energía como en la demanda de energía. El usuario no puede conocer *a priori*⁴³ la energía que va a necesitar un día determinado. Por lo tanto es importante incidir en que:

- Los datos de radiación utilizados para el cálculo sean estimaciones medias mensuales donde los errores sean pequeños.
- La demanda de energía, esté dentro de unos márgenes aceptables gracias a una adecuada estimación.
- La instalación producirá más o menos energía en función del recurso solar, por lo que es importante que el usuario sea consciente de ello y administre correctamente la energía disponible (ARAMBERRI, 2008).

4.1.2. Dimensionado básico y Recomendaciones de diseño

Para dimensionar una instalación fotovoltaica aislada, es necesario conocer la demanda de energía por parte del usuario, la energía solar real disponible, y a partir de estos datos dimensionar el tamaño de los distintos componentes de la instalación. Los pasos a seguir son:

1. Realizar una estimación detallada del consumo de energía eléctrica diaria media, a lo largo del año.

De un cuadro tipo como el siguiente *Cuadro 7*, se obtiene la demanda diaria media de energía para cada mes del año.

⁴³ La expresión *a priori* se traduce como: “previo a”, y se utiliza para indicar un tipo de conocimiento.



Cuadro 7 Cargas de consumo diarias típicas en electrificación aislada.

Equipo	Potencia (W)	Utilización (Horas/Día)	(Wh/Día)
Iluminación	15-25	10	150-250
Televisor b/n	20-40	4	80-160
Radio-cassette	5-15	1	5-15
Vídeo	40-60	1	40-60
Lavadora	350-450	1	350-450
Ordenador	200-250	1	200-250
Nevera	80-120	7	560-840
Congelador	100-150	7	700-1050
Televisor en color	50-100	4	200-400
...			

Fuente: (ARAMBERRI, 2008)

2. A partir de un cuadro de radiación diaria media mensual sobre superficies inclinadas 0-90° sobre la horizontal para la ubicación prevista (HSP), se busca la orientación e inclinación óptimas de campo fotovoltaico, acorde con la demanda energética prevista:

Para ello se calcula la diferencia Demanda o Dem (consumo energía) menos la Oferta (radiación incidente), para todas las inclinaciones posibles y meses del año. Se toma como mes más desfavorable aquel cuyo resultado de la diferencia entre la demanda y la oferta sea mayor. La inclinación adecuada para el mes elegido será aquella que maximiza la radiación recibida en dicho mes. Se obtiene así la producción de energía media diaria generada mensualmente por el campo fotovoltaico, para la orientación generalmente sur e inclinación óptima (ARAMBERRI, 2008).

3. Se selecciona una configuración de componentes determinada, en función del tipo de cargas de consumo y de la distancia existente entre los puntos de generación y de consumo.

4. Se descuentan de la generación de energía eléctrica estimada, las pérdidas previstas en cableado, baterías e inversor y las pérdidas por acoplamiento del generador fotovoltaico con las baterías. Se pueden cuantificar en total del orden del 30% de la energía eléctrica estimada generada.

Cuando se acopla un generador fotovoltaico a una batería, ésta marca el punto de funcionamiento (V) del generador fotovoltaico, que no coincide con el punto de



máxima potencia, esto ocasiona que la energía eléctrica producida por la instalación se vea reducida (10% de pérdidas por acoplamiento). Con el fin de minimizar las pérdidas, se debe determinar bien el número de módulos en serie de acuerdo con las condiciones de irradiación y temperatura del lugar, así como seleccionar el módulo adecuado. El regulador debe programarse de acuerdo a las tensiones de corte de las baterías, y se debe seleccionar un inversor con alto rendimiento y bien ajustado a la potencia demandada (ARAMBERRI, 2008).

5. La energía real producida por la instalación, y por tanto la disponible, debe ser en todos los meses del año igual o superior a la demanda de energía.

A partir de este valor se determina la potencia del campo fotovoltaico, el tamaño del regulador, baterías e inversor y el dimensionado de la sección de cableado correspondiente siguiendo las siguientes recomendaciones:

Recomendaciones.

- La tensión de trabajo del campo fotovoltaico (12, 24 ó 48 V), se seleccionará de acuerdo a criterios de seguridad y teniendo en cuenta la potencia del inversor a utilizar. El diseño del campo fotovoltaico vendrá delimitado por el voltaje de trabajo elegido de la instalación.
- La intensidad máxima del regulador será ligeramente superior a la intensidad de cortocircuito del generador en condiciones estándar, aunque su valor final depende del tipo de configuración.
- Es recomendable que la batería tenga al menos 5 días de autonomía (5-10 días). Se asegurará que se cumplan las indicaciones del fabricante respecto a su uso y su profundidad máxima de descarga, para que su duración no se vea reducida con el paso del tiempo.
- La potencia del inversor elegido debe como máximo, ser similar a la suma de las potencias de todos los equipos de consumo (se supone que todas las cargas no van a funcionar a la vez). A partir de este valor se puede aumentar su tamaño con un factor de seguridad del 20%. Hay que destacar que si se sobredimensiona, esto puede llevar a que el inversor funcione a muy bajo rendimiento la mayor parte del tiempo de uso.
- La intensidad máxima admisible del cableado, puede ser revisada en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión REBT⁴⁴ (ya que es útil para diferentes países), y se considerará una caída de voltaje máxima por tramo menor

⁴⁴ El Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, REBT, es un reglamento español de obligado cumplimiento que prescribe las condiciones de montaje, explotación y mantenimiento de instalaciones de baja tensión.

del 3% de la tensión nominal, fijando así la sección mínima de los cables a utilizar (ARAMBERRI, 2008).

Por último es conveniente evitar utilizar equipos de consumo que transformen electricidad en calor (estufas, radiadores, etc.), debido a la gran pérdida de rendimiento que presentan las continuas transformaciones de energía, y a la gran potencia de consumo de este tipo de aparatos que aumenta considerablemente el tamaño de la instalación(ARAMBERRI, 2008).

4.2. BOMBEO FOTOVOLTAICO

4.2.1. Generalidades

Estas instalaciones utilizan un generador fotovoltaico para alimentar un grupo de bombeo de agua, y no requieren de baterías (*Figura 54*) (ARAMBERRI, 2008).

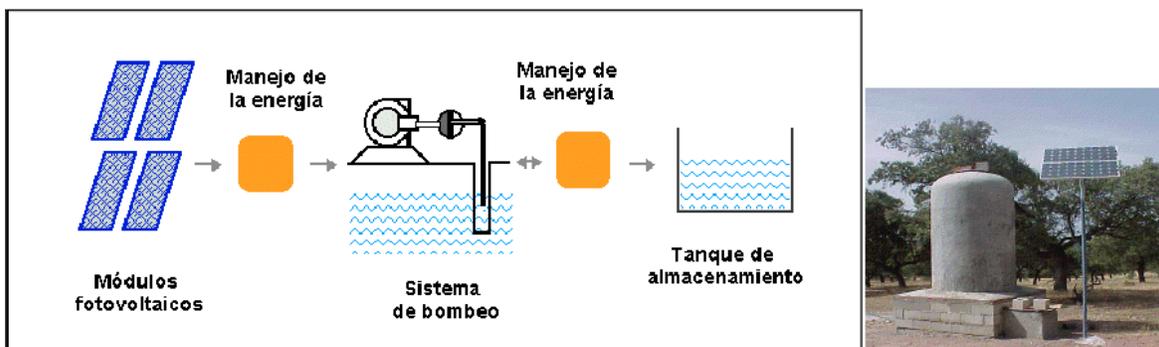


Fig. 54 Esquemas básicos de bombeo fotovoltaico.

Fuente: *New Mexico State University*; Guía para el desarrollo de proyectos con energía fotovoltaica.

En estas instalaciones el punto de partida es el volumen de agua diario requerido (caudal) y la altura total a vencer (altura geométrica más pérdidas por fricción) para bombear el agua desde su ubicación original (pozo) al depósito de almacenamiento.

4.2.2. Dimensionado básico y Recomendaciones de diseño

Los pasos básicos para dimensionar la instalación son:



1. Se estima la demanda media diaria del recurso hidráulico para cada mes del año.
2. Se estudia la oferta de recurso energético, a partir de cuadros de radiación solar (HSP) en función de la ubicación de la instalación, para diversas inclinaciones y orientación generalmente sur y para cada mes del año. Se calcula el mes más desfavorable (en el que hay menos radiación y mayor consumo), para asegurar el suministro en el mismo mes. Para calcular el mes más desfavorable y la inclinación adecuada para el dimensionado, se realiza la relación Demanda-Oferta (tal y como se ha indicado en el apartado 4.1.2).
3. Fijadas la orientación e inclinación del campo fotovoltaico, se calcula el caudal a aportar por la bomba y la potencia necesaria para realizar este aporte, basándose en las especificaciones del fabricante.
4. Se selecciona un módulo fotovoltaico, y se calcula el número de módulos y su conexión, con arreglo al voltaje de trabajo de la bomba.
5. Finalmente se evalúan las prestaciones energéticas⁴⁵ reales de la instalación de bombeo fotovoltaico.

Recomendaciones.

- En este caso, en el que no hay baterías que fijen voltaje de trabajo, las pérdidas por acoplamiento podrían ser muy elevadas, por lo que se utiliza un seguidor del punto de máxima potencia, que garantiza que la tensión a la salida del generador fotovoltaico está próxima a la de máxima potencia, fijando así un punto de trabajo óptimo para la instalación.
- Actualmente los sistemas de bombeo fotovoltaico que se instalan, deben ser garantizados por los fabricantes, tanto para la bomba, como para el generador fotovoltaico, para conseguir un buen acoplamiento de ambos y un funcionamiento adecuado.

⁴⁵El cálculo de las prestaciones energéticas permite definir las contribuciones, consumo y pérdidas, de la energía solar.



CAPÍTULO 5. INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS CONECTADAS A RED

5.1. ASPECTOS TÉCNICOS; CRITERIOS DE DISEÑO

5.1.1. Generalidades

Las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red comercial están diseñadas para verter a la red de distribución toda la energía que generan, pudiendo a su vez ser utilizada en una vivienda o casa.

El requerimiento básico para poder realizar una instalación fotovoltaica conectada a red en un edificio, nave industrial, o en cualquier otro espacio, reside en la disponibilidad de espacio libre de sombras, para la ubicación del generador fotovoltaico.

Los componentes básicos de una instalación fotovoltaica conectada a la red son los siguientes (*Figura 55*):

- Generador fotovoltaico
- Inversor
- Protecciones

Las protecciones aseguran la calidad de la energía vertida a la red actuando contra sobre-tensiones, sobre-corrientes y funcionamiento en modo isla (independiente). Actualmente casi todos los inversores incluyen, en su interior, estas protecciones.

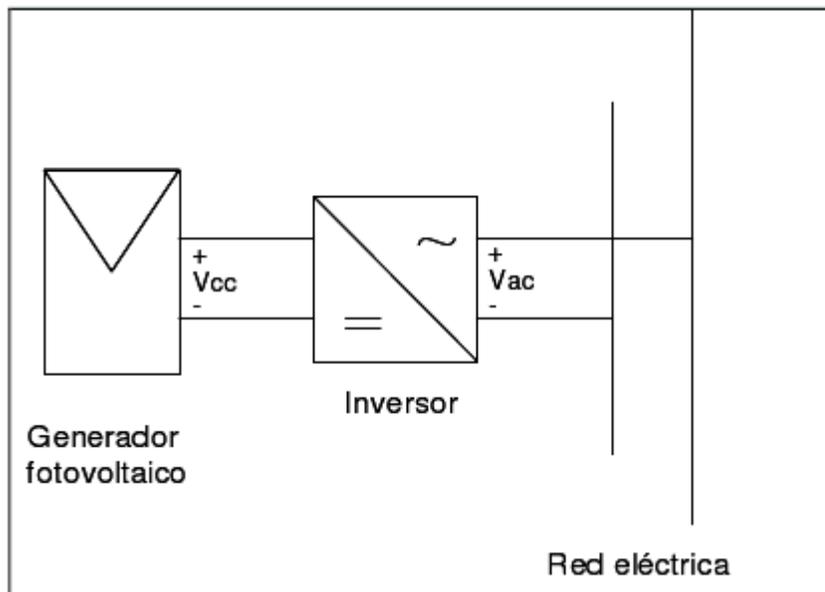


Fig. 55 Esquema simplificado de instalación de conexión a red.
Fuente: (ARAMBERRI, 2008)

Los requisitos técnicos de una instalación fotovoltaica de conexión a red son los de cualquier instalación eléctrica de baja tensión (voltaje), por tanto deben cumplir las exigencias de la normativa técnica vigente en baja tensión, por ejemplo el REBT, así como los requisitos técnicos indicados en la normativa específica para instalaciones fotovoltaicas de conexión a red de cualquier empresa distribuidora, y en el resto de legislación vigente (ARAMBERRI, 2008).

Una vez se disponga de un espacio para ubicar el campo fotovoltaico, hay que decidir sobre el tipo de campo a instalar, con o sin seguimiento solar. Existen varias opciones, entre ellas la más sencilla técnicamente hablando que consiste en que el campo fotovoltaico se encuentre fijo todo el año. Las características de este tipo de campo son:

- Menor costo de estructura
- Menor riesgo de avería al no haber partes móviles
- No requiere mantenimiento

Otras opciones son: la orientación fija del campo y 2 inclinaciones posibles, lo que mejora la captación de radiación anual en un 2%, y la opción de utilizar sistemas de seguimiento (los paneles se mueven automáticamente siguiendo al sol): ya sea



en dos ejes (30% de ganancia de captación), en eje vertical (con seguimiento del ciclo diario con un incremento del 25% en ganancia de captación) o en eje horizontal (con seguimiento en altura y ganancia del 5%).

El campo fotovoltaico fijo, es la opción recomendada para instalaciones en edificios, ya sean azoteas de edificios, cubiertas de naves industriales, etc., ya que por una parte, suelen ir en contra de la integración en el edificio, y además conllevan generalmente un sobre costo y mantenimiento extra que debe ser evaluado en relación al aumento de las prestaciones energéticas de las instalaciones, que en el caso de edificios no suelen ser de instalaciones de gran potencia.

En cambio estos sistemas sí pueden resultar interesantes en el caso de instalaciones de gran potencia (~ 1 MW), que se ubican en espacios alejados del entorno urbano, y que debido a su gran potencia se consigue mejorar considerablemente las prestaciones energéticas sin un elevado sobre costo de la instalación.

5.1.2. Dimensionado básico y Recomendaciones de diseño

1. El punto de partida en el dimensionado básico de instalaciones fotovoltaicas de conexión a red es el criterio a considerar a la hora de diseñar. Estos pueden ser:

- Potencia máxima a instalar (potencia pico Wp)
- Potencia en inversores (potencia en la inyección a la red W)
- Superficie disponible (superficie en m² e inclinación prefijadas) (150 Wp ~ 1 m²)
- Costos (existencia de presupuesto prefijado) (1 Wp ~ \$ 100 M.N.)

2. Una vez seleccionado el tamaño de la instalación, o potencia pico, la orientación e inclinación recomendada será aquella que maximice la producción energética anual. La orientación recomendada en todo el hemisferio norte, siempre es Sur, existiendo pérdidas de producción en relación a las posibles desviaciones de esta orientación óptima. Respecto a la inclinación, la recomendada es la más próxima a la latitud de la región.

3. Una vez seleccionado el módulo fotovoltaico, se diseña su modo de conexión para formar el campo generador fotovoltaico y se elige el inversor.

4. Se realizará un cálculo de prestaciones energéticas de la instalación con arreglo a los datos de radiación disponibles (HSP). En este balance deben considerarse



las pérdidas del sistema: en el generador fotovoltaico (suciedad, conexiones, punto de trabajo de cada sub-campo, transmitancia, eficiencia a baja irradiación, temperatura de operación de la celda, etc.), en el inversor (rendimiento y seguimiento del punto de máxima potencia) y en el cableado. Se puede considerar, en general, que el factor de pérdidas ascienda al 25% de la producción ideal.

Como resultado del balance de energía, la energía diaria estimada que es capaz de generar una instalación fotovoltaica conectada a red vendrá dada por la siguiente expresión:

$$E_{FV} \text{ (kWh)} = \text{Potencia instalada (Wp)} \times \text{HSP} \times \text{Factor de pérdidas}$$

Recomendaciones.

Para diseñar el campo fotovoltaico y seleccionar el inversor adecuado hay que tener en cuenta:

- Elegir el módulo adecuado y diseñar las conexiones serie-paralelo de éstos, teniendo en cuenta que el inversor seleccionado tendrá mejor rendimiento si el campo fotovoltaico trabaja a tensiones mayores que si lo hace a tensiones menores. El voltaje de trabajo vendrá fijado por el número de módulos conectados en serie.
- El número de módulos en paralelo será el resultado de dividir el número total de módulos entre el número de módulos en serie, ya elegido.
- Para obtener un acoplamiento adecuado entre el generador fotovoltaico y el inversor la relación de potencias recomendable es, $W / Wp \sim 0.8$.
- En el caso de querer asegurar la producción, se puede subdividir el campo fotovoltaico en varios sub-campos con sus correspondientes inversores.
- El inversor deberá seleccionarse teniendo en cuenta su rango de tensiones (voltajes) de trabajo de entrada y salida, comprobando que incluye el voltaje de salida del campo fotovoltaico, atendiendo siempre a las recomendaciones del fabricante.

CAPÍTULO 6. ESTUDIO DE CASO

6.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO DE CASO

6.1.1. Reseña histórica

La Delegación Gustavo A. Madero, denominada así en memoria del insigne mexicano mártir de la Decena Trágica, se localiza al norte del Distrito Federal, con una altitud al nivel del mar de 2,278 Mts. Colindando al noreste y al noroeste con el Estado de México, además de las Delegaciones Cuauhtémoc y Venustiano Carranza al sur, y con la Delegación Azcapotzalco al oeste. (*Figura 56*) (SEGOB, 2010).

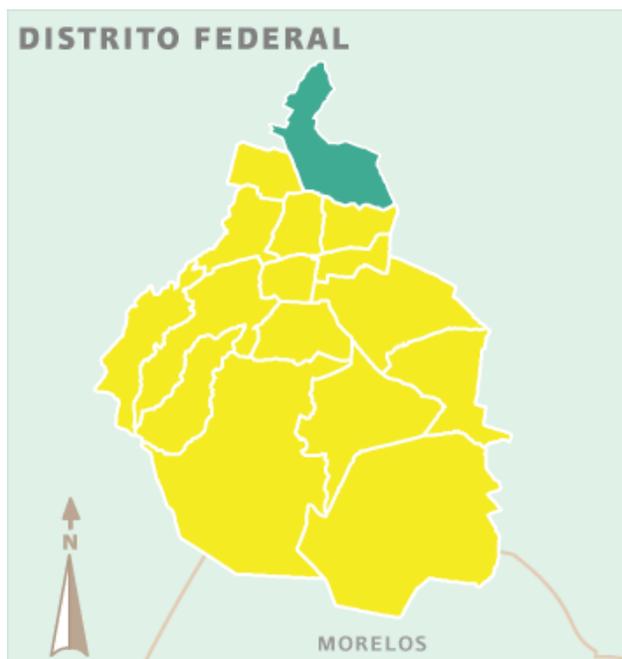


Fig. 56 Ubicación de la Delegación Gustavo A. Madero.
Fuente: (SEGOB, 2010)

El centro territorial de la actual Delegación en la época prehispánica se le conoció con el nombre de Tepeaca, pero con la llegada de los peninsulares se le llamó pueblo de Tepeaquilla, y por acta de Cabildo, el 3 de diciembre de 1563 se denominó oficialmente y por primera vez con el nombre de Guadalupe (Río de



Lobos), con una población no superior a los 300 habitantes, dividida en dos grandes renglones, la indígena sujeta a reducción y la de españoles y mestizos; la primera se erigiría con el tiempo en pueblo y la segunda en Villa.

El 7 de agosto de 1931, con aprobación del Senado de la República, la Ciudad de Guadalupe Hidalgo se transformó en Delegación del Departamento del Distrito Federal, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 24 de septiembre del mismo año, y se le designó con el nombre del mártir revolucionario Gustavo A. Madero (SEGOB, 2010).

6.1.2. Características del área de estudio

Localización

La Delegación Gustavo A. Madero se localiza en el norte del Distrito Federal en las coordenadas geográficas 19 grados 29 minutos de latitud norte y a los 99 grados 7 minutos de longitud oeste (SEGOB, 2010).

Extensión

La Delegación Gustavo A. Madero cuenta con una superficie de 91.5 kilómetros cuadrados, la cual representan el 6.1% del total del territorio del Distrito Federal.

Orografía

El territorio de la Delegación Gustavo A Madero es en su gran mayoría plano y en lo que es la sierra de Guadalupe el terreno es accidentado (SEGOB, 2010).

Hidrografía

Dentro del territorio de la Delegación cruza el drenaje profundo, el gran canal del desagüe de la Ciudad de México y el río de los Remedios que divide parte de la Delegación Gustavo A. Madero con el Estado de México.

Clima

El clima en la Delegación es el que prevalece en el centro de la Ciudad el cual no tiene grandes cambios, con una temperatura media anual de 15 grados Celsius (SEGOB, 2010).



Principales Ecosistemas

El territorio de la Delegación está prácticamente casi todo poblado con excepción de lo que queda de la sierra de Guadalupe.

Características y Uso de Suelo

Habitacional Industrial y comercial.

La localidad del estudio de caso como ya se explicó en la justificación, fue seleccionada debido a su estatus social promedio, a su estabilidad climática, y por su ubicación cercana a los datos y recursos de las energías renovables.

La zona donde se realizará el diseño de la propuesta, de la energía renovable, está ubicada en la localidad, San Juan de Aragón, 4ª y 5ª Secciones, en la Delegación Gustavo A. Madero, México, D.F., (**ANEXO A**).





CAPÍTULO 7. INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL ESTUDIO DE CASO

7.1. SELECCIÓN DE LA ENERGÍA RENOVABLE A INSTALAR

Debido a las características del área de estudio (apartado 6.1.2) y el texto inicial del capítulo 3, se establece que la energía renovable pertinente para la población del estudio de caso es la energía solar, más específicamente los sistemas fotovoltaicos.

Este tipo de instalaciones se montan en zonas donde no haya grandes vientos y que no nieve porque se puede dañar la instalación. Los paneles no deben estar en lugares tapados del sol, evitando objetos cercanos que le produzcan sombras o que interfieran en la llegada de los rayos solares.

La instalación a diseñar, más específicamente será una instalación fotovoltaica conectada a la red del servicio eléctrico.

7.2. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN PARA INTRODUCIR LA ENERGÍA RENOVABLE SELECCIONADA

7.2.1. Cálculo de las horas sol pico (HSP)

Primeramente se calcula el concepto relacionado con la radiación solar, las “horas sol pico” (HSP). Recordemos que se denomina HSP al número de horas diarias que con una irradiación solar ideal de $1,000 \text{ W/m}^2$, proporciona la misma irradiación solar total que la real de ese día.

De acuerdo con las características del área de estudio, La Delegación Gustavo A. Madero se localiza en el norte del Distrito Federal en las coordenadas geográficas 19 grados 29 minutos de latitud norte y a los 99 grados 7 minutos de longitud oeste, sin embargo con el *software* Google *Earth*, podemos obtener las coordenadas exactas de la vivienda ubicada en la zona del estudio de caso (**ANEXO A**) (*Figura 57*).



Fig. 57 Ubicación de la vivienda del estudio de caso en Google Earth.
Fuente: *software Google Earth*

Como podemos observar las coordenadas de la vivienda son 19 grados 27 minutos Norte y 99 grados 4 minutos Oeste. Solo nos interesa conocer los grados y minutos, ya que el programa que se utiliza para calcular la irradiación solar de la zona, descarta los segundos. Además gracias al *software Google Earth*, podemos conocer la altitud exacta de la zona del estudio de caso, que resulta ser 2,234 metros sobre el nivel medio del mar (m.s.n.m.).

Para poder realizar el cálculo de las HSP, primero se necesita saber cuál es la irradiación solar que incide en la zona del estudio de caso, para ello se ingresa al *software PVSYST 5*⁴⁶, se selecciona la opción pre dimensionamiento y después el tipo de sistema a diseñar el cual será en este caso Conectado a la Red y se pulsa el icono *ok*⁴⁷ (*Figura 58*), aparecerá una nueva ventana donde primeramente nos pedirá la ubicación del proyecto en este icono se introduce la latitud, longitud y altitud que describen la ubicación en el planeta de la vivienda (*Figura 59*).

⁴⁶ PVSYST 5 es un *software* o programa utilizado para hacer una simulación realista de una instalación fotovoltaica, su acrónimo significa *Photovoltaic System* y el número 5 indica la generación del programa.

⁴⁷ La locución "OK" u "okey" proviene del inglés estadounidense y se usa como equivalente a la tradicional "de acuerdo" o "está bien" o "vale" para indicar conformidad.

Option	Sistema
<input checked="" type="radio"/> Pre-dimensionado	<input checked="" type="radio"/> Conectado a la red
<input type="radio"/> Diseño del proyecto	<input type="radio"/> Aislado
<input type="radio"/> Herramientas	<input type="radio"/> Bombeo
	<input type="radio"/> Red CC

Fig. 58 Ingreso de datos iniciales *software* PVSYST 5.
Fuente: *software* PVSYST 5

Parámetros del lugar geográfico

Coordenadas Geográficas | Climatología Mensual

Ubicación

Nombre del lug

País Región

	Decimal	Deg.	min.	
Latitud	<input type="text" value="19.45"/>	<input type="text" value="19"/>	<input type="text" value="27"/>	(+ = Norte, - = Hemisferio Sur)
Longitud	<input type="text" value="-99.07"/>	<input type="text" value="-99"/>	<input type="text" value="4"/>	(+ = Este, - = Oeste Greenwich)
Altitud	<input type="text" value="2234"/>	Metros sobre el nivel del mar		
Huso horario	<input type="text" value="-7"/>	Corresponde a una diferencia media		
				Hora Legal - Hora Solar = 0h-23m 

Fig. 59 Ingreso de datos geográficos *software* PVSYST 5.
Fuente: *software* PVSYST 5

Obsérvese que el huso horario (*Figura 60*), así como los demás parámetros, sean introducidos de forma correcta siguiendo las indicaciones del *software*.

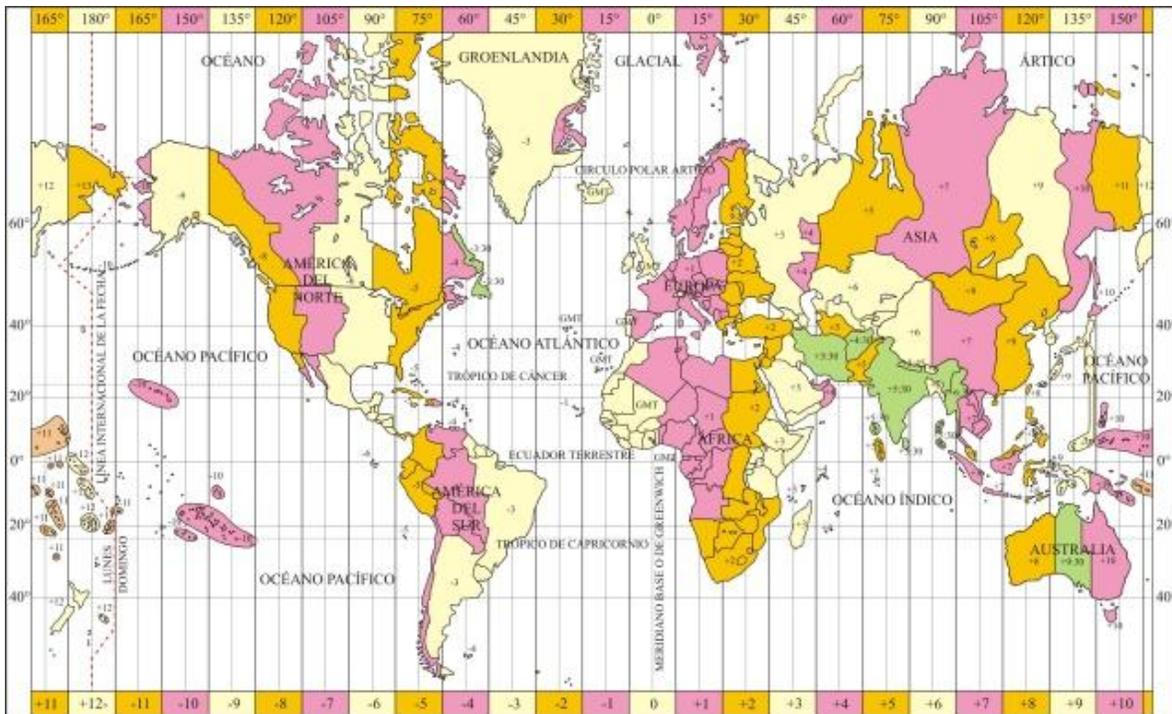


Fig. 60 Mapa de husos horarios del mundo.

Fuente: cartografia.webcindario.com; La localización geográfica

Una vez introducidos los datos geográficos el *software* PVSYST 5 proporciona la climatología mensual del *Cuadro 8*, la cual nos informa acerca de la irradiación por mes expresada en kWh/m² x mes, así como la temperatura exterior media y la velocidad del viento que son factores importantes en la obtención de energía solar. También describe la irradiación difusa, es decir aquella irradiación que no será constante o precisa, debido a diferentes factores climatológicos y propios de la instalación (nubosidad, lluvia, suciedad, conexiones, punto de trabajo de cada sub-campo, transmitancia, eficiencia a baja irradiación, temperatura de operación de la celda, etc.).



Cuadro 8 Climatología mensual en kWh/m² x mes.

	Irradiación solar	Difuso	Temperatura	Velocidad Viento
	kWh/m ² x mes	kWh/m ² x mes	°C	m/s
Enero	141.0	56.0	13.9	4.1
Febrero	151.0	56.0	15.0	5.1
Marzo	184.0	71.0	17.2	5.1
Abril	182.0	76.0	18.9	4.1
Mayo	173.0	84.0	19.4	4.6
Junio	163.0	81.0	19.4	4.6
Julio	159.0	83.0	18.3	4.6
Agosto	153.0	81.0	18.3	4.6
Septiembre	132.0	73.0	17.8	4.6
Octubre	141.0	69.0	17.2	4.6
Noviembre	130.0	58.0	15.6	4.1
Diciembre	134.0	54.0	14.4	3.1
Año	1843.0	842.0	17.1	4.4

Fuente: *software* PVSYST 5.

Es importante mencionar que la irradiación solar por mes, se suma para obtener un total anual, mientras que con relación a la temperatura y la velocidad del viento, nos interesa más su promedio anual.

El *software* PVSYST 5, también nos proporciona la irradiación solar en kWh/m² x día, *Cuadro 9*, en la cual se omiten los datos de la velocidad del viento y de la temperatura porque no cambian.



Cuadro 9 Climatología mensual en kWh/m² x día.

	Irradiación solar	Difuso
	kWh/m ² x día	kWh/m ² x día
Enero	4.55	1.81
Febrero	5.39	2.00
Marzo	5.94	2.29
Abril	6.07	2.53
Mayo	5.58	2.71
Junio	5.43	2.70
Julio	5.13	2.68
Agosto	4.94	2.61
Septiembre	4.40	2.43
Octubre	4.55	2.23
Noviembre	4.33	1.93
Diciembre	4.32	1.74
Promedio Año	5.05	2.31

Fuente: *software* PVSYST 5.

Una vez obtenidos los datos del *Cuadro 9*, podemos calcular las HSP, con lo cual se obtiene el *Cuadro 10*.

Cuadro 10 “horas sol pico” (HSP).

	Irradiación solar	HSP
	kWh/m ² x día	horas
Enero	4.55	4.55
Febrero	5.39	5.39
Marzo	5.94	5.94
Abril	6.07	6.07
Mayo	5.58	5.58
Junio	5.43	5.43
Julio	5.13	5.13
Agosto	4.94	4.94
Septiembre	4.40	4.40
Octubre	4.55	4.55
Noviembre	4.33	4.33
Diciembre	4.32	4.32
Promedio Año	5.05	5.05

Fuente: *software* PVSYST 5.



Para obtener las HSP solamente se divide la irradiación solar por día entre 1,000 W/m^2 x día, recordemos que 1 kWh equivale a 1,000 Wh. Ejemplo:

En enero la irradiación solar es 4.55 kWh/m^2 x día que son 4550 Wh/m^2 x día, esta cantidad dividida entre 1,000 W/m^2 x día resultará en 4.55 “horas sol pico”.

Además el índice de claridad KT, aparece también en los resultados al utilizar el *software* PVSYST 5, y es un parámetro óptico, cuyo estudio está ligado al interés mundial en el uso de energías renovables y nos indica en forma general, directa o indirectamente a través de análisis estadísticos, el estado atmosférico local, es decir las condiciones y características climáticas y el cambio de las mismas en el transcurso del tiempo. También hay otros resultados como la cantidad de W/m^2 , o la irradiación en Mega Joule; sin embargo por el momento están sobrados o no son requeridos.

Con ayuda del *software* PVSYST 5 podemos obtener gracias a los datos de localización, las trayectorias del sol en coordenadas polares (*Figura 61*) y coordenadas cartesianas (*Figura 62*), que nos indican a su vez las diferentes alturas del sol en distintos días y a distintas horas.

Trayectoria solar en la Ciudad de México , (Lat. 19.4°N, long. 99.1°W, alt. 2234 m)

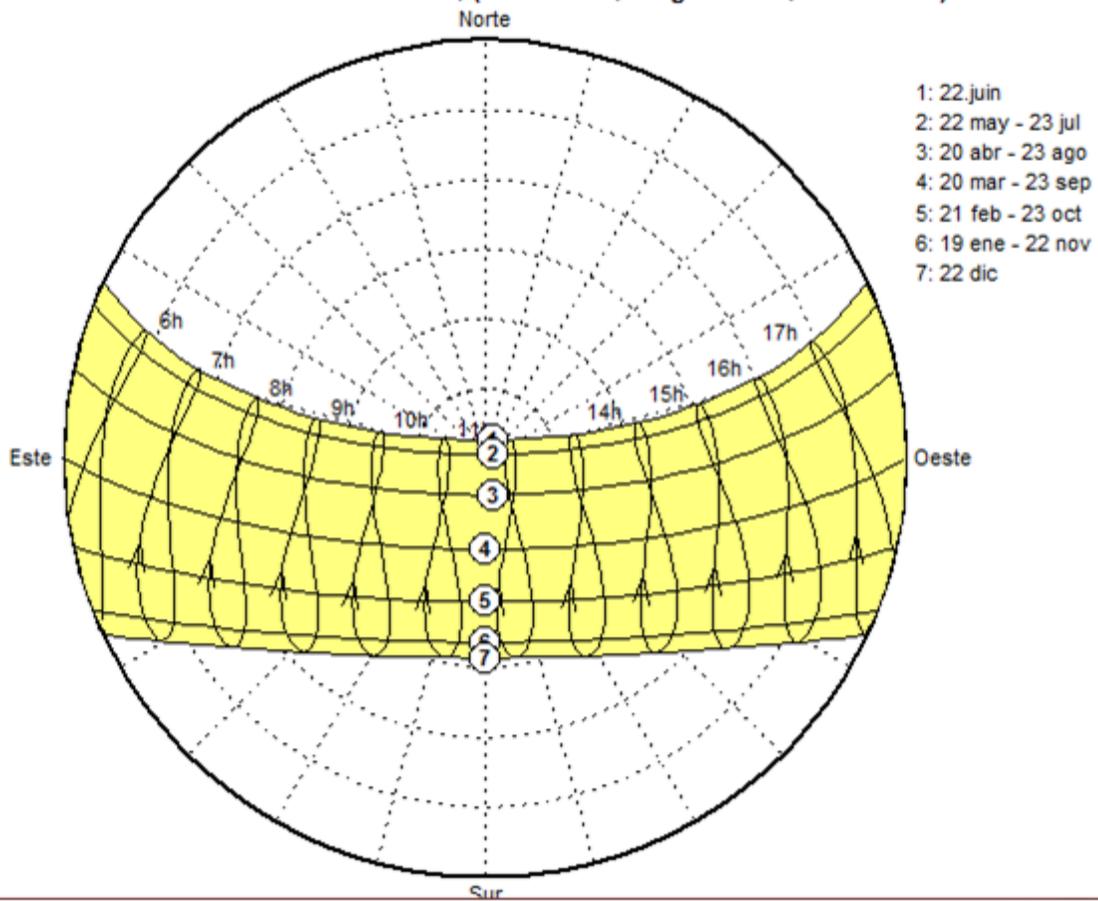


Fig. 61 Trayectoria solar en coordenadas polares.
Fuente: *software* PVSYST 5

Trayectoria solar en la Ciudad de México, (Lat. 19.4°N, long. 99.1°W, alt. 2234 m)

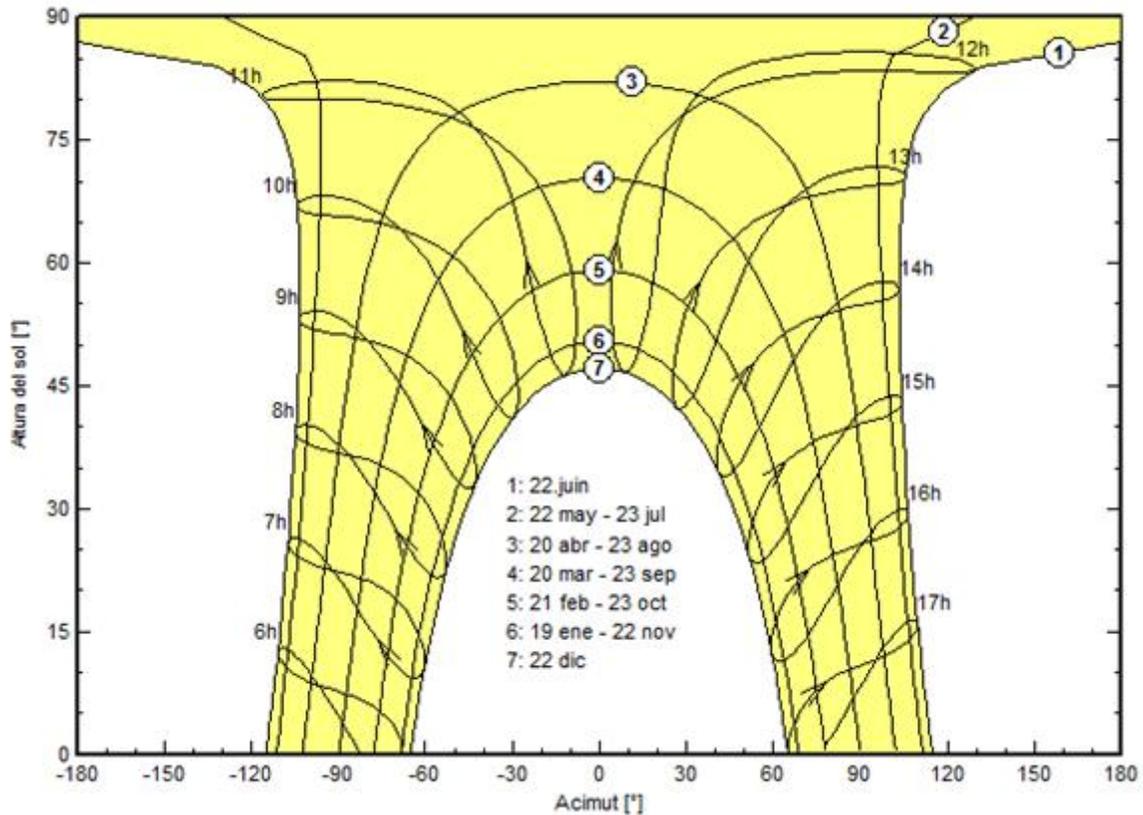


Fig. 62 Trayectoria solar en coordenadas cartesianas.

Fuente: *software* PVSYST 5

7.2.2. Cálculo de la inclinación y orientación óptimas

Ahora se continúa con el cálculo de la inclinación y orientación óptimas. Para poder realizar ambas se debe tener en cuenta lo estipulado en el apartado 3.4.1 y 3.4.2, donde se nos indica primeramente que para obtener la inclinación óptima de los paneles solares se toma en consideración que incida la mayor cantidad de irradiación solar, evitando en lo posible que se calienten demasiado los paneles solares.

Los paneles serán fijos, debido a que los sistemas de seguimiento requieren de una inversión costosa, además de que su mantenimiento debe ser constante para evitar fallas en el mecanismo, por tanto incrementaría aún más su costo; por tanto

los paneles solares tendrán una sola posición durante todo el año, y existirá un ángulo de inclinación que optimizará la colección de energía anual (máxima en verano, mínima en invierno) ver *Figura 47*.

El *Cuadro 6* nos indica, que al encontrarse la vivienda del estudio de caso en una latitud de 19 grados 27 minutos Norte, es decir dentro del rango entre los 15 grados y 25 grados, el ángulo de inclinación de los paneles solares deberá ser igual que la latitud; concluyendo que la inclinación óptima de los paneles solares es 19 grados 27 minutos. Se hace la observación de que físicamente la inclinación de los paneles será de 20 grados cerrados, esto con el objetivo de que el diseño sea más sencillo (*Figura 63*).

Una vez determinada la inclinación óptima, pasamos a determinar la orientación que deberán tener los paneles solares, para ello el apartado 3.4.2 nos indica que la orientación preferida de los colectores es hacia el Sur, debido a que la trayectoria del Sol en movimiento Este a Oeste es simétrica respecto de la posición que ocupa al mediodía y a que es, precisamente en este momento, cuando la captación de energía solar es máxima. Por tanto concluimos que la orientación optimizada será en dirección al Sur (*Figura 63*).

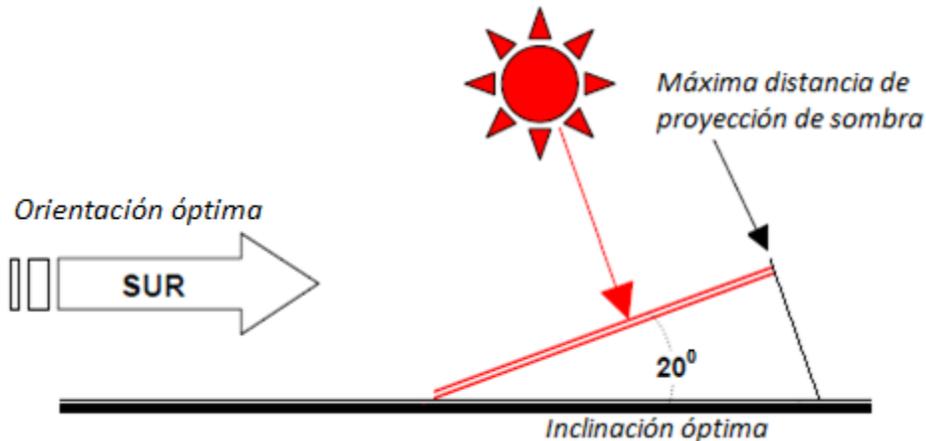


Fig. 63 Inclinación y Orientación óptimas para el estudio de caso.
Fuente: FGRT11

7.2.3. Cálculo de la distancia entre paneles

Se procede a determinar la distancia o separación entre los paneles solares, tal que aseguremos que entre los mismos no se generen sombras obstruyendo la



irradiación del sol, para ello utilizamos la fórmula del apartado 3.4.4 debido a que nuestra instalación es fija y su utilización es durante todo el año, la altura solar mínima al mediodía es:

$$H \text{ mínima invierno} = (90^\circ - \text{Latitud del lugar}) - 23^\circ 5'$$

Es decir:

$$H \text{ mínima i.} = (90^\circ - 19^\circ 27') - 23^\circ 5' = 47^\circ 28'$$

Esto significa que en el día más desfavorable (diciembre 21), la sombra proyectada no sobrepasara la longitud del ancho del panel pero para estar seguros, y por indicaciones del apartado 3.4.4 pondremos la siguiente serie de paneles a una distancia no menor de 1.2 veces el ancho de los mismos.

Una vez determinadas la orientación, inclinación y distancia entre paneles, podemos proceder a introducirlas como datos en el *software* PVSYST 5 en el icono llamado Sistema, como se muestra a continuación en la *Figura 64*.

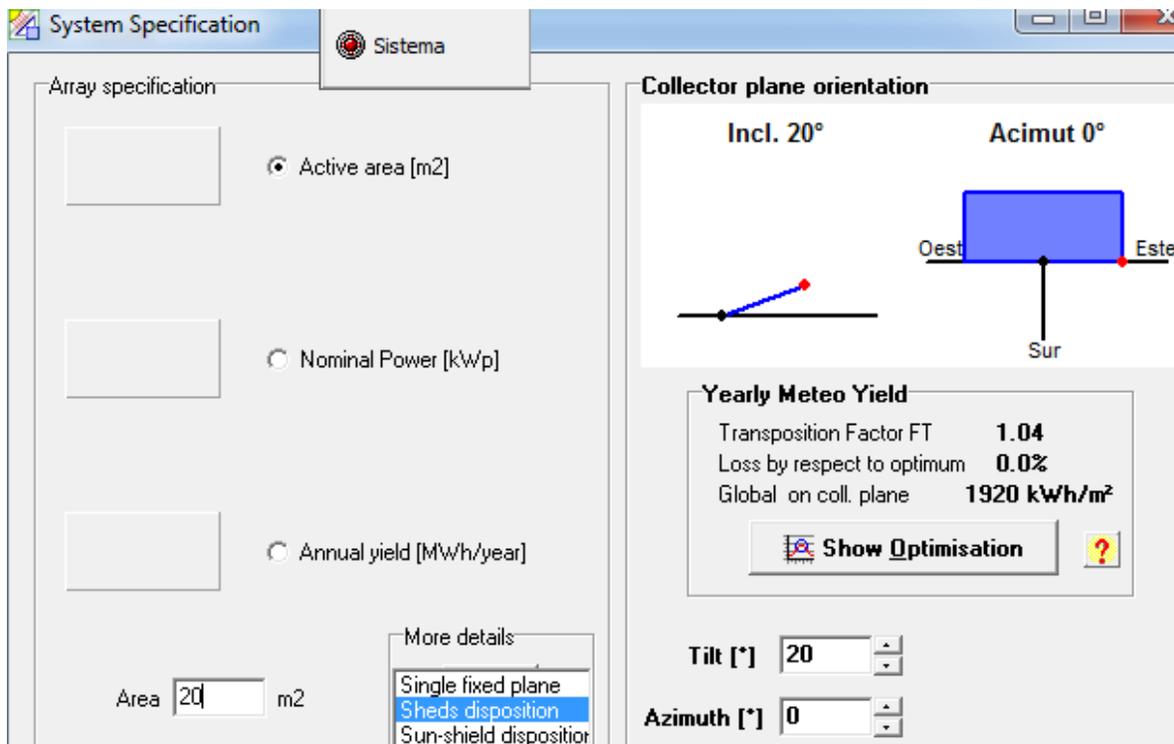


Fig. 64 Especificaciones del sistema (inclinación, orientación, área activa).
 Fuente: *software PVSYST 5*

Como se puede apreciar han sido introducidos los valores de la inclinación que son 20° y de la orientación Sur traducida en un Azimut de 0°, lo cual puede ser malinterpretado, sin embargo al observar detalladamente la imagen de la orientación se aprecia claramente un punto negro que nos indica que la inclinación del panel solar está orientada correctamente hacia el Sur.

Para poder comenzar el proceso de cálculo con los datos anteriores, hace falta conocer el área activa, es decir, el área total que van a ocupar los paneles solares. Para el estudio de caso se tiene un techo libre de obstáculos y sombras de aproximadamente 38 m², sin embargo, considerando que entre las series de paneles debe haber una distancia de al menos 1.2 veces el ancho del panel, se considera solamente un área activa de 20 m² proporcionalmente hablando (*Figura 65*), el tamaño de cada módulo o panel solar es de 1 m² por tanto serán 20 paneles solares.

Recordemos también que el espacio o distancia que tiene cada panel solar con respecto a la superficie de apoyo (azotea o estructura metálica), puede ser calculado con la siguiente fórmula:

$$H = a (\text{seno } \alpha)$$

Siendo; H – altura del panel solar, a – ancho del panel solar y α – ángulo de inclinación del panel solar.

Ejemplificando con los valores del estudio de caso, obtenemos: $H = 1 \text{ m}$ ($\text{seno } 20^\circ = 0.34$ m aproximadamente).

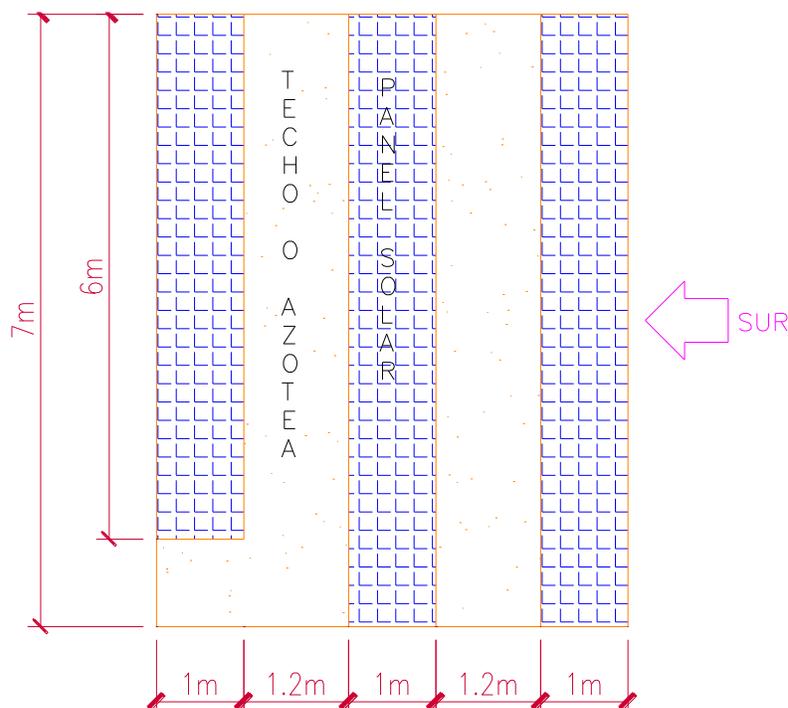


Fig. 65 Área activa aproximada (área ocupada por los paneles solares).
Fuente: FGRT11

Al presionar el icono de mostrar optimización (*show optimisation*), podemos ver 2 gráficas que describen que tan buena es nuestra inclinación y orientación siendo la más adecuada en ambos casos para todo el año esto debido a que su eficiencia está cercana a la unidad y su proporción de pérdidas es igual a cero, es decir en la gráfica de la inclinación los 20° están en lo más alto de la curva, y es de forma

análoga en la orientación (*Figura 66*), sin embargo cabe mencionar que no pasaría lo mismo si el sistema funcionara solo el verano o solo el invierno.

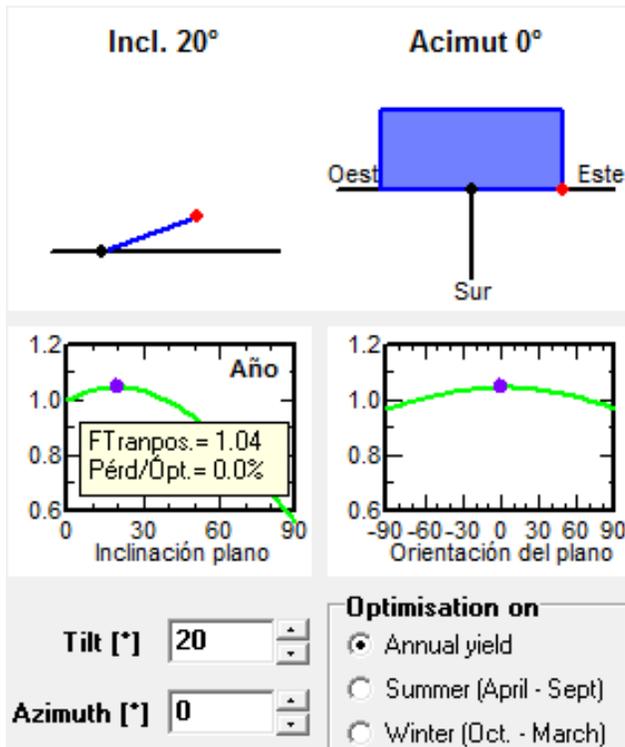


Fig. 66 Gráficas de orientación e inclinación, sistema funcional todo el año.
Fuente: *software* PVSYST 5

También se pueden obtener más detalles, por ejemplo, el sombreado que inevitablemente habrá a ciertas horas y que variara dependiendo también del mes del año (*Figura 67*), sin embargo solo existe sombreado si las líneas punteadas negras tocan la trayectoria solar, lo que ocurre solo antes de las 7:15 horas y solo después de las 17:00 horas en días selectos.

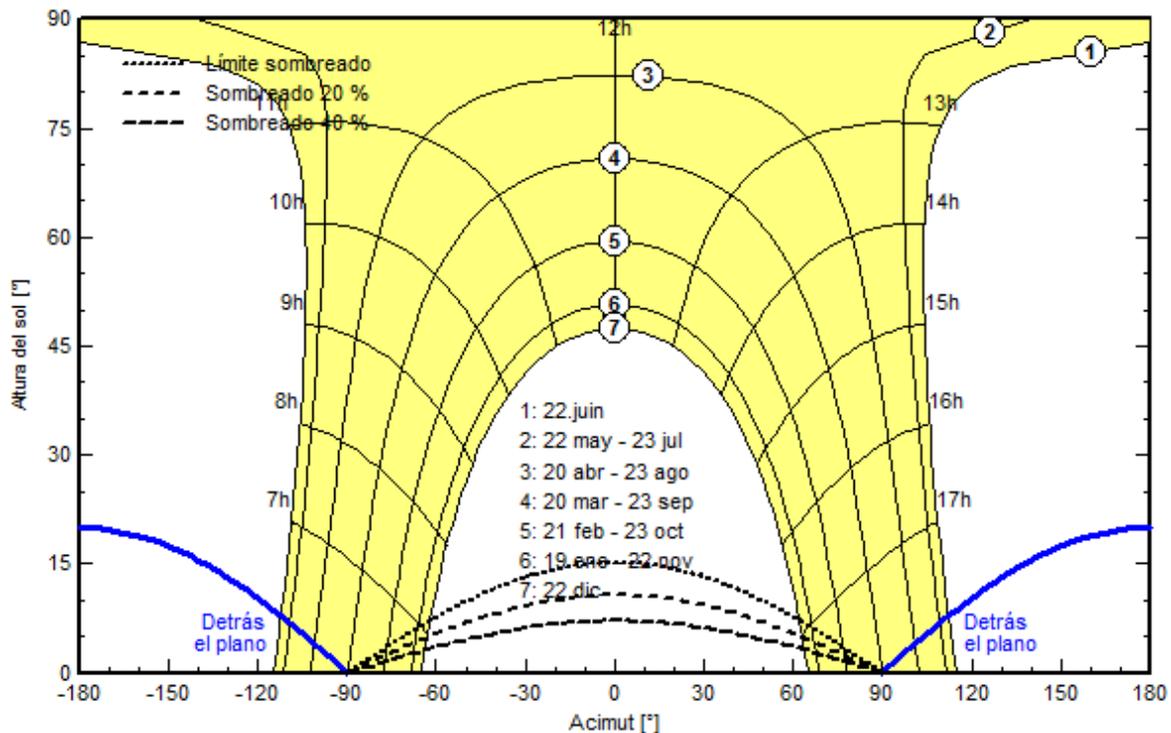


Fig. 67 Líneas de sombreado en la trayectoria del sol.
Fuente: software PVSYST 5

7.2.4. Selección del tipo de sistema fotovoltaico

Una vez que se analizaron los valores iniciales proporcionados por la ventana Especificaciones del Sistema podemos proseguir a seleccionar las condiciones: tipo de panel (*Modul Type*), disposición de la instalación (*Mounting disposition*), tecnología (*Technology*) y propiedades de la ventilación (*Ventilation property*) (Figura 68). El tipo de panel será Standard para facilitar su obtención. La disposición de la instalación será en el techo o azotea debido a que es una vivienda y la superficie es plana. La tecnología seleccionada serán las celdas de silicio policristalino esto debido a que su costo es menor a las de silicio monocristalino, y su eficiencia es muy similar, además aunque la de película delgada es la más barata, produce poca electricidad. Por último la especificación de la ventilación será "solo ventilada", debido a que no es necesario elevar un panel que se encuentra en una zona estable climatológicamente hablando, y tampoco se puede restringir la ventilación totalmente, porque al calentarse demasiado los paneles no funcionarían adecuadamente.

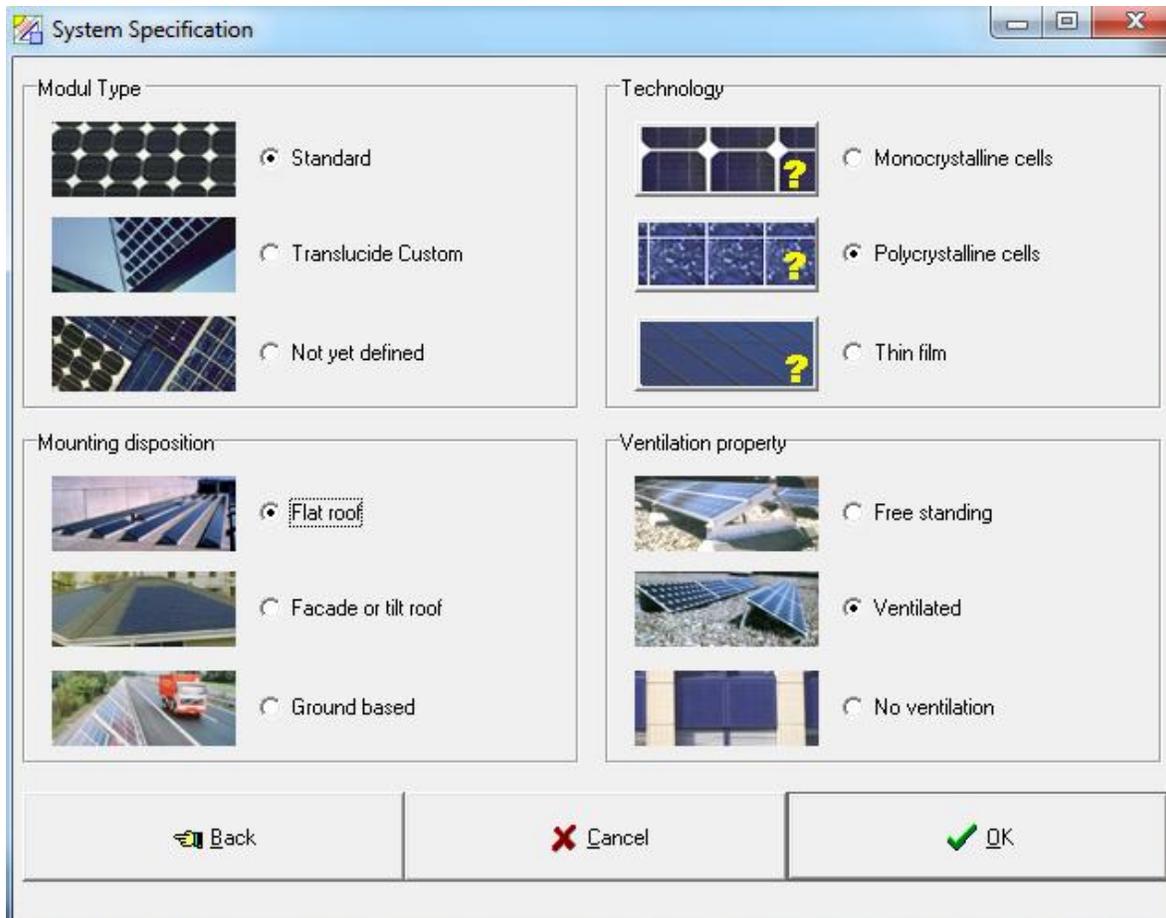


Fig. 68 Selección de las condiciones del Sistema o instalación fotovoltaica.
Fuente: *software PVSYS 5*

Además recordemos que el Apartado 3.3.1 nos indica que los módulos fotovoltaicos actualmente se comercializan con potencias entre los 50 a 200 Wp, aunque algunos fabricantes ofrecen módulos con potencias picos superiores, la relación Wp/m² será la siguiente: 50 Wp/m² para la película delgada, 100 Wp/m² para las celdas de silicio policristalino y 150 Wp/m² para las celdas de silicio monocristalino, según indica el *software PVSYS 5*. En términos generales el tamaño de los módulos o paneles solares oscila entre 0.5 y 1 m² y su durabilidad o vida útil se estima en más de 30 años. La unión eléctrica de las celdas es de 36 a 72 celdas fotovoltaicas y da lugar a los módulos fotovoltaicos, la corriente eléctrica producida por estos es generada a baja tensión o voltaje de 12 a 48 V en corriente



continúa, con una intensidad de 2.5 A (amperios o amperes) para los primeros y de 3 a 3.5 A para los segundos.

Es importante mencionar que lo más seguro es que la conexión entre los paneles sea en serie-paralelo, considerando que el inversor seleccionado tendrá un mejor rendimiento si el campo fotovoltaico trabaja a voltajes mayores que si lo hace a tensiones o voltajes menores. El voltaje de trabajo se verá incrementado por el número de módulos conectados en serie, así como la intensidad (corriente eléctrica) por el número de módulos conectados en paralelo. Por último recordemos que el número de módulos en paralelo en una conexión serie-paralelo, será el resultado de dividir el número total de módulos entre el número de módulos en serie, ya elegido (capítulo 5).

Concluyendo se seleccionan módulos o paneles solares de 1 m² por diseño, con un voltaje de 12 V e intensidad de 2.5 Amperes cada uno, estos a su vez con una potencia de 100 Wp por panel de celdas de silicio policristalino (*software* PVSYST 5), debido a que con estos valores es más fácil la instalación y obtención de los mismos.

Existen diversos fabricantes de panel policristalino, depende del proyectista evaluar la mejor opción en calidad y precio.

7.2.5. Resultados finales del pre dimensionamiento

Al terminar de seleccionar el tipo de sistema fotovoltaico a instalar y presionar el icono *Ok*, el programa muestra los resultados finales en forma de gráfica (*Figura 69*), primeramente en color guinda los valores de la irradiación Global horizontal, luego en color verde la irradiación Global del plano inclinado y por último en color azul la irradiación con la disminución producida por el sombreado, todos estos datos graficados por mes en kWh/m² x día. También aparecen datos importantes como: la ubicación, el área activa, el costo por cada Wp de los módulos o paneles solares, el tipo de tecnología seleccionada, la cantidad de energía eléctrica producida al año en MWh que es de 3.2 que son 3,200 kWh más preciso el sistema nos indica 3,213 kWh/año y por último en la misma ventana está indicada la inversión necesaria para realizar la instalación deseada, cabe mencionar que la cantidad está dada en dólares estadounidenses cuya conversión es sencilla a la moneda nacional, es decir el peso mexicano, sin embargo el análisis de esta inversión será apropiadamente abordado en el subsecuente capítulo correspondiente al aspecto económico de la energía renovable seleccionada.

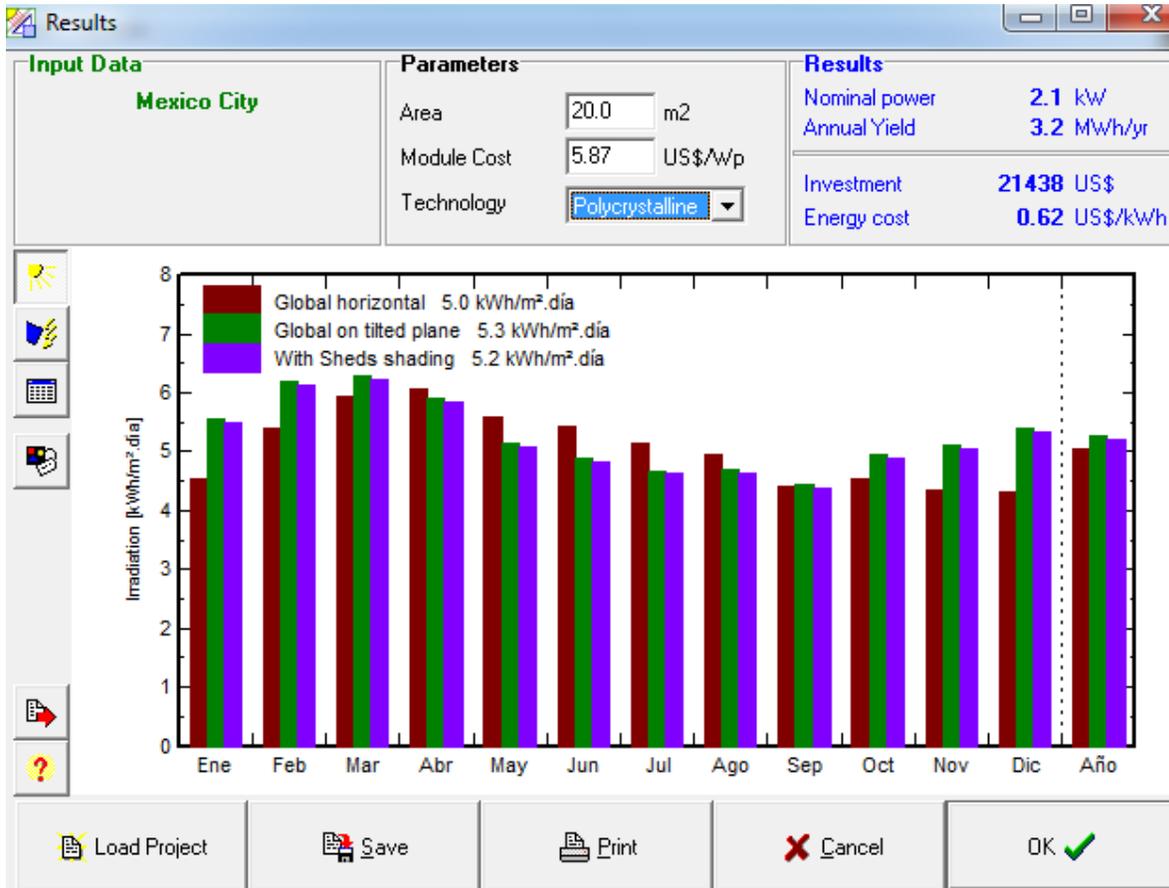


Fig. 69 Resultados Finales del pre dimensionamiento.
Fuente: software PVSYST 5

Una vez analizados los datos procedemos a presionar el icono llamado *System output* , que se encuentra a la izquierda de la ventana de resultados con lo cual se mostrará una nueva gráfica que desglosa más claramente la cantidad de energía eléctrica producida por los paneles solares por mes en kWh/día (Figura 70).

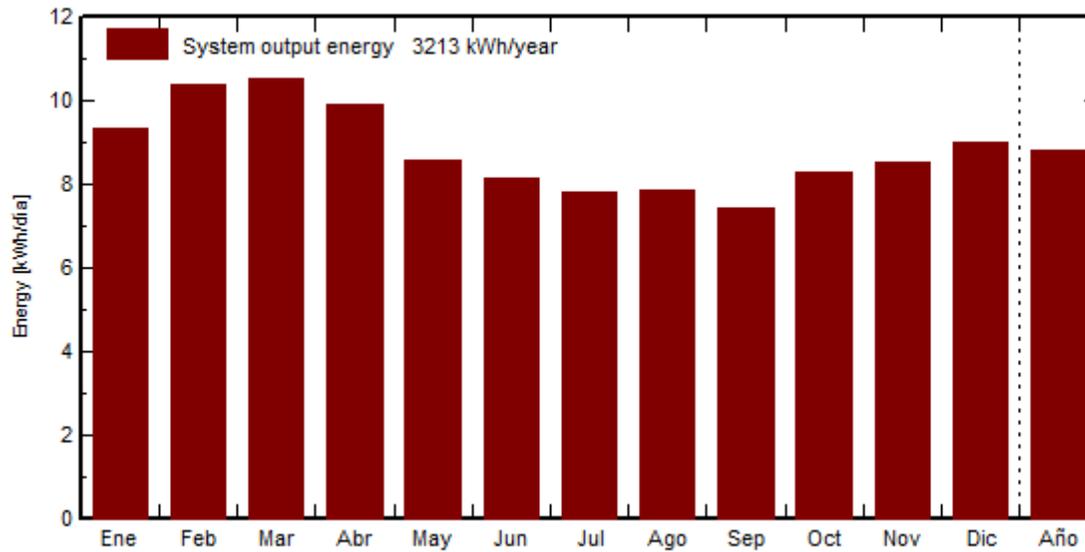


Fig. 70 Salida de energía eléctrica del pre dimensionamiento por mes en kWh/día.

Fuente: *software PVSYST 5*

Ambas gráficas de resultados, pueden ser resumidas mediante una tabulación como se muestra en el *Cuadro 11*, presionando el icono llamado *Results table* , que se encuentra análogamente al icono anterior a la izquierda de la ventana de resultados.



Cuadro 11 Resumen de resultados finales del pre dimensionamiento.

	Gl. horiz. kWh/m ² .día	Coll. Plane kWh/m ² .día	Shed shading kWh/m ² .día	System output kWh
Ene.	4.55	5.55	5.51	289
Feb.	5.39	6.19	6.13	291
Mar.	5.92	6.27	6.22	326
Abr.	6.07	5.91	5.85	297
May.	5.58	5.14	5.08	266
Jun.	5.43	4.88	4.83	245
Jul.	5.13	4.67	4.62	242
Ago.	4.94	4.69	4.63	243
Sep.	4.40	4.44	4.38	222
Oct.	4.55	4.95	4.90	257
Nov.	4.33	5.10	5.05	256
Dic.	4.32	5.38	5.33	280
Año	5.05	5.26	5.20	3213

Fuente: *software* PVSYST 5.

Tómese en consideración que los valores de la última columna serán analizados bimestralmente en subsecuentes apartados principalmente en el capítulo correspondiente al aspecto económico de la energía renovable seleccionada, por tanto serán sumados cada 2 meses como lo marca el siguiente ejemplo: Enero = 289 kWh será sumado a Febrero = 291 kWh dando como resultado 580 kWh, los resultados de estas sumas se muestra a continuación en el *Cuadro 12*.

Cuadro 12 Pre dimensionamiento kWh producidos por la instalación fotovoltaica bimestralmente.

KWh producidos por bimestre.					
Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
580	623	511	485	479	536

Nota: Al sumar los kWh del *Cuadro 12* el resultado es de 3,214, en vez de 3,213 esto ocurre por el redondeo de los decimales.

Fuente: FGRT11.



7.2.6. Cálculo y resultados del dimensionamiento final

Conociendo los resultados finales del pre dimensionamiento, se procede con el cálculo de la cantidad real promedio en kWh que requerirá la vivienda, esto con el propósito no solo de reducir el área de los paneles solares y en general los materiales de la instalación fotovoltaica, sino también para abaratar el costo de la misma produciendo únicamente la cantidad requerida de energía eléctrica por los usuarios que habitan la vivienda.

El dato principal para poder comparar la cantidad real promedio de kWh, es la producción anual de energía eléctrica ofertada por la instalación fotovoltaica cuyo valor es de 3,213 kWh/año, conociendo este dato y con ayuda de información proporcionada por el servicio eléctrico comercial (CFE), que bimestralmente envía recibos a la vivienda del estudio de caso, en los cuales informa la cantidad de kWh consumidos (**ANEXO C**), podemos calcular el *Cuadro 13*.

Cuadro 13 Sumatoria promedio de kWh/año consumidos por la vivienda.

HISTORIAL DE CONSUMO (kWh)						
Facturación (Año).	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
2011	318	304	500	434	328	435
2010	429	444	426	478	462	403
2009	336	409	434	420	420	407
Promedio	361	386	453	444	403	415
Σ Promedio	2,462 kWh/año					

Fuente: ANEXO C; Recibos de la CFE.

Obteniendo así la cantidad de kWh promedio anual que se consumen en la vivienda del estudio de caso (**ANEXO A**), es decir 2,462 kWh/año, lo cual indica que la instalación fotovoltaica está sobrada por 751 kWh/año (3,213 kWh/año – 2,462 kWh/año) y que por tanto podemos reducir el área activa es decir el área en m² que ocuparán los paneles solares por un método de aproximación mediante el *software* PVSYST 5; esto se logra introduciendo diversas áreas activas menores a los 20 m² propuestos inicialmente, hasta conseguir que la producción anual de kWh sea igual a 2,462 o procurando que se acerque en lo posible a esa cantidad y con la precaución de no modificar ningún otro parámetro de la ventana de resultados del pre dimensionamiento (*Figura 69*), una vez realizadas las iteraciones se concluye en este caso con lo siguiente:

Será necesaria una área activa de 15.5 m^2 para producir 2.5 MWh/año que son 2500 kWh/año (Figuras 71 y 72), más preciso el sistema nos indica $2,490 \text{ kWh/año}$ (Figura 73), por tanto se requerirá de un panel solar de 0.5 m^2 cuyos valores de tensión e intensidad son similares a los de paneles o módulos de 1 m^2 (12V y 2.5 A), sin embargo la potencia no será de 100 Wp sino de 50 Wp (capítulo 3).

Podemos concluir entonces que serán 15 paneles de 1 m^2 y uno de 0.5 m^2 para cumplir con los 15.5 m^2 y la suma de las potencias de cada uno darán como resultado $1,550 \text{ Wp}$, este último dato es necesario para la selección del inversor debido a que el valor de watts producidos por la instalación fotovoltaica debe ser próximo al valor de watts con los cuales trabaja el inversor es decir para obtener un acoplamiento adecuado entre el generador fotovoltaico y el inversor la relación de potencias recomendable es, $W(\text{inversor}) / Wp \sim 0.8$ (capítulo 5).

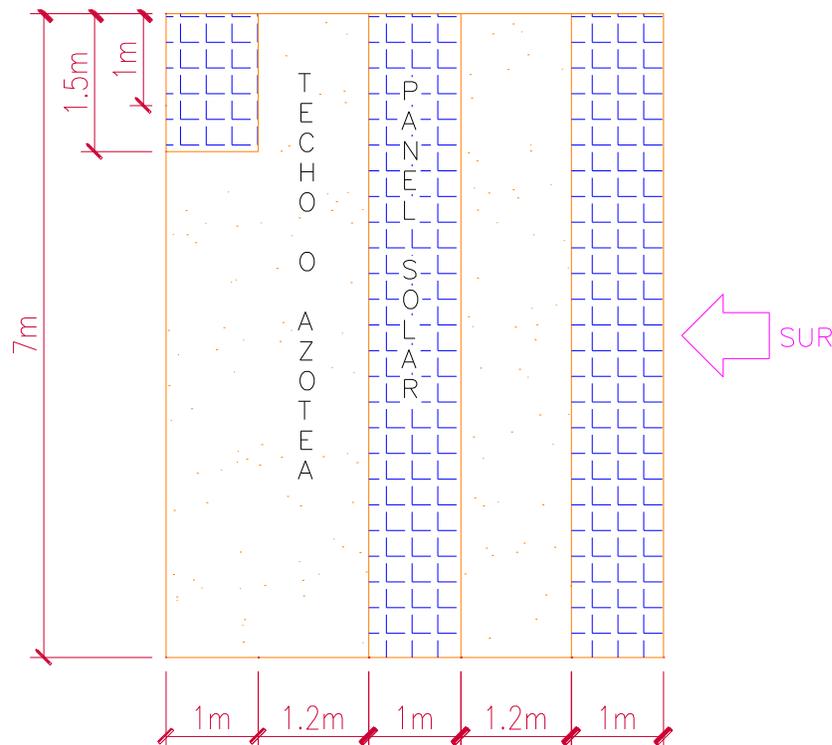
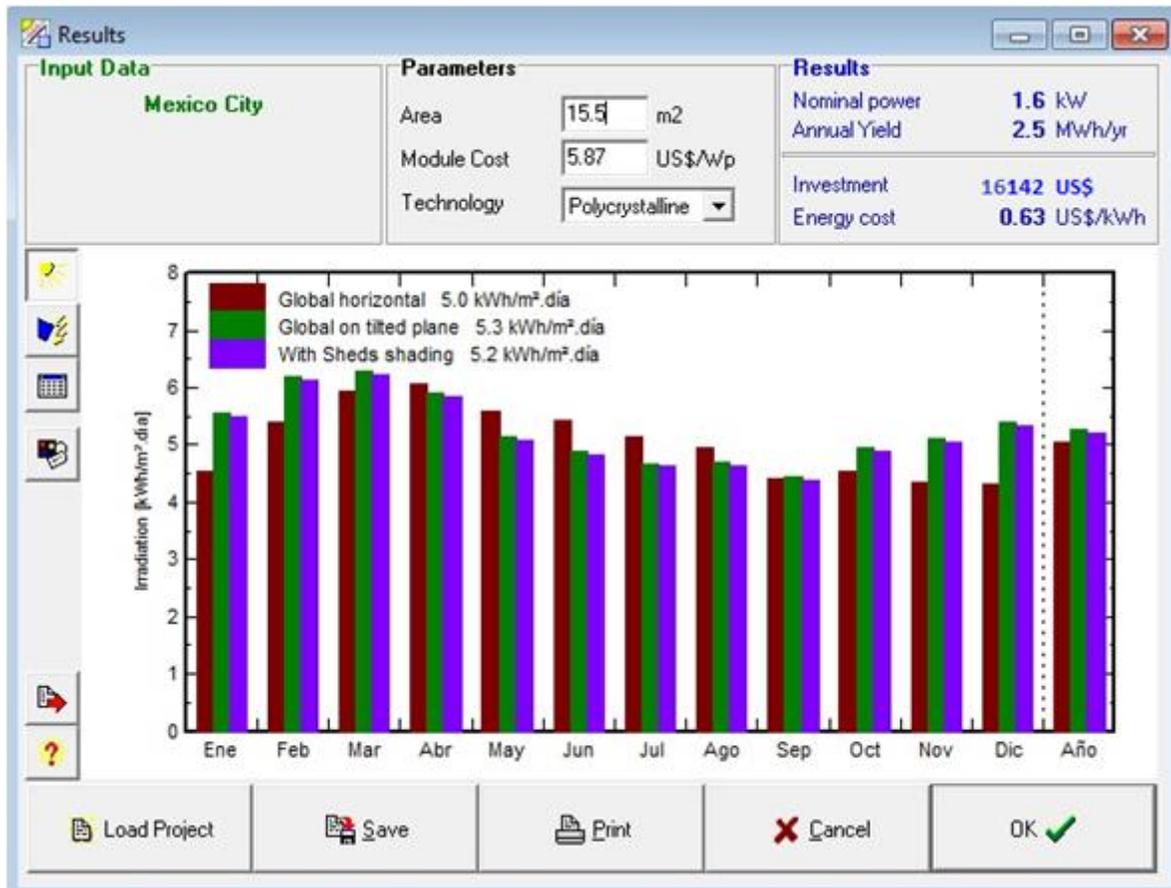


Fig. 71 Área activa final.
Fuente: FGRT11



Nota: La ventana de resultados ya fue explicada debidamente en apartados anteriores.

Fig. 72 Resultados Finales.
Fuente: *software PVSYST 5*

Al haber rediseñado el área activa de los paneles o módulos solares, los resultados en las diferentes gráficas y cuadros del pre dimensionamiento análogamente cambiaron, para quedar finalmente como a continuación se muestra en la *Figura 73 y Cuadros 14 y 15*.

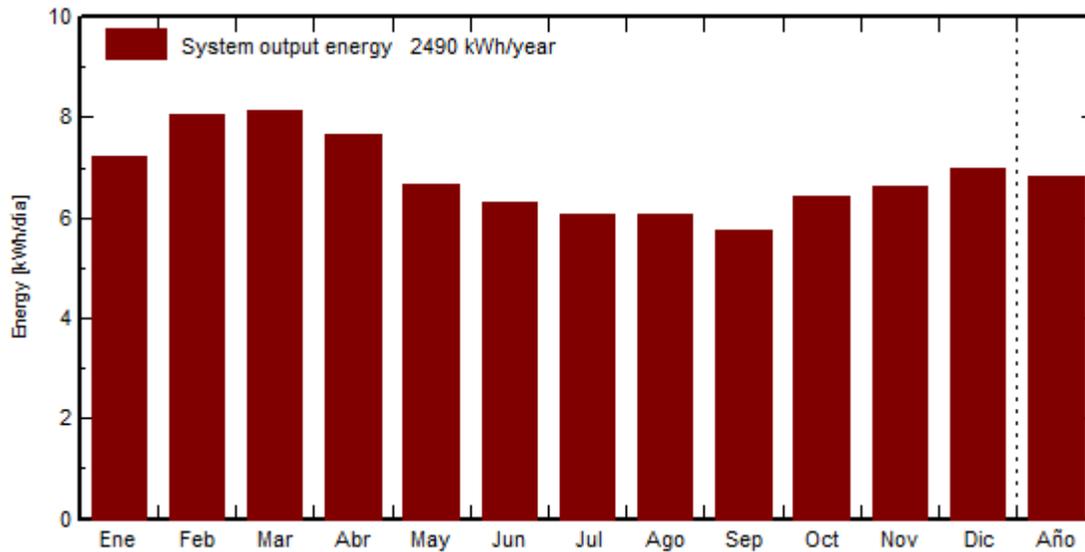


Fig. 73 Salida de energía eléctrica final por mes en kWh/día.
 Fuente: *software PVSYST 5*

Cuadro 14 Resumen de resultados finales.

	Gl. horiz. kWh/m ² .día	Coll. Plane kWh/m ² .día	Shed shading kWh/m ² .día	System output kWh/día	System output kWh
Ene.	4.55	5.55	5.51	7.22	224
Feb.	5.39	6.19	6.13	8.04	225
Mar.	5.92	6.27	6.22	8.15	253
Abr.	6.07	5.91	5.85	7.67	230
May.	5.58	5.14	5.08	6.66	206
Jun.	5.43	4.88	4.83	6.32	190
Jul.	5.13	4.67	4.62	6.05	188
Ago.	4.94	4.69	4.63	6.07	188
Sep.	4.40	4.44	4.38	5.75	172
Oct.	4.55	4.95	4.90	6.42	199
Nov.	4.33	5.10	5.05	6.62	199
Dic.	4.32	5.38	5.33	6.99	217
Año	5.05	5.26	5.20	6.82	2490

Fuente: *software PVSYST 5.*



Cuadro 15 kWh producidos por la instalación fotovoltaica bimestralmente.

KWh producidos por bimestre.					
Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
449	483	396	376	371	416

Nota: Al sumar los kWh del *Cuadro 15* el resultado es de 2,491, en vez de 2,490 esto ocurre por el redondeo de los decimales.

Fuente: FGRT11.

La comprensión de lo que representan estos últimos gráficos y cuadros ya debe ser dominada por el lector, en caso contrario se recomienda retomar el apartado anterior referente a los resultados finales del pre dimensionamiento.

7.2.7. Selección del Inversor y Medidor de corriente eléctrica

Una importante tarea es la selección de uno o varios inversores esto debido a que dependiendo de sus características lograremos convertir de manera adecuada la corriente continua producida por la instalación fotovoltaica en corriente alterna para que sea posible la conexión con la red comercial (en México de 120 a 127 V y 60 Hz; **ANEXO B**). El inversor evita a su vez daños entre ambas instalaciones eléctricas al integrar en sus componentes elementos de seguridad, es decir, el inversor al ser un aparato que realiza la conversión entre corrientes (continua a alterna) normalmente vigila que la tensión y la frecuencia estén dentro de los márgenes legales y suelen incorporar protecciones que desconectan la instalación en caso de no detectar tensión en la red, en caso de pérdida de aislamiento o al detectar cualquier otro mal funcionamiento. Otras protecciones además de los vigilantes de tensión (voltaje) y frecuencia, son los diferenciales y magneto-térmicos.

Existen 2 posibilidades viables al seleccionar el inversor para el estudio de caso, aunque en realidad existan más combinaciones. La primera considera a todos los paneles conectados en paralelo por tanto las características del inversor deberán cumplir con lo siguiente:

Potencia aproximada o menor de 1,550 Wp, voltaje de 12 V e intensidad aproximada de 40 A (2.5 A por 16 paneles). La segunda considera que los paneles solares estarán conectados en serie-paralelo y por tanto necesitarán de un inversor con las características siguientes:

Potencia aproximada o menor de 1,550 Wp, se elige conectar 2 paneles solares en serie para obtener un voltaje de 24 V (12 V por 2 paneles), sin embargo en este tipo de instalaciones el número de paneles en paralelo será el resultado de dividir el número total de paneles o módulos entre el número de paneles en serie (capítulo 5), por tanto como son 2 módulos en serie y 16 módulos en total se obtienen 8 paneles o módulos en paralelo y con estos una intensidad aproximada de 20 A (2.5 A por 8 módulos o paneles).

Como el inversor tiene un mejor rendimiento con altos voltajes de entrada (*Input Voltage*), la segunda opción es la pertinente por producir 24 V, a continuación se debe realizar una búsqueda exhaustiva de inversores que cumplan con esta y con las demás características, es decir, voltaje de salida (*Output Voltage*) de 120 a 127 V, intensidad aproximada de 20 A y potencia aproximada o menor de 1,550 Wp, recordando que debe haber una relación de potencias que es: $W(\text{inversor}) / W_p \sim 0.8$ (capítulo 5). Logrando una vez finalizada la búsqueda el siguiente resultado:

El inversor seleccionado es el “Exeltech XP-1100-24” (*Figura 74*), encontrado en la página de internet www.wholesalesolar.com/inverters.html especializada en vender los productos necesarios para una instalación fotovoltaica, las características están mencionadas en el modelo del inversor en el siguiente orden, XP son las siglas de la compañía que produce el inversor, 1,100 es la cantidad de watts con las que trabaja normalmente el inversor (1,100 W / 1,550 Wp ~ 0.8) y el valor de 24 se refiere a la cantidad de volts de entrada (*Input Voltage*) en corriente directa que serán convertidos a 120 V de salida (*Output Voltage*) en corriente alterna (*Cuadro 16*), por último el inversor trabaja con un valor de 60 hertz $\pm 0.04\%$.



Fig. 74 Inversor seleccionado modelo: Exeltech XP-1100-24.
Fuente: www.wholesalesolar.com/inverters.html



Cuadro 16 Características principales del inversor.



Exeltech Inverters

Exeltech Inverter Model	Part Number	Watts	Input Voltage	Output Voltage	Type	Price
XP 1100-24 Inverters	2911002	1,100	24 VDC	120 VAC	Sinewave	\$980

Nota: El precio es en dólares estadounidenses. *Sine wave* significa onda senoidal y hace referencia al cambio de la corriente directa o continua a la corriente alterna.

Fuente: www.wholesalesolar.com/inverters.html

Finalmente se debe incluir un medidor para poder facturar la cantidad de energía eléctrica producida y así, reducir, nulificar o condonar, el pago del servicio eléctrico comercial. Existen diversos diseños y tipos de medidores, sin embargo conseguir un medidor similar al que ya se tiene instalado y que fue proporcionado por el servicio eléctrico comercial, es fundamental, debido a que ello facilitara el poder realizar la medición y análisis de la energía eléctrica producida por la instalación fotovoltaica por parte del proyectista y del servicio eléctrico comercial.

De la misma fuente donde el inversor fue encontrado, es decir la página de internet www.wholesalesolar.com obtenemos el medidor que requiere la instalación fotovoltaica, el cual solo considera la característica del voltaje de salida (Output Voltage) del inversor de 120 V, por tanto el medidor seleccionado es el "GE Kilowatt hour meter w/ EZ-Read Cyclometer" (Figura 75), encontrado específicamente en la página www.wholesalesolar.com/products.folder/meter-folder/SunWizeACWattHourMeter.html, el cual es utilizado para sistemas en corriente alterna de 120 V o 120/240 V, también es importante mencionar que el despliegue numérico de este medidor es en kilowatt-hora, logrando así una lectura adecuada y fácil de la energía eléctrica producida. El precio de venta es de \$ 50 dólares estadounidenses.



Fig. 75 Medidor seleccionado modelo: GE Kilowatt hour meter w/ EZ-Read Cyclometer.
Fuente: www.wholesalesolar.com; *Search Meter*

Por último cabe mencionar que si se desea tener una idea más clara de donde se conectará el inversor y el medidor bastará con revisar la *Figura 46*.

7.2.8. Consideraciones de la estructura de soporte y anclaje

El bastidor que sujeta el panel, la estructura de soporte del mismo, y el sistema de sujeción es tan importante como el propio panel, pues un fallo de estos elementos conlleva la inmediata paralización de la instalación.

El principal factor a considerar a la hora de fijar la estructura será el peso de los módulos, al ser estos del orden de los 10 kg/m^2 (apartado 3.3.4) y bastará con tener un material resistente para soportar el peso de los mismos, en este caso el seleccionado es el aluminio anodizado que es de poco peso y gran resistencia, sin olvidar mencionar que su costo es menor al del acero inoxidable, por último la posición de los paneles en la superficie del techo evitara que sea necesario arriostrar la estructura. Otro factor a considerar es la fuerza del viento que dependiendo de la zona, puede llegar a ser muy considerable. La estructura deberá resistir vientos como mínimo de 150 Km/h , lo cual es fácil de cumplir ya que los vientos máximos en la zona son de 5.1 m/s según lo indica el *Cuadro 8*, es decir son equivalentes a velocidades de viento alrededor de 20 Km/h , por último el apartado 3.3.4 nos indica que si se desea disminuir la resistencia al viento, es aconsejable separar los módulos entre sí del orden de 1 cm , lo cual queda a consideración del proyectista.

Una especificación que será omitida es la que indica que en terrazas o suelos la estructura deberá permitir una elevación mínima del panel de 30 cm , lo cual en el estudio de caso no es necesario, porque en esa zona del planeta actualmente no cae nieve en el transcurso del año y aunque existen registros de alguna nevada en años anteriores, estas son consideradas sumamente atípicas.



Muchas veces los fabricantes de paneles suministran los elementos necesarios, sueltos o en *kits*⁴⁸, otras veces es el propio proyectista o el instalador quien, haciendo uso de perfiles normalizados que se encuentran en el mercado, construye una estructura adecuada para el panel. Tomando ambos casos en consideración se exhorta a tomar en cuenta lo descrito en el apartado 3.3.4 referente a las estructuras y accesorios de una instalación fotovoltaica para obtener un soporte adecuado para los paneles solares.

⁴⁸Kit es un término de Estados Unidos, referido principalmente a los paquetes o empaques que contienen lo necesario para realizar una determinada actividad.



CAPÍTULO 8. ASPECTO ECONÓMICO DE LA ENERGÍA RENOVABLE SELECCIONADA

8.1. ANÁLISIS PRESUPUESTAL A CORTO PLAZO

El estimado total de lo que costará la instalación fotovoltaica, el costo por cada Wp de los módulos o paneles solares y el valor monetario de cada kWh producido se muestran en la ventana inicial de resultados finales del *software* PVSYST 5 en dólares estadounidenses (*Figura 72*), sin embargo en esta misma ventana de

resultados a la izquierda se encuentra el icono llamado *Costs*  que al ser presionado desglosa detalladamente la inversión total (*Figura 76*), cabe mencionar que los costos del medidor y del inversor tuvieron que ser anexados debido a que el primero no es considerado y el segundo fue seleccionado personalmente por tanto su valor no era el correcto.

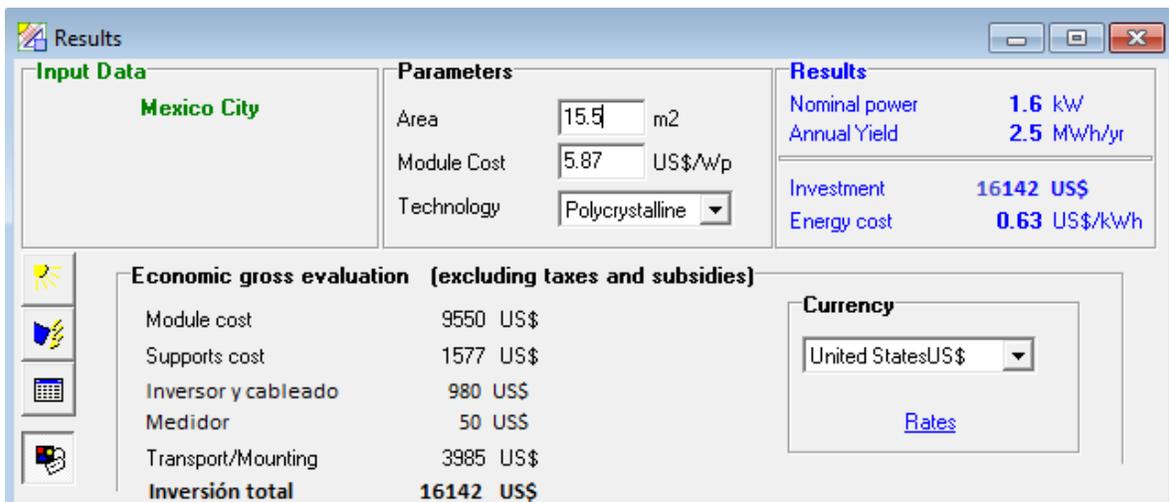


Fig. 76 Presupuesto detallado de la instalación fotovoltaica.

Fuente: *software* PVSYST 5

Las cantidades mostradas en la *Figura 76* serán analizadas a continuación:

Primeramente se muestra del costo por modulo, este resulta de la multiplicación de los 1,550 Wp producidos en los 16 paneles solares por 5.87 dólares que es el costo por cada Wp (módulo policristalino), sin embargo el *software* PVSYST 5 realiza un ajuste al resultado de esa multiplicación incluyendo el costo de otros



accesorios (equipo, herramientas, cableado etc.), obteniendo así un valor de 9,550 dólares. En segundo lugar se observa el costo de la estructura de soporte y anclaje que es de 1,577 dólares (*software* PVSYST 5), subsecuentemente están el costo del inversor (980 dólares) y del medidor (50 dólares) los cuales fueron obtenidos del anterior capítulo en sus respectivas páginas de internet, después se muestra el costo que conllevará el transporte e instalación de los paneles solares calculado por el *software* PVSYST 5 y que es de 3,985 dólares, finalmente está el valor de 16,142 dólares estadounidenses que no es otro sino la suma de todos los costos anteriores.

Cabe mencionar que el costo de la energía producida (0.63 dólares/kWh) está contemplado únicamente si se fuera a rentar la instalación fotovoltaica, además se omitieron otros datos sobrados de la misma ventana de costos del *software* PVSYST 5, como son: porcentajes de pago si se solicitara un préstamo para adquirir la instalación fotovoltaica, anualidades, etc.

8.1.1. 1° Método de análisis

El dato principal para poder comenzar a comparar los costos a corto plazo, es la inversión total de la instalación fotovoltaica que es de 16,142 dólares, ahora bien se eligen analizar los primeros 10 años (corto plazo) subsecuentes a la instalación del sistema fotovoltaico, por tanto ahora necesitamos saber cuánto costará el servicio eléctrico comercial en esos 10 años, para ello requerimos estados de cuenta de los recibos que bimestralmente manda a domicilio la CFE (**ANEXO D**), con los cuales ahora podemos obtener un promedio anual de la cantidad de pesos mexicanos que nos cuesta el servicio (*Cuadro 17*).

Cuadro 17 Cálculo del costo promedio anual del servicio eléctrico comercial.

ESTADOS DE CUENTA (\$ PESOS MEXICANOS).						
Facturación (Año).	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
2010	752	805	753	906	866	701
2011	459	421	1,000	811	600	784
Promedio	605.5	613	876.5	858.5	733	742.5
Σ Promedio	4,429.0 pesos/año					

Fuente: ANEXO D; Estados de cuenta de la CFE.

Resulta que en los dos últimos años el costo promedio anual del servicio eléctrico comercial fue de 4,429 pesos mexicanos, si esta cifra la consideramos proyectada

a 10 años bastará con agregar un cero a la derecha obteniendo 44,290 pesos, al comparar esta última cantidad con los 16,142 dólares cuya conversión a pesos mexicanos representa en abril del 2012 alrededor de 209,846 pesos (13.0 pesos/dólar por 16,142 dólares), se concluye que en 10 años será recuperado únicamente el 21% de la inversión total de la instalación fotovoltaica (*Figura 77*), considerando que en el capítulo anterior se logro una producción en el sistema fotovoltaico de kWh aproximada a la misma cantidad que se consumen por año en la vivienda, con el objetivo de nulificar o condonar el pago del servicio eléctrico comercial y por tanto convirtiéndolo en gratuito.

1° Método proyección a 10 años.

- Inversión Instalación Fotovoltaica.
- Costo del servicio eléctrico comercial en 10 años.

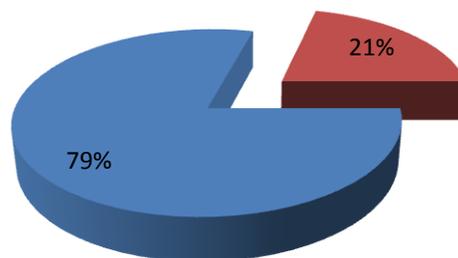


Fig. 77 Gráfica comparativa de costos, 1° método de proyección a 10 años.
Fuente: FGRT11

8.1.2. 2° Método de análisis

Se podría finalizar el apartado 8.1 con los resultados anteriores, sin embargo se observo que bimestralmente el servicio comercial incrementa sus precios de la siguiente forma:

En la facturación de los recibos del servicio comercial (**ANEXO C**) existe una división en los kWh consumidos, los primeros 150 kWh son considerados parte del servicio básico, los siguientes 100 kWh son considerados parte de un servicio intermedio, finalmente todos los kWh generados después de estos dos son



considerados como excedentes y bimestralmente se incrementa cada uno de los tres de la siguiente forma:

- Servicio Básico, + 0.004 pesos por bimestre.
- Servicio Intermedio, + 0.008 pesos por bimestre.
- Servicio Excedente, + 0.016 pesos por bimestre.

Concluyendo que para poder proyectar correctamente el costo del servicio en los siguientes 10 años, se deben considerar cada uno de los respectivos incrementos y a su vez el IVA de 16% agregado al final de la suma total de kWh consumidos con sus respectivos incrementos (**ANEXO C**). Para facilitar el cálculo de esta proyección la información del *Cuadro 13* se considera fundamental, esto debido a que en la misma se muestran los kWh promedio consumidos bimestralmente al año, por tanto únicamente será necesario multiplicar dichas cifras por los incrementos correspondientes del servicio eléctrico comercial, teniendo en consideración como punto de partida los precios de facturación del segundo recibo del año 2012 (**ANEXO C**), que son:

- Servicio Básico, 0.735 pesos mexicanos/kWh.
- Servicio Intermedio, 1.233 pesos mexicanos/kWh.
- Servicio Excedente, 2.601 pesos mexicanos/kWh.

Con estos últimos 3 datos obtenemos el *Cuadro 18*, que representa la proyección a 10 años del costo del servicio eléctrico comercial, con sus respectivos incrementos en los precios bimestrales e IVA (16% de la suma total). A continuación se ejemplifica el cálculo que fue desarrollado en el *Cuadro 18*:

Ejemplo. Año 2012, mes de facturación Febrero (aunque el servicio eléctrico comercial envía por correo postal el recibo en el mes de Marzo), del *Cuadro 13* obtenemos el promedio de kWh que se consumen en el bimestre que es de 361, considerando que los precios son los iniciales obtenemos lo siguiente:

- Servicio básico, (\$ 0.735 por 150 kWh) = 110.25 pesos
- Servicio Intermedio, (\$1.233 por 100 kWh) = 123.3 pesos
- Servicio Excedente, (\$2.601 por 111 kWh) = 288.71 pesos

Los 111 kWh del excedente se obtienen de la resta de 361 kWh menos los 250 kWh ya considerados. Una vez calculados los subtotales estos se suman resultando 522.26 pesos mexicanos y se les añade el 16% de IVA, concluyendo con un valor entero sin decimales igual a 606 pesos mexicanos.



Nótese que de haber sido el mes de facturación Abril del mismo año, los precios hubiesen sido incrementados para corresponder a los siguientes valores:

- Servicio Básico, 0.739 pesos mexicanos/kWh.
- Servicio Intermedio, 1.241 pesos mexicanos/kWh.
- Servicio Excedente, 2.617 pesos mexicanos/kWh.

Cuadro 18 Cálculo de costos del servicio eléctrico comercial proyectado a 10 años.

2012						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre (Cuadro 13).	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	0.735	0.739	0.743	0.747	0.751	0.755
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	1.233	1.241	1.249	1.257	1.265	1.273
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	2.601	2.617	2.633	2.649	2.665	2.681
Suma Total (\$ pesos)	522.3	590.9	770.8	751.7	646.9	682.9
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	606	685	894	872	750	792
2013						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	0.759	0.763	0.767	0.771	0.775	0.779
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	1.281	1.289	1.297	1.305	1.313	1.321
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	2.697	2.713	2.729	2.745	2.761	2.777
Suma Total (\$ pesos)	541.3	612.3	798.7	778.7	670.0	707.2
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	628	710	927	903	777	820
2014						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	0.783	0.787	0.791	0.795	0.799	0.803
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	1.329	1.337	1.345	1.353	1.361	1.369
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	2.793	2.809	2.825	2.841	2.857	2.873
Suma Total (\$ pesos)	560.4	633.8	826.6	805.7	693.1	731.4
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	650	735	959	935	804	848



2015						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	0.807	0.811	0.815	0.819	0.823	0.827
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	1.377	1.385	1.393	1.401	1.409	1.417
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	2.889	2.905	2.921	2.937	2.953	2.969
Suma Total (\$ pesos)	579.4	655.2	854.5	832.7	716.2	755.6
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	672	760	991	966	831	877
2016						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	0.831	0.835	0.839	0.843	0.847	0.851
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	1.425	1.433	1.441	1.449	1.457	1.465
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	2.985	3.001	3.017	3.033	3.049	3.065
Suma Total (\$ pesos)	598.5	676.7	882.4	859.8	739.2	779.9
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	694	785	1,024	997	858	905
2017						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	0.855	0.859	0.863	0.867	0.871	0.875
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	1.473	1.481	1.489	1.497	1.505	1.513
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	3.081	3.097	3.113	3.129	3.145	3.161
Suma Total (\$ pesos)	617.5	698.1	910.3	886.8	762.3	804.1
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	716	810	1,056	1,029	884	933
2018						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	0.879	0.883	0.887	0.891	0.895	0.899
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	1.521	1.529	1.537	1.545	1.553	1.561
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	3.177	3.193	3.209	3.225	3.241	3.257
Suma Total (\$ pesos)	636.6	719.6	938.2	913.8	785.4	828.4
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	738	835	1,088	1,060	911	961



2019						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	0.903	0.907	0.911	0.915	0.919	0.923
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	1.569	1.577	1.585	1.593	1.601	1.609
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	3.273	3.289	3.305	3.321	3.337	3.353
Suma Total (\$ pesos)	655.7	741.1	966.1	940.8	808.5	852.6
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	761	860	1,121	1,091	938	989
2020						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	0.927	0.931	0.935	0.939	0.943	0.947
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	1.617	1.625	1.633	1.641	1.649	1.657
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	3.369	3.385	3.401	3.417	3.433	3.449
Suma Total (\$ pesos)	674.7	762.5	994.0	967.8	831.6	876.8
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	783	885	1,153	1,123	965	1,017
2021						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	0.951	0.955	0.959	0.963	0.967	0.971
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	1.665	1.673	1.681	1.689	1.697	1.705
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	3.465	3.481	3.497	3.513	3.529	3.545
Suma Total (\$ pesos)	693.8	784.0	1,021.8	994.9	854.7	901.1
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	805	909	1,185	1,154	991	1,045

Σ TOTAL \$ pesos (10 años). 53,451.0 pesos/10 años

Nota: El servicio eléctrico comercial redondea los decimales al número entero más próximo en el costo final del recibo.

Fuente: FGRT11.

Se pueden resumir los datos del *Cuadro 18*, considerando solo las sumas totales por año, obteniendo así el *Cuadro 19*, y análogamente la gráfica de la *Figura 78*.

Cuadro 19 Resumen anual de costos del servicio eléctrico comercial proyectado a 10 años.

Año	2012	2013	2014	2015	2016
Suma Total Anual + 16% IVA (\$ pesos)	4,600	4,766	4,931	5,097	5,262
Año	2017	2018	2019	2020	2021
Suma Total Anual + 16% IVA (\$ pesos)	5,428	5,593	5,759	5,925	6,090
Σ TOTAL \$ pesos (10 años).	53,451.0 pesos/10 años				

Fuente: FGRT11.

2° Método; Incremento anual de costos.

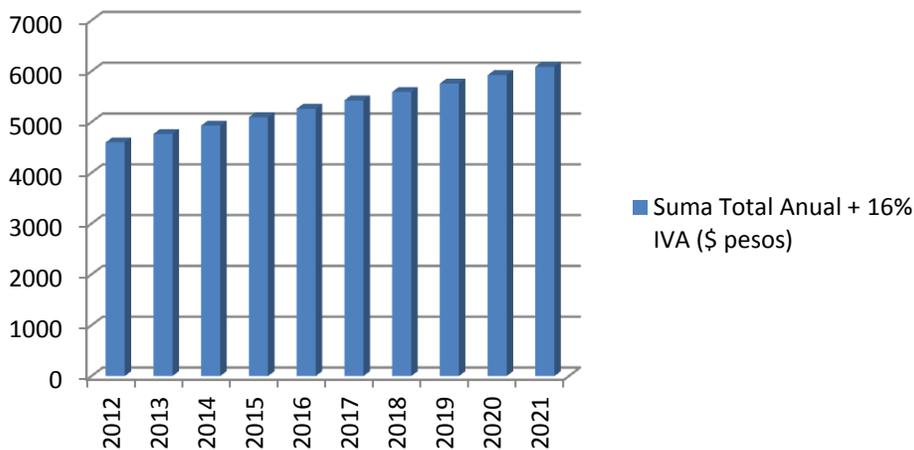


Fig. 78 Proyección de costos del servicio eléctrico comercial a 10 años.

Fuente: FGRT11

Finalmente la suma de los 10 años resulta en una cantidad de 53,451 pesos mexicanos, la cual representa el 25.5% de la inversión total de la instalación fotovoltaica (209,846 pesos mexicanos) (*Figura 79*). Por considerar en el cálculo del segundo método un mayor número de especificaciones como los incrementos y el IVA, se concluye que es el mejor para obtener la proyección presupuestal a futuro, sin menospreciar el primer método cuyo resultado (44,290 pesos) fue más rápido de obtener y muy próximo al valor del segundo método.

2° Método proyección a 10 años.

- Inversión Instalación Fotovoltaica.
- Costo del servicio eléctrico comercial en 10 años.

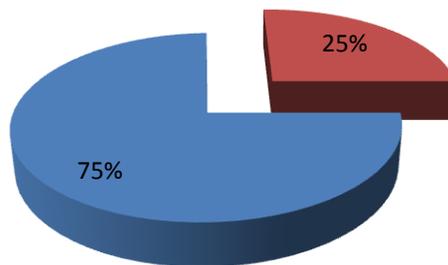


Fig. 79 Gráfica comparativa de costos, 2° método de proyección a 10 años.
Fuente: FGRT11

Se determina que para una proyección de 10 años el costo de la instalación fotovoltaica es inviable porque es mayor al del servicio eléctrico comercial, sin embargo, tendrá que tomarse en cuenta que los módulos o paneles solares poseen una vida útil mayor a la de 10 años (corto plazo).

8.2. ANÁLISIS PRESUPUESTAL A LARGO PLAZO

Para poder iniciar con este apartado se establece primero la cantidad de años que serán analizados considerándolos análogamente como la proyección a largo plazo, la cantidad seleccionada es de 30 años esto debido a que el apartado 3.3.1 hace la clara mención de la durabilidad o bien la vida útil que regularmente tienen los paneles solares, citando incluso que la vida útil de los mismos se estima en más de 30 años. Una vez conocido el periodo de tiempo, se toman varios datos del apartado anterior referente al aspecto económico de la energía renovable seleccionada, que fue analizada en el corto plazo, de los cuales destacan los siguientes:

- Inversión Total Instalación Fotovoltaica (\$ pesos) = 209,846
- Costo servicio eléctrico comercial a 10 años, 1° Método (\$ pesos) = 44,290
- Costo servicio eléctrico comercial a 10 años, 2° Método (\$ pesos) = 53,451

Es necesario aclarar que el cálculo y resultado del 1° método en el largo plazo es inservible, esto debido a que mientras mayor sea el lapso de tiempo analizado menor será su exactitud y por tanto los valores resultantes de este método carecen de relevancia.

En dado caso de querer calcular el método, únicamente se multiplican los años por el valor promedio anual del servicio eléctrico comercial (*Cuadro 17*), con lo cual resultará el valor de 132,870 pesos mexicanos (4,429 pesos por 30 años o bien 3 veces 44,290 pesos), que representa el 63.3% de la inversión total de la instalación fotovoltaica (*Figura 80*). Aunque ciertamente el resultado es fácil de obtener por ser un cálculo directo, se reitera la clara advertencia de la nula importancia de este cálculo y resultado.

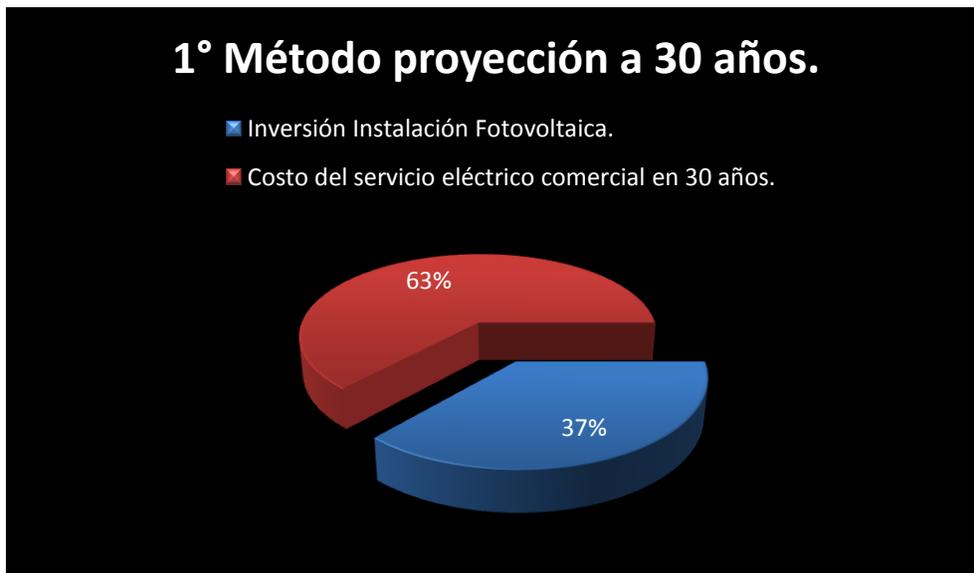


Fig. 80 Gráfica comparativa de costos, 1° método de proyección a 30 años.
Fuente: FGRT11

8.2.1. 2° Método de análisis

Al realizar el cálculo con el 2° método en el largo plazo, obtendremos un mejor análisis de la proyección a 30 años del costo del servicio eléctrico comercial, esto debido a que en este método se consideran especificaciones fundamentales del



mismo servicio (incrementos e IVA), por tanto calcula los costos de la misma forma que lo haría el servicio eléctrico comercial.

Se prosigue a efectuar los cuadros y gráficas que nos ayuden a obtener y analizar el presupuesto del servicio eléctrico comercial en los próximos 30 años, considerando que los primeros 10 años ya fueron ejemplificados en el apartado anterior obteniendo la cantidad de 53,451 pesos mexicanos, cuyo resultado se sumará a los siguientes 20 años (*Cuadro 20*).

Cuadro 20 Cálculo de costos del servicio eléctrico comercial, 20 años restantes.

2022						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre (Cuadro 13).	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	0.975	0.979	0.983	0.987	0.991	0.995
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	1.713	1.721	1.729	1.737	1.745	1.753
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	3.561	3.577	3.593	3.609	3.625	3.641
Suma Total (\$ pesos)	712.8	805.4	1,049.7	1,021.9	877.8	925.3
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	827	934	1,218	1,185	1,018	1,073
2023						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	0.999	1.003	1.007	1.011	1.015	1.019
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	1.761	1.769	1.777	1.785	1.793	1.801
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	3.657	3.673	3.689	3.705	3.721	3.737
Suma Total (\$ pesos)	731.9	826.9	1,077.6	1,048.9	900.9	949.6
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	849	959	1,250	1,217	1,045	1,101
2024						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	1.023	1.027	1.031	1.035	1.039	1.043
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	1.809	1.817	1.825	1.833	1.841	1.849
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	3.753	3.769	3.785	3.801	3.817	3.833
Suma Total (\$ pesos)	750.9	848.3	1,105.5	1,075.9	924.0	973.8
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	871	984	1,282	1,248	1,072	1,130



2025						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	1.047	1.051	1.055	1.059	1.063	1.067
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	1.857	1.865	1.873	1.881	1.889	1.897
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	3.849	3.865	3.881	3.897	3.913	3.929
Suma Total (\$ pesos)	770.0	869.8	1,133.4	1,103.0	947.0	998.0
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	893	1,009	1,315	1,279	1,099	1,158
2026						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	1.071	1.075	1.079	1.083	1.087	1.091
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	1.905	1.913	1.921	1.929	1.937	1.945
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	3.945	3.961	3.977	3.993	4.009	4.025
Suma Total (\$ pesos)	789.0	891.2	1,161.3	1,130.0	970.1	1,022.3
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	915	1,034	1,347	1,311	1,125	1,186
2027						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	1.095	1.099	1.103	1.107	1.111	1.115
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	1.953	1.961	1.969	1.977	1.985	1.993
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	4.041	4.057	4.073	4.089	4.105	4.121
Suma Total (\$ pesos)	808.1	912.7	1,189.2	1,157.0	993.2	1,046.5
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	937	1,059	1,379	1,342	1,152	1,214
2028						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	1.119	1.123	1.127	1.131	1.135	1.139
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	2.001	2.009	2.017	2.025	2.033	2.041
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	4.137	4.153	4.169	4.185	4.201	4.217
Suma Total (\$ pesos)	827.2	934.2	1,217.1	1,184.0	1,016	1,070.8
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	960	1,084	1,412	1,373	1,179	1,242



2029						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	1.143	1.147	1.151	1.155	1.159	1.163
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	2.049	2.057	2.065	2.073	2.081	2.089
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	4.233	4.249	4.265	4.281	4.297	4.313
Suma Total (\$ pesos)	846.2	955.6	1,244.9	1,211.1	1,039	1,095.0
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	982	1,109	1,444	1,405	1,206	1,270
2030						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	1.167	1.171	1.175	1.179	1.183	1.187
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	2.097	2.105	2.113	2.121	2.129	2.137
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	4.329	4.345	4.361	4.377	4.393	4.409
Suma Total (\$ pesos)	865.3	977.1	1,272.8	1,238.1	1,062	1,119.2
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	1,004	1,133	1,476	1,436	1,232	1,298
2031						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	1.191	1.195	1.199	1.203	1.207	1.211
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	2.145	2.153	2.161	2.169	2.177	2.185
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	4.425	4.441	4.457	4.473	4.489	4.505
Suma Total (\$ pesos)	884.3	998.5	1,300.7	1,265.1	1,085	1,143.5
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	1,026	1,158	1,509	1,468	1,259	1,326
2032						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	1.215	1.219	1.223	1.227	1.231	1.235
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	2.193	2.201	2.209	2.217	2.225	2.233
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	4.521	4.537	4.553	4.569	4.585	4.601
Suma Total (\$ pesos)	903.4	1,020	1,328	1,292	1,108	1,167
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	1,048	1,183	1,541	1,499	1,286	1,355



2033						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	1.239	1.243	1.247	1.251	1.255	1.259
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	2.241	2.249	2.257	2.265	2.273	2.281
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	4.617	4.633	4.649	4.665	4.681	4.697
Suma Total (\$ pesos)	922.4	1,041	1,356	1,319	1,131	1,192
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	1,070	1,208	1,574	1,530	1,313	1,383
2034						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	1.263	1.267	1.271	1.275	1.279	1.283
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	2.289	2.297	2.305	2.313	2.321	2.329
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	4.713	4.729	4.745	4.761	4.777	4.793
Suma Total (\$ pesos)	941.5	1,062	1,384	1,346	1,154	1,216
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	1,092	1,233	1,606	1,562	1,340	1,411
2035						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	1.287	1.291	1.295	1.299	1.303	1.307
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	2.337	2.345	2.353	2.361	2.369	2.377
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	4.809	4.825	4.841	4.857	4.873	4.889
Suma Total (\$ pesos)	960.5	1,084	1,412	1,373	1,177	1,240
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	1,114	1,258	1,638	1,593	1,366	1,439
2036						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	1.311	1.315	1.319	1.323	1.327	1.331
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	2.385	2.393	2.401	2.409	2.417	2.425
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	4.905	4.921	4.937	4.953	4.969	4.985
Suma Total (\$ pesos)	979.6	1,105	1,440	1,400	1,201	1,264
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	1,136	1,283	1,671	1,624	1,393	1,467



2037						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	1.335	1.339	1.343	1.347	1.351	1.355
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	2.433	2.441	2.449	2.457	2.465	2.473
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	5.001	5.017	5.033	5.049	5.065	5.081
Suma Total (\$ pesos)	998.7	1,127	1,468	1,427	1,224	1,288
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	1,158	1,308	1,703	1,656	1,420	1,495
2038						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	1.359	1.363	1.367	1.371	1.375	1.379
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	2.481	2.489	2.497	2.505	2.513	2.521
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	5.097	5.113	5.129	5.145	5.161	5.177
Suma Total (\$ pesos)	1,017	1,148	1,495	1,454	1,247	1,313
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	1,181	1,333	1,735	1,687	1,447	1,523
2039						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	1.383	1.387	1.391	1.395	1.399	1.403
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	2.529	2.537	2.545	2.553	2.561	2.569
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	5.193	5.209	5.225	5.241	5.257	5.273
Suma Total (\$ pesos)	1,036	1,170	1,523	1,481	1,270	1,337
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	1,203	1,357	1,768	1,718	1,474	1,551
2040						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	1.407	1.411	1.415	1.419	1.423	1.427
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	2.577	2.585	2.593	2.601	2.609	2.617
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	5.289	5.305	5.321	5.337	5.353	5.369
Suma Total (\$ pesos)	1,055	1,191	1,551	1,508	1,293	1,361
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	1,225	1,382	1,800	1,750	1,500	1,579



2041						
	Feb.	Abr.	Jun.	Ago.	Oct.	Dic.
Promedio kWh/bimestre	361	386	453	444	403	415
Precio Servicio Básico (\$ pesos).	1.431	1.435	1.439	1.443	1.447	1.451
Precio Servicio Intermedio (\$ pesos).	2.625	2.633	2.641	2.649	2.657	2.665
Precio Servicio Excedente (\$ pesos).	5.385	5.401	5.417	5.433	5.449	5.465
Suma Total (\$ pesos)	1,074	1,213	1,579	1,535	1,316	1,385
Suma Total + 16% IVA (\$ pesos)	1,247	1,407	1,832	1,781	1,527	1,608

Σ TOTAL \$ pesos (20 años restantes). 156,579.0 pesos/20 años restantes
 Fuente: FGRT11.

En dado caso de tener alguna duda de los cálculos y de lo que representa el *Cuadro 20*, se exhorta al lector a retomar el apartado 8.1.2 que lo explica debidamente. Ahora se prosigue a resumir los datos del *Cuadro 20*, considerando solo las sumas totales por año, obteniendo así el *Cuadro 21* y análogamente la gráfica de la *Figura 81*.

Cuadro 21 Resumen anual de costos del servicio eléctrico comercial, 20 años restantes.

Año	2022	2023	2024	2025	2026
Suma Total Anual + 16% IVA (\$ pesos)	6,256	6,421	6,587	6,753	6,918
Año	2027	2028	2029	2030	2031
Suma Total Anual + 16% IVA (\$ pesos)	7,084	7,249	7,415	7,581	7,746
Año	2032	2033	2034	2035	2036
Suma Total Anual + 16% IVA (\$ pesos)	7,912	8,077	8,243	8,409	8,574
Año	2037	2038	2039	2040	2041
Suma Total Anual + 16% IVA (\$ pesos)	8,740	8,905	9,071	9,236	9,402
Σ TOTAL \$ pesos (20 años restantes).	156,579.0 pesos/20 años restantes				

Fuente: FGRT11.

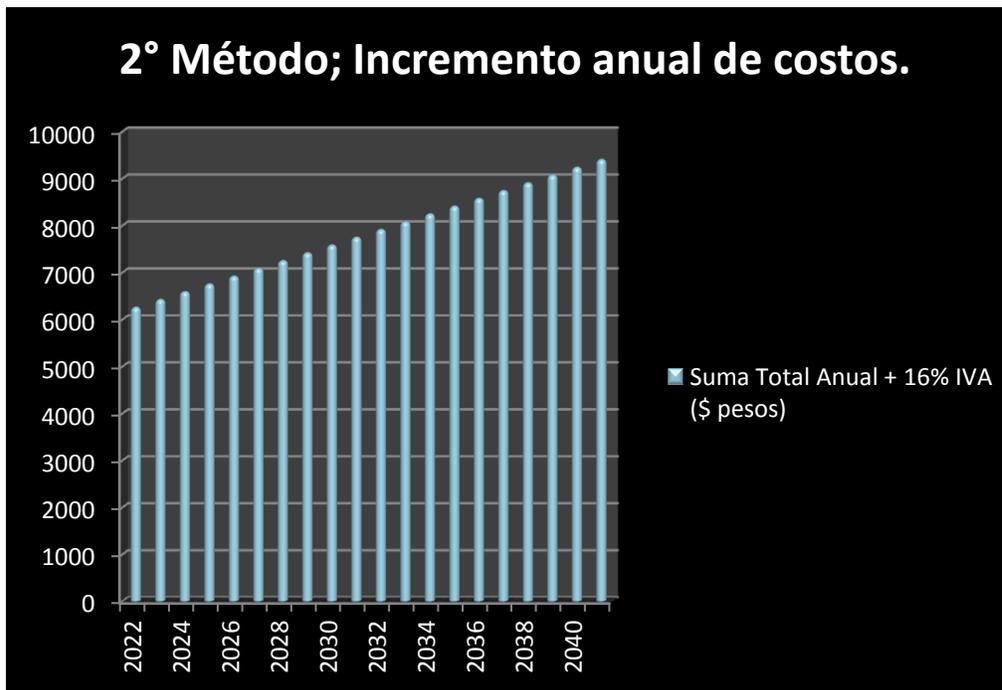


Fig. 81 Proyección de costos del servicio eléctrico comercial, 20 años restantes.
Fuente: FGRT11

Conociendo el costo del servicio eléctrico comercial proyectado en los primeros 10 años para este segundo método (53,451 pesos mexicanos) y sumando dicha cantidad al resultado de 156,579 pesos mexicanos, que representa el costo del mismo servicio proyectado en los subsecuentes 20 años, se obtendrá la cantidad de 210,030 pesos mexicanos, cifra que simboliza la proyección de costos a 30 años (largo plazo) de dicho servicio. Por tanto, como se ha superado el valor de la inversión total de la instalación del sistema fotovoltaico (209,846 pesos) en 184 pesos, se concluye que para una proyección de 30 años el costo de la instalación fotovoltaica es viable porque es menor al costo del servicio eléctrico comercial.

Cuando la instalación solar fotovoltaica haya cumplido un servicio de 30 años, los cuales análogamente son los años de vida útil de los paneles solares, será necesario reinvertir la cantidad de 9550 dólares (*Figura 76*), que representa el costo de dichos módulos o paneles solares y cuya conversión a la moneda nacional da como resultado en abril del 2012 alrededor de 124,150 pesos (13.0 pesos/dólar por 9,550 dólares). Por tanto significa, que cada 30 años se tendrá que invertir la cantidad de 124,150 pesos por concepto de renovación de paneles solares, sin embargo como ya se advirtió el costo del servicio eléctrico comercial



en esos mismos 30 años será de 210,030 pesos e inclusive más caro, lo cual representa realmente un ahorro de 85,880 pesos en la segunda generación de paneles solares, es decir, el periodo comprendido de los 30 a los 60 años de haber conectado la instalación solar fotovoltaica.



CAPÍTULO 9. PROTOTIPO DISEÑADO A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES

9.1. INTRODUCCIÓN

Existen diversas fuentes productoras de energía renovable resaltando la energía solar como fuente primordial de gran parte de ellas, por ello y porque la energía solar se utiliza regularmente para hacer funcionar aparatos eléctricos simples (radios, linternas, ventiladores etc.) además de que se encuentra fácilmente por todo el mundo, es la energía renovable seleccionada para realizar el prototipo de un aparato eléctrico autónomo.

Siendo más preciso la energía solar fotovoltaica es la utilizada para producir grandes cantidades de energía eléctrica, pero también sirve para hacer funcionar aparatos eléctricos simples de corriente directa (generalmente), la diferencia entre uno y otro sistema fotovoltaico es simplemente la escala, es decir, mientras que el primero requerirá de una serie de paneles solares conectados entre sí y de dimensiones no menores a 0.5 m^2 , el segundo caso solo requerirá de un panel o módulo solar regularmente de 20 cm^2 .

El aparato eléctrico seleccionado para hacerlo funcionar con energía solar fotovoltaica es una linterna o lámpara, esto debido a la simplicidad, utilidad y bajo costo del aparato eléctrico y sus componentes.

Las Lámparas o linternas solares, son una herramienta indispensable sobre todo en zonas rurales pero también deben ser utilizadas en las ciudades, su estructura y demás aditamentos son relativamente fáciles de conseguir inclusive de la chatarra lo que ayuda en la reducción de la contaminación. También se pueden utilizar mini módulos solares que se reciclan de tirar piezas solares por las grandes empresas de fabricación solar.

En Kenia las linternas de energía solar (*Figura 82*) están ayudando a las comunidades rurales pobres, a dejar de usar el queroseno, y por lo tanto ayudan a reducir el cambio climático, mejoran los niveles de la educación en las zonas rurales, reducen las enfermedades respiratorias, el riesgo de incendios y el hambre y la inanición (WADONGO, 2010).



Fig. 82 Linterna o lámpara solar diseñada por Wadongo Evans.
Fuente: (WADONGO, 2010)

9.1.1. Diseño lámpara/linterna solar

En lo que se refiere a diseño en las lámparas o linternas solares es variado, existen diversos prototipos comerciales funcionales sin embargo se producen solo fuera de México (*Figura 83*), además como no existe un solo diseño pueden ser de formas y tamaños diferentes, por tanto se diseñará únicamente el circuito que hace funcionar la lámpara o linterna solar dejando a criterio del lector el diseño exterior de la misma, ya sea que se termine colocando un cristal que encierre del foco o LED⁴⁹ o que se cree una base plástica con manija para rodear al circuito.



Fig. 83 Lámparas/Linternas solares comerciales extranjeras.
Fuente: FGRT11

⁴⁹ LED (acrónimo del inglés: *Light-Emitting Diode*). Están compuestos por diodos emisores de luz, que son semiconductores que emiten esta luz al paso de la corriente. El ahorro de consumo, con respecto a los elementos actuales de iluminación, puede alcanzar el 90%, lo cual significa un descenso muy importante de las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Dicho lo anterior proseguimos a listar los componentes necesarios para realizar el circuito eléctrico de la lámpara solar, que son:

- Panel solar monocristalino o policristalino de 20 cm². Costo aproximado \$ 55.00 pesos mexicanos.
- Base de pila o batería AAA. Costo aprox. \$ 15.00 pesos.
- Pila o Batería recargable AAA. Costo aprox. \$ 20.00 pesos
- Interruptor eléctrico. Costo aprox. \$ 12.00 pesos
- Un foco LED con resistor y circuito integrado (*Figura 84*). Costo aprox. \$ 15.00 pesos.

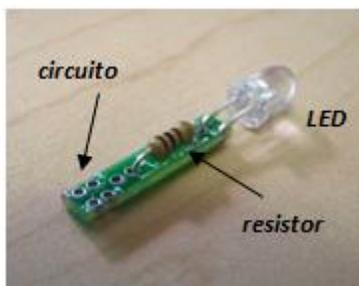


Fig. 84 LED, con resistor y circuito incluido.

Fuente: FGRT11

Cabe mencionar que el trabajo del resistor es el de proteger al LED de sobre corrientes.

Para poder hacer las conexiones entre ellos independientemente de que algunos componentes las incluyan (panel solar), se debe comprar 1 m de alambre y tener a mano un cautín y soldadura (Costo aprox. \$ 40.00 pesos). Es común encontrar la medida de los conductores eléctricos (cables o alambres) indicados con la referencia AWG (*American Wire Gauge*), para seleccionar el alambre únicamente se necesita conocer la cantidad de amperes con los cuales funciona comúnmente el LED o el mini panel solar, las características del primero están en los rangos de 1.8 a 3.8 volts y de 10 a 40 mili⁵⁰ amperes (WALES, 2008 B.), con estos datos se selecciona el alambre con el Número AWG de 36 debido a que este tiene las características requeridas ya que trabaja con una capacidad de 0.036 A y su diámetro es de 0.127 mm (*Cuadro 22*).

⁵⁰ Mili (símbolo m) es un prefijo del Sistema Internacional de Unidades que indica un factor de 10⁻³, o 1/1 000.



Cuadro 22 Valores normalizados cables A.W.G.

Número AWG	Diámetro (mm)	Capacidad (A)	Número AWG	Diámetro (mm)	Capacidad (A)
0000	11.86	319	21	0.72	1.2
000	10.40	240	22	0.64	0.92
00	9.23	190	23	0.57	0.73
0	8.25	150	24	0.51	0.58
1	7.35	120	25	0.45	0.46
2	6.54	96	26	0.40	0.37
3	5.83	78	27	0.36	0.29
4	5.19	60	28	0.32	0.23
5	4.62	48	29	0.29	0.18
6	4.12	38	30	0.25	0.15
7	3.67	30	31	0.23	0.11
8	3.26	24	32	0.20	0.09
9	2.91	19	33	0.18	0.072
10	2.59	15	34	0.16	0.057
11	2.31	12	35	0.14	0.045
12	2.05	9.5	36	0.13	0.036
13	1.83	7.5	37	0.11	0.028
14	1.63	6.0	38	0.10	0.022
15	1.45	4.8	39	0.09	0.017
16	1.29	3.7	40	0.08	0.014
17	1.15	3.2	41	0.07	0.011
18	1.024	2.5	42	0.06	0.009
19	0.91	2.0	43	0.056	0.007
20	0.81	1.6	44	0.05	0.005

Fuente: <http://www.electronicafacil.net/tutoriales>; Valores normalizados cables AWG.

Una vez conseguido todo lo anterior se debe conectar cada componente como se muestra en el esquema de la *Figura 85*, o bien físicamente como se muestra en la *Figura 86*, consiguiendo así que el circuito de la lámpara o linterna solar sea totalmente funcional, durante el día solo requerirá un promedio de 30 minutos de exposición solar, para acumular la suficiente energía en la batería recargable como para producir aproximadamente 3 horas continuas de iluminación, esto fue comprobado físicamente una vez terminado el circuito. Cabe mencionar que la pila o batería tendrá una vida útil aproximada de 1,000 recargas (según el Manual de Usuario), que representará de usarse diariamente un tiempo mayor a 2 años y medio periodo en el cual se recomienda cambiar dicho componente por uno nuevo.

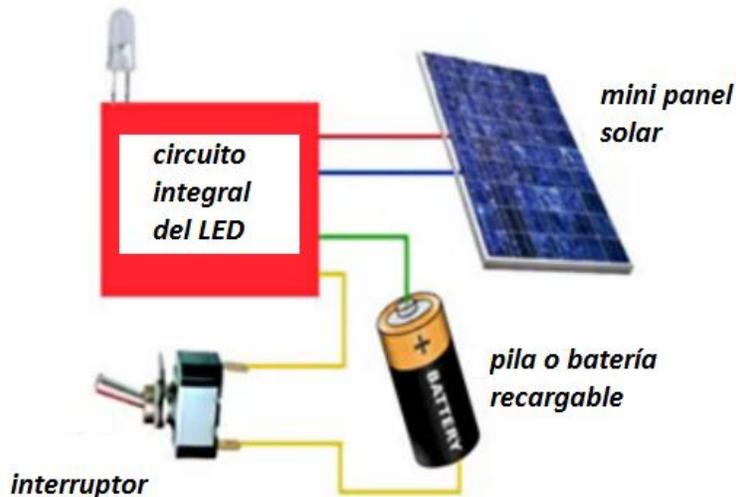


Fig. 85 Esquema del circuito de la Linterna solar.
Fuente: FGRT11



Fig. 86 Diseño del circuito de la Lámpara solar.
Fuente: FGRT11

Una vez finalizado el circuito se tendrán que hacer algunas revisiones con ayuda de un multímetro para comprender mejor el funcionamiento del sistema (*Figura 87*), destacando lo siguiente, mientras haya luz solar incidiendo sobre el mini panel o módulo el multímetro mostrará valores de intensidad de corriente (amperes) negativos, esto se debe a que estará absorbiendo la energía y transfiriéndola a la pila recargable, la cual estará acumulándola en lugar de producirla (*Figura 88*), una vez retirado el mini panel o módulo de la luz solar sucederá lo inverso, es decir la pila alimentará al circuito con la energía que estuvo recargando lo cual encenderá el LED (*Figura 89*). Los valores que indica el multímetro cuando el circuito está en funcionamiento (voltaje e intensidad), están en los rangos de las características del LED ya mencionadas.



Fig. 87 Localización del multímetro en el circuito.
Fuente: FGRT11



Fig. 88 Circuito apagado acumulando energía con luz solar simulada.
Fuente: FGRT11



Fig. 89 Funcionamiento del circuito con la carga de la pila o batería.
Fuente: FGRT11

Para poder transportar el circuito no es necesario utilizar cinta aislante y mucho menos protecciones en manos, esto debido a que produce un voltaje e intensidad de corriente bajos, sin embargo se recomienda asegurar el circuito a una base de madera (aglomerado perforado), para evitar daños en el mismo y para poder transportarlo adecuadamente, se reitera que si se desea añadir más elementos dependerá del lector y del propósito final que le dé a esta tecnología.

Finalmente al considerar el costo total del circuito de la lámpara o linterna solar este representará aproximadamente 160 pesos mexicanos (omitiendo el costo del multímetro).

Al diseñar el prototipo se intenta escalar la instalación fotovoltaica del estudio de caso a un nivel accesible para cualquier individuo en tecnología, tiempo y costos, con la finalidad que los mexicanos podamos tener energías renovables en nuestros hogares sin excusas, coadyuvando a producirlas, adoptarlas e implementarlas en nuestra vida cotidiana.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La capacidad instalada del diseño cumple cabalmente los requerimientos de energía eléctrica de la vivienda del estudio de caso y en general los de cualquier vivienda típica mexicana cuyo requerimiento eléctrico está en promedio entre los 1200 a 2000 Kw/año (GENERAL ELECTRIC, 2009) por tanto el diseño presentado excede aproximadamente en un 20 % el requerimiento máximo anual de las viviendas en México y puede ser utilizado cabalmente para otros estudios de caso en México.

La información contenida en los diferentes apartados de este documento, han demostrado que las energías renovables son simples en funcionamiento e inclusive son altamente interesantes desde el punto de vista académico de fabricar y utilizar.

Del análisis económico efectuado se demuestra la factibilidad económica de la propuesta ya que se obtuvieron costos por kWh inferiores a los establecidos por el servicio eléctrico comercial (CFE) por tanto para el estudio de caso la instalación solar fotovoltaica obtuvo una producción de electricidad más barata (a largo plazo), que el servicio eléctrico comercial y en una cantidad suficiente siendo además un abastecimiento eléctrico sustentable.

Puede extenderse la vida útil de los paneles solares a más de 30 años siempre y cuando el mantenimiento sea constante es decir permanente. En los paneles solares se deberá llevar a cabo cada mes las siguientes labores: limpieza de los paneles, verificación de los elementos de sujeción y conexión, el estado de degradación de los elementos constructivos de los paneles y que sus operaciones sean vigiladas cuidadosamente, de no atender estas indicaciones la producción de los paneles solares después de los 30 años será inevitablemente disminuida y no se garantiza que continúen funcionando.

De los resultados del presente diseño se encontró que para cubrir las necesidades de suministro de energía eléctrica de una vivienda en México, las características generales que deben cubrir los paneles son:

Potencia entre los 50 a 200 Wp.

Dimensiones entre 0.5 y 1 m²

Durabilidad o vida útil de 30 años.

Voltaje de 12 hasta 48 V en corriente continua,

Intensidad de 2.5 A (amperios o amperes) hasta 3.5 A.



La propuesta de diseño de la instalación fotovoltaica en la vivienda del estudio de caso puede ser adecuada fácilmente para cualquier zona de la Ciudad de México ajustando únicamente valores técnicos y dimensionando la cantidad de electricidad requerida para cada estudio de caso en particular. A su vez auxiliará al proyectista indicando de forma realista los requerimientos técnicos y económicos que deberá tomar en consideración al momento de proceder con la instalación fotovoltaica en una vivienda u edificio. Se exhorta al ciudadano o proyectista a diseñar la instalación fotovoltaica considerando las particulares de cada zona y vivienda mexicana, además de acatar lo escrito en apartados anteriores. El resultado particular de cada instalación solar fotovoltaica en cuanto a la orientación, inclinación y distancia de los paneles solares será útil en el diseño de la estructura de soporte y en la colocación de los mismos.

Para los fines de la instalación solar fotovoltaica en la vivienda del estudio de caso, es necesario aclarar que fue recalculada el área de los paneles solares principalmente, para producir la misma cantidad de kWh/año que se consumen en la vivienda, esto debido a que el servicio eléctrico comercial difícilmente pagará los kWh excedentes y se sentirá más cómodo al solo nulificar o condonar el costo de los recibos enviados bimestralmente a la vivienda, es decir, como empresa el servicio eléctrico comercial si bien no genera ganancias monetarias buscará al menos tampoco generar pérdidas.

El inversor seleccionado variará inequívocamente en cada estudio de caso (zona y vivienda), debido a las características propias de diseño en la instalación solar fotovoltaica, sin embargo, el medidor seleccionado tiene un diseño y utilidad más genérico, es responsabilidad del ciudadano o proyectista el revisar concienzudamente las especificaciones de cada inversor y medidor. Cabe mencionar que el inversor debe ser protegido de altas temperaturas y de exposición directa al sol causas principales de su deterioro y mal funcionamiento.

Se hace la clara observación que la instalación fotovoltaica de momento no ha sido implementada en la vivienda del estudio de caso y por tanto es un ejemplo hipotético. La puesta en práctica del proyecto evitará la utilización del servicio eléctrico comercial casi por completo y si se implementa en varias viviendas mexicanas mejorará las condiciones ambientales y al propio tiempo mitigará la emisión de GEI, en el suceso que la electricidad sea producida por presas hidroeléctricas en el primer caso y por plantas de energía a base de combustibles fósiles o bien derivados del petróleo y carbón para ambos casos.



Finalmente la instalación solar fotovoltaica, en vez de incrementar sus costos de producción como lo hace bimestralmente el servicio eléctrico comercial, baja año con año el costo de la tecnología que la hace funcionar, es decir, los paneles solares, esto debido a que comienza a popularizarse el uso y producción de las energías renovables y cada vez existen más empresas que las fabrican creando competencia entre ellas y bajando inevitablemente sus precios, por esto y todo lo escrito anteriormente las energías renovables son el futuro inmediato.



ANEXO B (Enchufes, voltajes y frecuencias por país).

Este apartado contiene una Lista de países o zonas con los enchufes, voltajes (tensión eléctrica) y frecuencias que usan normalmente en aplicaciones domésticas y en la mayoría de los otros usos (WALES, 2012) (*Figura 90*).

Enchufes de pared.

La nomenclatura empleada en este apartado, es la usada por el gobierno de los Estados Unidos en sus documentos oficiales (*Electric current abroad*⁵¹), donde se define una letra como nombre y se indica una lista de los lugares donde se usa cada tipo de enchufe (*Figura 91*). Existe información más actualizada en el Informe Técnico 60083 de la IEC⁵² (*International Electrotechnical Commission*) (WALES, 2012).

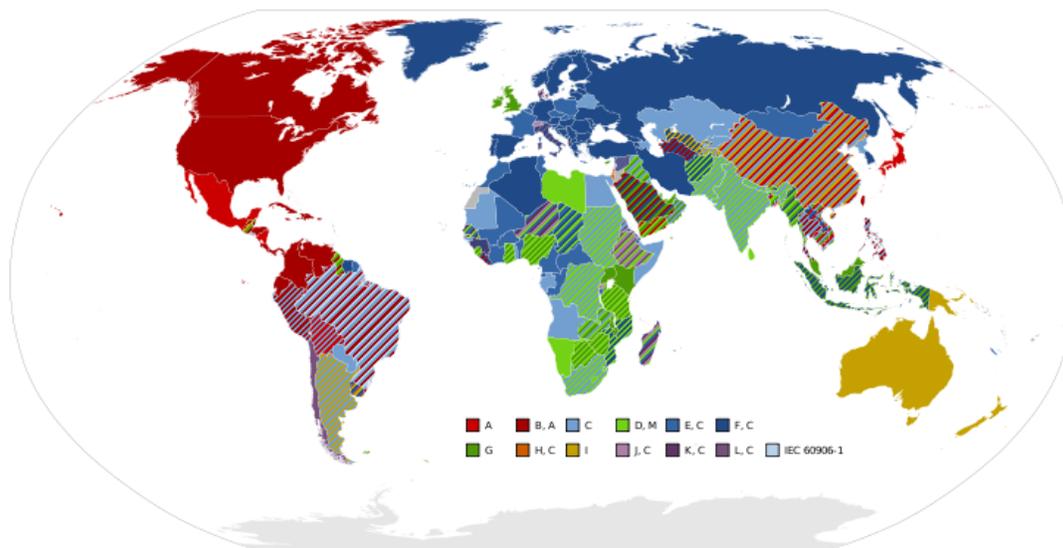


Fig. 90 Países del mundo, coloreados según el tipo de enchufe principales en uso.

Fuente: (WALES, 2012)

⁵¹ Publicación traducida como “corriente eléctrica en el extranjero”, creada para ayudar a los fabricantes estadounidenses, exportadores e individuos que vivan o viajen por el extranjero. Esta publicación lista las características de corriente eléctrica disponible y el tipo de enchufes en uso en la mayoría de los países.

⁵² La Comisión Electrotécnica Internacional (CEI o IEC por sus siglas en inglés, International Electrotechnical Commission) es una organización de normalización en los campos eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas.

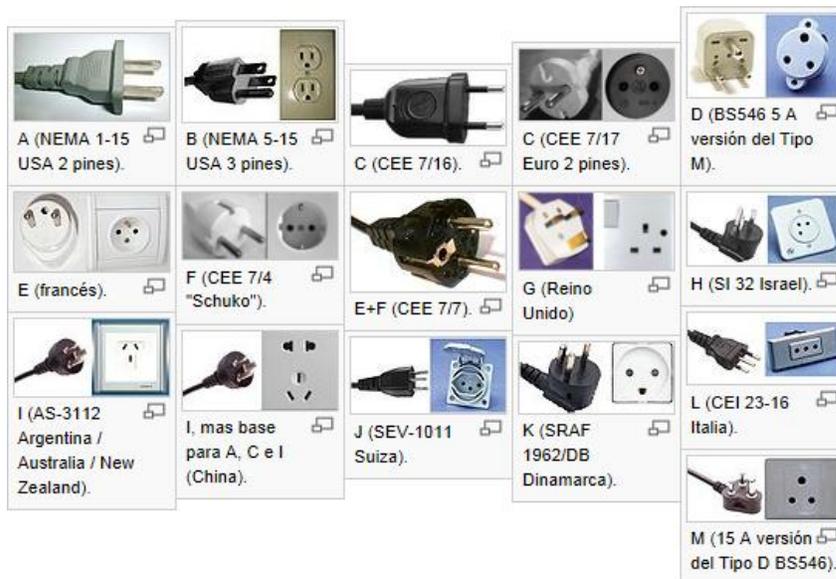


Fig. 91 Tipos de enchufe.
Fuente: (WALES, 2012)

Rangos de tensión

Los voltajes (tensiones) que aparecen en este apartado son los nominales de fuentes de tensión monofásicas⁵³ (Figura 92). Los sistemas trifásicos⁵⁴ o industriales tienen otras tensiones que normalmente se indican en forma de valor eficaz.

⁵³ En ingeniería eléctrica, un sistema monofásico es un sistema de producción, distribución y consumo de energía eléctrica formado por una única corriente alterna o fase y por lo tanto todo el voltaje varía de la misma forma.

⁵⁴ En ingeniería eléctrica un sistema trifásico es un sistema de producción, distribución y consumo de energía eléctrica formado por tres corrientes alternas monofásicas de igual frecuencia y amplitud (y por consiguiente, valor eficaz) que presentan una cierta diferencia de fase entre ellas y están dadas en un orden determinado.

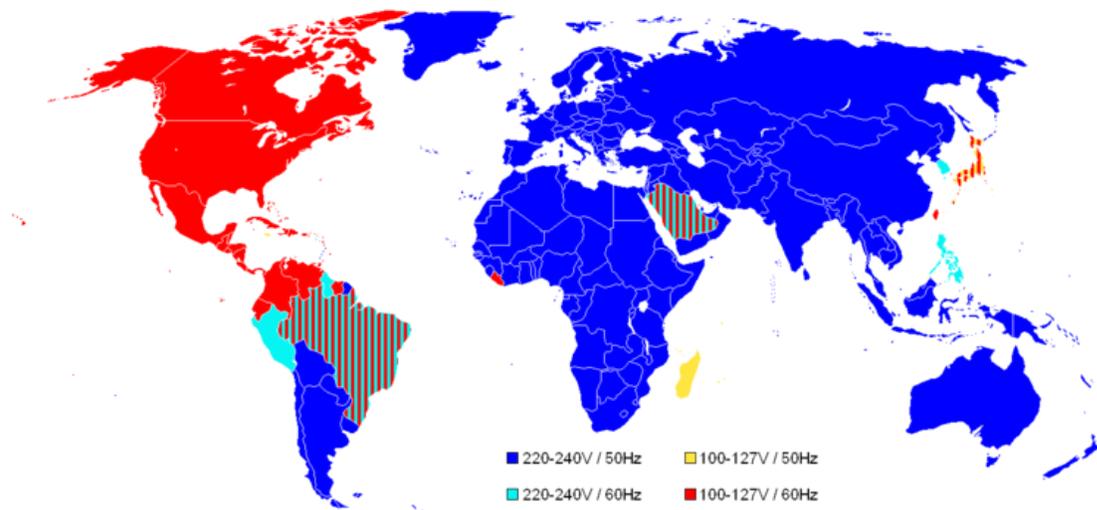


Fig. 92 Mapa mundial indicando la tensión eléctrica y la frecuencia usada en cada país.
Fuente: (WALES, 2012)

El *Cuadro 23*, indica ejemplos de las tensiones y frecuencias específicas de algunos países de interés incluyendo comentarios y destacando a México. Si se desea conocer información de otros países en relación a lo mostrado en el *Cuadro 23*, se exhorta al lector a revisar la cita bibliográfica “WALES, 2012”.



Cuadro 23 Países de interés enchufes, tensiones y frecuencias.

Región	Enchufes	Tensión	Frecuencia	Comentarios
Afganistán	C, D, F	240 V	50 Hz	Variación entre 160 y 280 V.
Albania	C, F	220 V	50 Hz	
Alemania	C, F	230 V	50 Hz	El Tipo F ("Schuko", abreviatura de "Schutzkontakt") es el estándar. Los enchufes Tipo C ("Euro-enchufe") son comunes, sobre todo para aplicaciones de baja potencia, sin embargo las tomas de corriente Tipo C son muy poco comunes, solo se dan en instalaciones muy antiguas.
Canadá	A, B	120 V	60 Hz	Tensión normalizada a 120 V. Se usa 240 V para aplicaciones tales como secadoras, aire acondicionado, hornos y maquinaria. Las Construcciones con circuitos dobles deben tener ambas tensiones. Las tomas Tipo A solo se usan para reposición de las existentes, las nuevas construcciones usan el tipo B. En las nuevas cocinas se instala una toma tipo B de 20-Amp.
Estados Unidos	A, B	120 V	60 Hz	Tensión normalizada a 120 V. Los proveedores de electricidad intentan mantener continuamente el suministro entre 114 y 126 V. Los 240 V/60 Hz se usan para aplicaciones de mayor potencia tales como aires acondicionados, secadoras, hornos, estufas, y calentadores de agua. En las construcciones que poseen doble circuito tienen disponibles tanto los 120 como los 240 V.
México	A, B	127 V	60 Hz	El tipo B es el más común. La tensión puede variar legalmente entre +/- 10% (proporcionando un rango de 114 a 140 voltios). El sistema de fase partida está ampliamente extendido y los electricista pueden cablear las tomas tanto del tipo A como B para obtener 240 V necesarios para el aire acondicionado, lavadoras y secadoras.
Francia	C, E	230 V (antes 220 V)	50 Hz	Contactos de tipo C prohibidos en nuevas instalaciones por más de 10 años.

Fuente: (WALES, 2012).



ANEXO C (Recibos de la CFE).

Medición de consumos					Facturación			
Num. de Medidor	Lectura Actual	Lectura Anterior	Multiplicador	Consumo kWh	Concepto	kWh	Precio	Total
D509134			1	403	Básico	150	0.707	106.05
					Intermedio	100	1.177	117.70
					Excedente	153	2.489	380.82
					Suma	403		604.57

Periodo de consumo	Días	Promedio diario kWh
19 OCT 10 a 17 DIC 10	59	6.83

Historial de consumo (kWh)						
Facturación	Feb	Abr	Jun	Ago	Oct	Dic
2009	338	409	434	420	420	407
2010	429	444	426	478	462	403

Apoyo gubernamental	
Costo de Producción:	\$1,435.87
Aportación Gubernamental:	\$831.31

Importe del bimestre	
Energía	604.57
IVA 16%	96.73
Fac. del Periodo	701.29
Diferencia por redondeo	0.48
Total	701.77

Uso Doméstico Tarifa Hilos 01 1

Fecha límite de pago: 31 ENE 11

Numero de servicio: 965 990 502 460

Total a pagar por el bimestre: \$ 701.00
 (SETECIENTOS UN PESOS 00/100 M N)

Nombre y Domicilio:
 ALFREDO CENTENO C
 DOMICILIO CONOCIDO AV 619 82
 DISTRITO FEDERAL, D.F.
 C.P. 07979
 Cuenta: 28 DM24C 01 683 0046

Comisión Federal de Electricidad
 Av. Paseo de la Reforma Num. 164
 Col. Juárez, México, D.F. C.P. 06600
 RFC: CFE370814-Q10

Una empresa de clase mundial

Avisos importantes:
 - Nos transformamos para servirte mejor.
 - Servicio a Clientes Teléfono 071.

El pago de este recibo no te exime de adeudos anteriores
Consulta tu estado de cuenta al reverso

Factura: ZA
 Folio: 000026126814
 No. Aprobación: 49137
 Añe Aprobación: 2010
 No. Certificado: 00001000000100809817

PORTE PAGADO
 CARTAS
 CAJAS
 CAJAS 15x7
 AUTORIZADO POR SEPOMEX



AVISO RECIBO

CFE *Una empresa de clase mundial*

Comisión Federal de Electricidad
 Av. Paseo de la Reforma Num. 164
 Col. Juárez, México, D.F. C.P. 06600
 RFC: CFE370814-Q10

Nombre y Domicilio
 ALFREDO CENTENO C
 DOMICILIO CONOCIDO AV 619 82
 DISTRITO FEDERAL, D.F.
 C.P. 07979

Cuenta: 28DM24C016830046

Medición de consumos				
Num. de Medidor	Lectura actual	Lectura anterior	Mult.	Consumo kWh
D509134	04930	04612	00001	318

Periodo de consumo	Días	Promedio diario kWh
17 DIC 10 A 17 FEB 11	62	5.12

Historial de consumo (kWh)						
Facturación	Feb	Abr	Jun	Ago	Oct	Dic
2010	429	444	426	478	462	403
2011	318					

Apoyo gubernamental

Costo de producción	\$1,180.80
Aportación Gubernamental	\$785.31

Avisos importantes

- Nos transformamos para servirte mejor.
- Servicio a Clientes Teléfono 071.

Número de servicio:
985 990 502 460

Total a pagar por el bimestre:
\$459.00
(CUATROCIENTOS CINCUENTA Y NUEVE PESOS 00/100 M.N.)

Fecha límite de pago:
14 MAR 11

Uso:	Tarifa	Hilos
Doméstico	01	1

Facturación

Concepto	kWh	Precio	Subtotal
Básico	150.0000	0.711	106.65
Intermedio	100.0000	1.185	118.50
Excedente	68.0000	2.505	170.34
Suma	318.0000		395.49

Importe del bimestre

Energía	395.49
IVA 16%	63.27
Fac. del Periodo	458.76
Diferencia por redondeo	0.77
Total	\$459.53

Factura: MA
 Folio: 000001536781
 No. aprobación: 24721
 Año de aprobación: 2011
 No. certificado: 00001000000100809817

PORTE PAGADO
 CARTAS
 CA09-1597
 AUTORIZADO POR SEPOMEX

El pago de este recibo no te exime de adeudos anteriores

Consulta tu estado de cuenta al reverso



AVISO RECIBO							
CFE <i>Una empresa de clase mundial</i> Comisión Federal de Electricidad Av. Paseo de la Reforma Num. 164 Col. Juárez, México, D.F. C.P. 06600 RFC: CFE370814-Q10				Número de servicio: 985 990 502 460			
Nombre y Domicilio ALFREDO CENTENO C DOMICILIO CONOCIDO AV 619 82 DISTRITO FEDERAL, D.F. C.P. 07979				Total a pagar por el bimestre: \$811.00 (OCHOCIENTOS ONCE PESOS 00/100 M.N.)			
Cuenta: 28DM24C016830046				Fecha límite de pago: 09 SEP 11			
Medición de consumos					Uso:	Tarifa	Hilos
Num. de Medidor	Lectura actual	Lectura anterior	Mult.	Consumo kWh	Doméstico	01	1
D509134	06168	05734	00001	434	Facturación		
Periodo de consumo	Días	Promedio diario					
16 JUN 11 A 17 AGO 11	62	7.00 kWh					
Historial de consumo (kWh)							
Facturación	Feb	Abr	Jun	Ago	Oct	Dic	
2010	429	444	426	478	462	403	
2011	318	304	500	434			
Apoyo gubernamental							
Costo de producción				\$1,686.17			
Aportación Gubernamental				\$987.07			
Avisos importantes							
<ul style="list-style-type: none"> - Usted cumple con el consumo para cambiar su refrigerador con el apoyo del Gobierno Federal. Más información al 01 800 9000 019. - Antes de comprar, verifica los modelos y los precios de las tiendas participantes de tu localidad. - Nos transformamos para servirte mejor. 							
Factura: MA Folio: 00007089097 No. aprobación: 24721 Año de aprobación: 2011 No. certificado: 00001000000104150052				PORTE PAGADO CARTAS CA09-1597 AUTORIZADO POR SEPOMEX			
El pago de este recibo no te exime de adeudos anteriores Consulta tu estado de cuenta al reverso							



AVISO RECIBO

CFE *Una empresa de clase mundial*

Comisión Federal de Electricidad
 Av. Paseo de la Reforma Num. 164
 Col. Juárez, México, D.F. C.P. 06600
 RFC: CFE370814-Q10

Número de servicio:

985 990 502 460

Nombre y Domicilio

ALFREDO CENTENO C
 DOMICILIO CONOCIDO AV 619 82
 DISTRITO FEDERAL, D.F.
 C.P. 07979

Total a pagar por el bimestre:

\$784.00

(SETECIENTOS OCHENTA Y CUATRO PESOS
 00/100 M.N.)

Fecha límite de pago:

03 ENE 12

Cuenta: **18DM24C018070046**

Medición de consumos

Num. de Medidor	Lectura actual	Lectura anterior	Mult.	Consumo kWh
D509134	06931	06496	00001	435

Uso: **Doméstico** Tarifa: **01** Hilos: **1**

Facturación

Periodo de consumo	Días	Promedio diario kWh
04 OCT 11 A 09 DIC 11	66	6.59

Historial de consumo (kWh)

Facturación	Feb	Abr	Jun	Ago	Oct	Dic
2010	429	444	426	478	462	403
2011	318	304	500	434	328	435

Importe del bimestre

Energía	676.40
IVA 16%	108.22
Fac. del Periodo	784.62
Diferencia por redondeo	0.14
Total	\$784.76

Apoyo gubernamental

Costo de producción	\$1,738.76
Aportación Gubernamental	\$1,062.36

Avisos importantes

- Usted cumple con el consumo para cambiar su refrigerador con el apoyo del Gobierno Federal. Más información al 01 800 9000 019.
- Antes de comprar, verifica los modelos y los precios de las tiendas participantes de tu localidad.
- Nos transformamos para servirle mejor.

El pago de este recibo no te exime de adeudos anteriores

Consulta tu estado de cuenta al reverso

Factura: MA
 Folio: 000010652612
 No. aprobación: 24721
 Año de aprobación: 2011
 No. certificado: 00001000000104150052

PORTE PAGADO
 CARTAS
 CA09-1507
 AUTORIZADO POR SEPOMEX



AVISO RECIBO

CFE *Una empresa de clase mundial*

Comisión Federal de Electricidad
 Av. Paseo de la Reforma Num. 164
 Col. Juárez, México, D.F. C.P. 06600
 RFC: CFE370814-Q80

Nombre y Domicilio
 ALFREDO CENTENO C
 DOMICILIO CONOCIDO AV 619 82
 SAN JUAN DE ARAGON 4A
 DISTRITO FEDERAL, D.F.
 C.P. 07979

Cuenta: 18DM24C018070046

Medición de consumos

Num. de Medidor	Lectura actual	Lectura anterior	Mult.	Consumo kWh
D509134	07517	06931	00001	586

Periodo de consumo

Periodo de consumo	Dias	Promedio diario kWh
09 FEB 11 A 10 FEB 12	63	9.30

Historial de consumo (kWh)

Facturación	Feb	Abr	Jun	Ago	Oct	Dic
2011	318	304	500	434	328	435
2012	586					

Apoyo gubernamental

Costo de producción	\$2,354.88
Aportación Gubernamental	\$1,247.40

Avisos importantes

- Usted cumple con el consumo para cambiar su refrigerador con el apoyo del Gobierno Federal. Más información al 01 800 9000 019.
- Antes de comprar, verifica los modelos y los precios de las tiendas participantes de tu localidad.
- Nos transformamos para servirte mejor.

Número de servicio:
985 990 502 460

Total a pagar por el bimestre:
\$1,285.00
 (UN MIL DOSCIENTOS OCHENTA Y CINCO PESOS 00/100 M.N.)

Fecha limite de pago:
03 MAR 12

Uso: Doméstico
Tarifa: 01
Hilos: 1

Facturación

Concepto	kWh	Precio	Subtotal
Básico	150.0000	0.735	110.25
Intermedio	100.0000	1.233	123.30
Excedente	336.0000	2.601	873.93
	586.0000		1,107.48

Importe del bimestre

Energía	1,107.48
IVA 16%	177.19
Fac. del Periodo	1,284.67
Diferencia por redondeo	0.76
Total	\$1,285.43

El pago de este recibo no te exime de adeudos anteriores

Consulta tu estado de cuenta al reverso

Factura: MA
 Folio: 000012577941
 No. aprobación: 164641
 Año de aprobación: 2012
 No. certificado: 00001000000104150052

PORTE PAGADO
 CARTAS
 CAD9-1597
 AUTORIZADO POR SEPOMEX



ANEXO D (Estados de cuenta de la CFE).

CFE <i>Una empresa de clase mundial</i>		ESTADO DE CUENTA			
DETALLE DE LAS OPERACIONES					
Facturación	Tipo	Importe	Pagos	Pendiente de pago	Línea de captura
Adeudos anteriores					
del 16 JUN 11 al 17 AGO 11	Normal	\$811.00	\$811.00		
del 18 ABR 11 al 16 JUN 11	Normal	\$1,000.00	\$1,000.00		
del 17 FEB 11 al 18 ABR 11	Normal	\$421.00	\$421.00		
del 17 DIC 10 al 17 FEB 11	Normal	\$459.00	\$459.00		
del 19 OCT 10 al 17 DIC 10	Normal	\$701.00	\$701.00		
del 18 AGO 10 al 19 OCT 10	Estimada	\$866.00	\$866.00		
del 18 JUN 10 al 18 AGO 10	Normal	\$906.00	\$906.00		
del 21 ABR 10 al 18 JUN 10	Normal	\$753.00	\$753.00		
del 18 FEB 10 al 21 ABR 10	Normal	\$805.00	\$805.00		
del 18 DIC 09 al 18 FEB 10	Normal	\$752.00	\$752.00		
del 21 OCT 09 al 18 DIC 09	Estimada	\$679.00	\$679.00		
Adeudo Total				\$0.00	
OBSERVACIONES					



CFE *Una empresa
de clase mundial*

ESTADO DE CUENTA

DETALLE DE LAS OPERACIONES

Facturación	Tipo	Importe	Pagos	Pendiente de pago	Línea de captura
Adeudos anteriores					
del 04 OCT 11 al 09 DIC 11	Normal	\$784.00	\$784.00		
del 17 AGO 11 al 04 OCT 11	Normal	\$600.00	\$600.00		
del 16 JUN 11 al 17 AGO 11	Normal	\$811.00	\$811.00		
del 18 ABR 11 al 16 JUN 11	Normal	\$1,000.00	\$1,000.00		
del 17 FEB 11 al 18 ABR 11	Normal	\$421.00	\$421.00		
del 17 DIC 10 al 17 FEB 11	Normal	\$459.00	\$459.00		
del 19 OCT 10 al 17 DIC 10	Normal	\$701.00	\$701.00		
del 18 AGO 10 al 19 OCT 10	Estimada	\$866.00	\$866.00		
del 18 JUN 10 al 18 AGO 10	Normal	\$906.00	\$906.00		
del 21 ABR 10 al 18 JUN 10	Normal	\$753.00	\$753.00		
del 18 FEB 10 al 21 ABR 10	Normal	\$805.00	\$805.00		
Adeudo Total				\$0.00	

OBSERVACIONES



DEFINICIONES		
Facturación	Identifica el período de facturación de tu consumo de energía eléctrica. Sección cuarta del MD.	
MD: Manual de disposiciones relativas al suministro y venta de energía eléctrica destinada al servicio público	Define si la facturación fue normal, estimada o ajustada:	
	Normal	La facturación se determinó sobre la base de la lectura tomada de tu medidor. Sección cuarta del MD
	Estimada	Consumo determinado sobre la base de tu historial. Sección tercera del MD.
	Ajustada	Hemos registrado la lectura de tu medidor. Sobre la base de tu consumo real se determinaron las diferencias a aplicar a tus facturas, desde la fecha que se inició la estimación hasta la fecha que se tomó la lectura real en tu medidor. El cargo determinado (a favor o en contra) aparecerá bajo este concepto en tu facturación. Sección tercera del MD.
Importe	Es el resultado de aplicar los precios de tu tarifa por el consumo de energía eléctrica en el período de tu facturación más impuestos y derechos. Sección cuarta del MD.	
Pagos	Importe de tus pagos realizados. Sección sexta del MD.	
Pendiente de pago	Es el importe de los adeudos pendientes de pago.	
Línea de captura	Es la clave de referencia para realizar el pago correspondiente.	

NOTAS IMPORTANTES

- El pago de adeudos individuales no exime de adeudos anteriores.
- Para cualquier aclaración de tu recibo llama al 071.

www.cfe.gob.mx





BIBLIOGRAFÍA

- 1) ARAMBERRI ISABEL
Agencia Andaluza de la
Energía (2008).
ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA GENERAL.
www.agenciaandaluzadelaenergia.es
- 2) Asociación Nacional de
energía solar (ANES)
(1998).
SEMINARIO REGIONAL DE
OPORTUNIDADES PARA EL DESARROLLO
SUSTENTABLE CON ENERGÍAS
RENOVABLES.
<http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/1477/1/images/b1anes.pdf>
- 3) DE MIGUEL IGNACIO
(2007).
SISTEMAS CONCENTRADOS DE ENERGÍA
SOLAR (CSP).
<http://www.biocarburante.com/sistemas-concentrados-de-energia-solar-csp/>
- 4) ESTUDIO DESDE 1997
CAMBIO CLIMATICO
GLOBAL (2010).
LISTA RESUMEN SOBRE GASES
INVERNADERO (EFECTO INVERNADERO).
<http://www.cambioclimaticoglobal.com/gasesinv.html>
- 5) FARIZANO ADOLFO
CRISTIAN (2006).
LA CRIÓSFERA.
<http://criosfera-en-transenerclima.blogspot.com/>
- 6) FOMENTO ECONÓMICO
MEXICANO S.A. DE C.V.
(FEMSA) (2011).
ADQUISICIÓN DE PROYECTOS DE ENERGÍA
EÓLICA.
<http://www.diariodefusiones.com/?page=tags&q=Energ%EDa%20EI%E9ctrica>



- 7) GALLEGOS, El Rincón del Vago (2008).
INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR.
<http://html.rincondelvago.com/instalacion-de-energia-solar.html>
- 8) GENERAL ELECTRIC (GE) (2009).
COMUNICADO DE PRENSA ESTUDIO KW CONSUMIDOS POR UNA VIVIENDA.
<http://www.ge.com/mx/news/index.html>
- 9) GOMEZ MARTÍN Universidad Autónoma de México (UNAM) (2010).
LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO Y EL MUNDO.
<http://www.geociencias.unam.mx/~roman/docencia/intrinv1/artsEnergia/Energia%20alt%20Mexico.pdf>
- 10) GOODALL CHRIS (2008).
TEN TECHNOLOGIES TO SAVE THE PLANET.
GREYSTONE BOOKS
D&M PUBLISHERS INC.
Vancouver/Toronto/ Berkeley
Introducción.
- 11) LORENTE LÓPEZ ANTONIO JOSÉ (2008).
LÁMINAS NANOSOLARES.
<http://www.proyectaingenieros.es/modules/myalbum/photo.php?lid=6>
- 12) MAMANI, JEANY El Rincón del Vago (2009).
ENERGÍAS ALTERNATIVAS.
http://html.rincondelvago.com/energias-alternativas_3.html



- 13) NASA, EUA (2011). NASA SATELLITES DETECT EXTENSIVE DROUGHT IMPACT ON AMAZON FORESTS. http://www.nasa.gov/topics/earth/features/amazon_drought.html
- 14) OPEX, ENERGY (2011). EÓLICA; TIPOS DE AEROGENERADORES. http://www.opex-energy.com/eolica/tipos_aerogeneradores.html
- 15) RAMIRO, Grupo de Investigación de la Universidad de Cádiz (UCA) (2004). ENERGÍAS RENOVABLES. http://www2.uca.es/grup-invest/instrument_electro/Ramiro/docencia_archivos/JustificacionEnergiasRenovables.PDF
- 16) SEGOB (Secretaría de Gobernación) (2010). ENCICLOPEDIA DE LOS MUNICIPIOS Y DELEGACIONES DE MÉXICO. <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/EMM09DF/index.html>
- 17) WADONGO EVANS (2010). 'USE SOLAR, SAVE LIVES' PROGRAM. <http://sustainabledevelopmentforall.org>



18) WALES JIMMY.

ENERGY RENEWABLE (2011).

http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_renovable

LIOTES VEXILLIFER (2009).

http://es.wikipedia.org/wiki/Liotes_vexillifer

A. PANEL FOTOVOLTAICO (2008).

http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_renovable

B. LED (2008).

http://es.wikipedia.org/wiki/Led#cite_note-1

ANEXO: ENCHUFES, VOLTAJES Y FRECUENCIAS POR PAÍS (2012).

http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Enchufes,_voltajes_y_frecuencias_por_pa%C3%ADs#cite_ref-9

19) ZEUS BCN (2005).

ORIENTACIÓN Y CÁLCULOS ENERGÍAS RENOVABLES.

<http://zeusbcn.iespana.es/htm/imagenes/solar.pdf>