



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

**Proyecto de investigación y desarrollo en opción al Grado Académico
de Magister en GESTIÓN DE ENERGÍAS**

TEMA:

“MONITOREO DE LA CARGA Y LA RADIACIÓN SOLAR PARA
EL DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO EN LA CASA
N°10 DEL BARRIO MARÍA DE LA CIUDAD DE LATACUNGA”

Autor: SALAZAR Achig, Edgar Roberto

Tutor: Ph.D. Gustavo Rodríguez Bárcenas

LATACUNGA – ECUADOR

Diciembre - 2015



AVAL DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe del Proyecto de Investigación y Desarrollo de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el posgraduado: Salazar Achig Edgar Roberto, con el título de tesis: “MONITOREO DE LA CARGA Y LA RADIACIÓN SOLAR PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO EN LA CASA N°10 DEL BARRIO MARÍA DE LA CIUDAD DE LATACUNGA” ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga Septiembre, 2015.

Para constancia firman:

.....
NOMBRES Y APELLIDOS
PRESIDENTE

.....
NOMBRES Y APELLIDOS
MIEMBRO

.....
NOMBRES Y APELLIDOS
MIEMBRO

.....
NOMBRES Y APELLIDOS
OPONENTE



AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS

Latacunga, Noviembre del 2015

En mi calidad de Director de Tesis presentada por el Ing. Salazar Achig Edgar Roberto, Egresado de la Maestría en Gestión de Energías, previa a la obtención del mencionado grado académico, cuyo título es **“Monitoreo de la carga y la radiación solar para el diseño de un sistema fotovoltaico en la casa N°10 del barrio María de la ciudad de Latacunga”**.

Considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador.

Atentamente

Ph.D. Gustavo Rodríguez Bárcenas

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, Edgar Roberto Salazar Achig, portador del número de cédula 050284761-9, declaro que la presente Tesis de Grado, es fruto de mi esfuerzo, responsabilidad y disciplina, logrando que los objetivos propuestos se culminen con éxito.

Atentamente

Edgar Roberto Salazar Achig

C.I. 050284761-9

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Cotopaxi por guiarme en el camino de la excelencia, a mi tutor Ph.D. Gustavo Rodríguez por su amistad y brindarme ese apoyo incondicional para concluir con éxitos este trabajo de investigación, a mis padres por todo su apoyo incondicional.

DEDICATORIA

A mi madre María Achig por su amor y comprensión en el trajinar de mis estudios hacerme entender que las cosas no llegan fáciles y apoyarme en todo momento de mi vida.

A mi padre Edgar Salazar por enseñarme los valores de la disciplina honor y honestidad.

A mi hermana Yady Salazar por acolitarme en todas gracias te debo una siempre estaré ahí para ti en las buenas y malas.

A mi abue María Cabrera por haberme acogido en los momentos más difíciles de mi vida.

A mis amigos Carlos y Marcelo por haber ayudado en los momentos más difíciles y por toda la colaboración en la realización de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

AVAL DEL TRIBUNAL DE GRADO	ii
AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS	iii
AUTORÍA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT	xxii
INTRODUCCIÓN	1
SITUACIÓN PROBLÉMICA	1
JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
OBJETO Y PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	6
CAMPO DE ACCIÓN Y OBJETIVO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN	7
HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	7
VISIÓN EPISTEMOLÓGICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	10
DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO	12

CAPÍTULO I

1. Marco contextual y teórico

1.1. Caracterización detallada del objeto de investigación.....	14
1.1.1 Descripción del objeto.....	15

1.1.2 Delimitación espacio-temporal	16
1.2 El Marco Teórico.....	18
1.2.1 Argumentación acerca de la necesidad de investigación.	18
1.2.2. Antecedentes de estudio.....	22
1.2.3. Fundamentación teórica	24
Energías Renovables	25
Energía solar fotovoltaica	26
Radiación solar.....	26
Medición de la radiación solar	31
Generación de energía eléctrica	33
Generación de energía eléctrica fotovoltaica	33
Sistemas fotovoltaicos.....	36
1.3. Fundamentación de la investigación.....	48
Árbol de Problemas.....	48
1.3.1. El problema	49
1.3.2. Viabilidad teórica y práctica	49
1.4. Bases teóricas particulares de la investigación.....	50
1.4.1. Variables de investigación	50
1.4.2. Operacionalización de las variables	51

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1. Marco Normativo Legal y Técnico.....	53
Normativa eléctrica	54
2.2. Métodos y Técnicas	55

2.2.1 Tipo de sistema fotovoltaico: de acuerdo a la clasificación.....	56
2.2.2 Carga instalada y demanda energética individual y total para micro redes	57
Levantamiento y determinación del consumo diario de energía en la vivienda .	57
Etapa 1.- Condiciones para analizar la carga	60
Etapa 2.- Características mínimas del equipo	60
Etapa 3.- Selección del analizador de redes	60
Etapa 4.- Forma de conexión del equipo para una red bifásica	62
Etapa 5.- Lugar de instalación del analizador de redes	63
Etapa 6.- Pruebas de funcionamiento del analizador de redes	64
Etapa 7.- Frecuencias y características de la medición del analizador de redes .	65
Etapa 8.- Descarga de los datos del analizador de redes.....	67
2.2.3. Radiación solar del emplazamiento, de acuerdo a las referencias recomendadas o medidas en el sitio.....	68
Cálculo de la radiación sobre superficie inclinada y horas solares en los paneles solares.....	68
Determinación del recurso solar de Latacunga por atlas solar.....	69
Valores de insolación global en la zona de estudio.....	69
Determinación del recurso solar de Latacunga por mediciones.....	70
Etapa 1.- Parámetro de diseño radiación solar	72
Etapa 2.- Selección del piranómetro	73
Etapa 3.- Lugar de instalación del piranómetro APOGEE MP-200	75
Etapa 4.- Pruebas de funcionamiento del piranómetro APOGEE MP-200	77
Etapa 5.- Frecuencias y características de la medición del piranómetro APOGEE MP-200.....	77
Etapa 6.- Descarga de los datos del piranómetro	78

2.2.4. Software SolidWorks 2015	80
Análisis por elementos finitos (FEA), para el diseño de estructuras	81

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Análisis de la radiación solar, mes Mayo	84
3.1.1. Análisis del promedio de datos por horas de radiación solar incidente en el sitio de estudio, mes Mayo.....	84
3.1.2. Análisis del promedio de datos diario de radiación solar incidente en el sitio de estudio, mes Mayo.....	86
3.1.3. Análisis para cuatro diferentes días, mes Mayo.....	88
3.2 Análisis de la radiación solar, mes Junio.....	90
3.2.1. Análisis del promedio de datos por horas de radiación solar incidente en el sitio de estudio, mes Junio	90
3.2.2. Análisis del promedio de datos diario de radiación solar incidente en el sitio de estudio, mes Junio	93
3.2.3. Análisis para cuatro diferentes días, mes Junio	95
3.3 Análisis de la radiación solar, mes Julio.....	97
3.3.1. Análisis del promedio de datos por horas de radiación solar incidente en el sitio de estudio, mes Julio	97
3.3.2. Análisis del promedio de datos diario de radiación solar incidente en el sitio de estudio, mes Julio	100
3.3.3. Análisis para cuatro diferentes días, mes Julio	102
3.4 Comparación de los valores de radiación solar en los meses de Mayo a Julio.....	104
3.5. Cálculo de la radiación sobre superficie inclinada y horas solares.....	107
3.6. Análisis de la carga.....	109
3.6.1. Análisis del promedio de datos por horas de la carga línea uno (L1).....	109

3.6.2. Análisis del promedio de datos por horas de la carga línea dos (L2)	110
3.6.3. Análisis del promedio de datos por horas de la carga de la línea uno (L1) y línea dos (L2)	111

CAPÍTULO IV

4. PROPUESTA

4.1. Título de la propuesta	123
4.2. Justificación de la propuesta.....	123
4.3. Objetivo de la propuesta	124
4.3.1. Objetivo general	124
4.3.2. Objetivos específicos	125
4.4. Estructura de la propuesta.....	125
4.5. Desarrollo de la propuesta	125
4.5.1. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico sincronizado conectado a la red	125
Orientación de los paneles fotovoltaicos.....	127
Inversor	128
Cálculo del número de módulos fotovoltaicos para la vivienda	131
Alternativa No 1.- Sistema fotovoltaico (Un módulo fotovoltaico) conectado a la red (SFCR) para cubrir la carga mínima instalada en la vivienda.	132
Comportamiento de la energía consumida y producida por un módulo fotovoltaico en el sitio de estudio.....	132
Selección de los conductores para un módulo fotovoltaico	133
Cálculo de la energía producida anualmente por un módulo fotovoltaico.....	136
Diseño de la estructura de soporte del sistema fotovoltaico para un módulo fotovoltaico	137
Mantenimiento del sistema, un módulo fotovoltaico	143
Valoración financiera de costos del proyecto para la implementación de un módulo fotovoltaico en el sistema	144

Valoración de las toneladas de CO2 emitidas al ambiente, un módulo fotovoltaico.....	157
Alternativa No 2.- Sistema fotovoltaico (Dos módulos fotovoltaicos) conectado a la red (SFCR) para cubrir la carga instalada en la vivienda.	164
Cálculo de la capacidad del acumulador (Baterías)	165
Arreglo de baterías, dos módulos fotovoltaicos.....	167
Elección del regulador de carga	168
Selección de los conductores para dos módulos fotovoltaicos	170
Cálculo de la energía producida anualmente por dos módulos fotovoltaicos...	173
Diseño de la estructura de soporte para dos módulos fotovoltaicos	173
Mantenimiento del sistema, dos módulos fotovoltaicos.....	179
Valoración financiera de costos del proyecto para la implementación de dos módulos fotovoltaicos en el sistema.....	179
Valoración de las toneladas de CO2 emitidas al ambiente, dos módulos fotovoltaicos ...	191
Análisis de las dos alternativas	196
CONCLUSIONES GENERALES	198
RECOMENDACIONES GENERALES.....	200
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	201
BIBLIOGRAFÍA	201
LINKOGRAFÍA	202
ANEXOS.....	207

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Proyectos fotovoltaicos menores a 1 MW	3
Figura 2: Ecuador, Zona 3.....	16
Figura 3: Ubicación de la casa N°10, Barrió María, Latacunga	16
Figura 4: Lugar de la casa N°10, Barrió María, toma de datos del piranómetro vista a) frontal a la casa b) vista posterior a la casa.....	17
Figura 5: Red de categorías fundamentales	24
Figura 6: Principales fuentes de energías renovables	25
Figura 7: Tipos de radiación en la superficie terrestre.....	27
Figura 8: Ángulos solares	28
Figura 9: Espectro de la radiación solar.....	29
Figura 10: Radiación de un cuerpo negro	30
Figura 11: Radiación emitida por una diferencial de área de un cuerpo negro.....	33
Figura 12: Átomo de nitrógeno.....	34
Figura 13: Tensión que aparece entre las zonas N y P.....	35
Figura 14: Efecto fotovoltaico a) Campo eléctrico b) Contacto eléctrico	36
Figura 15: Esquema de un SFV residencial aislado de la red	37
Figura 16: Esquema de un SFV conectado a la red.	38
Figura 17: Panel fotovoltaico.....	39
Figura 18: Energía de irradiación% y rendimiento%.....	43
Figura 19: Sujeción del cableado de módulos.....	45
Figura 20: Imposibilidad de contactos directos, al estar las conexiones de continua y alterna.....	46
Figura 21: Árbol de problemas	48
Figura 22: Método de selección del analizador de redes	59
Figura 23: Analizador de carga FLUKE 1735	61
Figura 24: Conexiones de fase dividida.....	63
Figura 25: a) Conexión del analizador de carga FLUKE 1735 al tablero principal b) Conexión de las pinzas a las fases de alimentación	64

Figura 26: a) Forma de onda del voltaje y corriente b) Parámetros de potencia de la L1 y L2 de medición del analizador FLUKE 1735	64
Figura 27: Período de análisis mediante Software Power Log FLUKE	66
Figura 28: Power Log Software FLUKE y hoja de datos Excel	67
Figura 29: Método para utilizar el piranómetro	71
Figura 30: Piranómetro APOGEE MP-200	75
Figura 31: Instalación del piranómetro MP-200 en el patio trasero de la vivienda a) Vista frontal a la casa b) vista trasera de la casa	76
Figura 32: Certificado de calibración APOGEE MP-200.....	77
Figura 33: Irradiancia y horas solares pico	78
Figura 34: Software ApogeeAMS.....	79
Figura 35: Hoja de datos Block de notas	79
Figura 36: Pantalla Software SolidWorks.....	81
Figura 37: Curvas Voltaje - intensidad (V-I) y voltaje - potencia (V-P)	82
Figura 38: Tendencia de radiación solar media vs tiempo, mes de Mayo	85
Figura 39: Promedio diario de la radiación solar media, mes de Mayo.....	87
Figura 40: Promedio de radiación solar media para los días 04, 24, 28 y 31 del mes de Mayo	89
Figura 41: Radiación solar vs tiempo en el mes de Junio.....	92
Figura 42: Promedio diario de la radiación solar media, mes de Junio	94
Figura 43: Promedio de radiación solar media para los días 14, 18, 19 y 21 del mes de Junio	96
Figura 44: Radiación solar vs tiempo en el mes de Julio.....	99
Figura 45: Promedio diario de la radiación solar media, mes de Julio	101
Figura 46: Promedio de radiación solar media para los días 03, 13, 14 y 15 del mes de Julio.....	103
Figura 47: Radiación solar media en los meses de Mayo, Junio y Julio.....	106
Figura 48: Tabulación del número de miembros por casa	112
Figura 49: Tabulación del conocimiento de energías renovables	113

Figura 50: Tabulación del tipo de energía renovable a parte de una central hidroeléctrica.....	114
Figura 51: Tabulación del consumo mensual en kWh.....	115
Figura 52: Tabulación del tipo de cocina para cocinar los alimentos.....	116
Figura 53: Tabulación del tipo de cocina para cocinar los alimentos.....	117
Figura 54: Tabulación del conocimiento de energía eléctrica producida por paneles.....	118
Figura 55: Tabulación del conocimiento de beneficios ambientales de sistemas.....	119
Figura 56: Tabulación del costo que estaría dispuesto gastar mensualmente por un sistema fotovoltaico.....	120
Figura 57: Tendencia de la máxima potencia con relación a la radiación.....	126
Figura 58: Movimiento aparente del sol en la bóveda celeste en función de la hora del día y la época del año.....	128
Figura 59: Orientación de una estructura fija para maximizar la captación de radiación solar a lo largo del año.....	128
Figura 60: Comparación entre energía consumida en la vivienda y generada acumulada (un módulo) por el sistema fotovoltaico.....	133
Figura 61: Cables tipo PV ZZ-F (AS).....	135
Figura 62: Tensión de von Mises, estructura de un módulo fotovoltaico.....	141
Figura 63: Desplazamiento estático, estructura de un módulo fotovoltaico.....	142
Figura 64: Factor de seguridad, estructura de un módulo fotovoltaico.....	143
Figura 65: Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red con acumulador (batería).....	165
Figura 66: Tensión de von Mises, estructura de dos módulos fotovoltaicos.....	177
Figura 67: Desplazamiento estático, estructura de dos módulos fotovoltaicos.....	178
Figura 68: Factor de seguridad, estructura de dos módulos fotovoltaicos.....	178

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de proyectos de generación de Energías Renovables (ERNC) sujetos a las disposiciones y prerrogativas de la regulación No. CONELEC 004/11 ...	3
Tabla 2: Objetivos, indicadores, técnicas y resultados	8
Tabla 3: Precios Preferentes Energía Renovables en (cUSD/kWh).....	20
Tabla 4: Características físicas de los módulos Solarwatt M230-96 GET AK.....	40
Tabla 5: Características eléctricas de los módulos Solarwatt M2360-96 GET AK....	41
Tabla 6: Rendimiento según el tipo de inversor.....	42
Tabla 7: Comparación de sistemas de energía solar fotovoltaicos: aislado vs interconectado	47
Tabla 8: Operacionalización de la variable independiente	51
Tabla 9: Operacionalización de la variable dependiente.....	52
Tabla 10: Carga instalada en la vivienda	58
Tabla 11: Periodos de medición máximos posibles	65
Tabla 12: Hoja en Excel periodos de medición del analizador de redes.....	67
Tabla 13: Valor de k según latitud y mes de año	69
Tabla 14: Insolación global en la provincia de Cotopaxi.....	70
Tabla 15: Características de piranómetros	73
Tabla 16: Costo y disponibilidad del piranómetro APOGEE MP-200 y el HUKSEFLUX SR20	74
Tabla 17: Hoja de Excel presentación de datos piranómetro APOGEE MP-200.....	80
Tabla 18: Comportamiento de la radiación solar media, mes de Mayo.....	84
Tabla 19: Promedio diario de la radiación solar media, mes de Mayo.....	86
Tabla 20: Promedio de radiación solar media para los días 04, 24, 28 y 31 del mes de Mayo	88
Tabla 21: Desviación estándar de radiación solar media para los días 04, 24, 28 y 31 del mes de Mayo	90
Tabla 22: Comportamiento de la radiación solar media, mes de Junio	91
Tabla 23: Promedio diario de la radiación solar media, mes de Junio.....	93

Tabla 24: Promedio de radiación solar media para los días 14, 18, 19 y 21 del mes de Junio	95
Tabla 25: Desviación estándar de radiación solar media para los días 14, 18, 19 y 21 del mes de Junio	97
Tabla 26: Comportamiento de la radiación solar media, mes de Julio	98
Tabla 27: Promedio diario de la radiación solar media, mes de Julio	100
Tabla 28: Promedio de radiación solar media para los días 03, 13, 14 y 15 del mes de Julio	102
Tabla 29: Desviación estándar de radiación solar media para los días 14, 18, 19 y 21 del mes de Julio.....	104
Tabla 30: Radiación solar media en los meses de Mayo, Junio y Julio	105
Tabla 31: Horas de sol al día según la superficie inclinada k	107
Tabla 32: Número de horas de sol al día según la superficie inclinada k	108
Tabla 33: Potencia consumida vatios- hora (Wh) en función del tiempo 08:00 a 16:00 de la línea uno (L1)	109
Tabla 34: Potencia consumida vatios- hora (Wh) en función del tiempo 08:00 a 16:00 de la línea dos (L2).....	110
Tabla 35: Potencia consumida vatios- hora (Wh) en función del tiempo 08:00 a 16:00 de la línea uno (L1) y la línea dos (L2).....	111
Tabla 36: Tabulación del número de miembros por casa	112
Tabla 37: Tabulación del conocimiento de energías renovables	113
Tabla 38: Tabulación del tipo de energía renovable a parte de una central hidroeléctrica.....	114
Tabla 39: Tabulación del consumo mensual en kWh	115
Tabla 40: Tabulación del tipo de cocina para cocinar los alimentos	116
Tabla 41: Tabulación del tipo de cocina para cocinar los alimentos	117
Tabla 42: Tabulación del conocimiento de energía eléctrica producida por paneles solares.....	118
Tabla 43: Tabulación del conocimiento de beneficios ambientales de sistemas fotovoltaicos.....	119

Tabla 44: Tabulación del costo que estaría dispuesto gastar mensualmente por un sistema fotovoltaico	120
Tabla 45: Potencias producida por un módulo solar ZYTECH tipo 230P.....	127
Tabla 46: Rendimiento del inversor según el tipo de onda.....	129
Tabla 47: Características principales del inversor POWERSTAR LW 1000	130
Tabla 48: Potencia producida a un 95% de eficiencia del inversor POWERSTAR .	130
Tabla 49: Número de módulos fotovoltaicos ZYTECH tipo 230P.....	131
Tabla 50: Comparación entre energía consumida en la vivienda y generada acumulada (un módulo) por el sistema fotovoltaico	132
Tabla 51: Acero galvanizado, estructura un módulo fotovoltaico	138
Tabla 52: Peso estructura, un módulo fotovoltaico.....	139
Tabla 53: Sujeción de la estructura	139
Tabla 54: Cargas de la estructura, un módulo fotovoltaico	140
Tabla 55: Fuerzas resultantes, un módulo fotovoltaico	140
Tabla 56: Cronograma de mantenimiento preventivo, un módulo fotovoltaico	144
Tabla 57: Inflación anual desde enero hasta agosto 2015.....	145
Tabla 58: Tasa de interés activa.....	146
Tabla 59: Aspectos generales, implementación de un módulo fotovoltaico.....	146
Tabla 60: Inversión activos fijos, implementación de un módulo fotovoltaico.....	147
Tabla 61: Depreciación, implementación de un módulo fotovoltaico	148
Tabla 62: Activos intangibles, implementación de un módulo fotovoltaico	149
Tabla 63: Amortización activos intangibles, implementación de un módulo fotovoltaico	149
Tabla 64: Gastos operacionales, implementación de un módulo fotovoltaico.....	150
Tabla 65: Inversiones, implementación de un módulo fotovoltaico.....	151
Tabla 66: Resumen de ingresos y gastos, para la implementación de un módulo fotovoltaico	152
Tabla 67: Estado de resultados, implementación de un módulo fotovoltaico.....	153
Tabla 68: Flujo de fondos, implementación de un módulo fotovoltaico	154

Tabla 69: Valor actual neto (VAN) para la implementación de un módulo solar fotovoltaico	155
Tabla 70: Tasa interna de retorno (TIR) de la implementación de un módulo fotovoltaico	155
Tabla 71: PAY BACK de la implementación de un módulo fotovoltaico.....	156
Tabla 72: Costo beneficio de la implementación de un módulo fotovoltaico.....	157
Tabla 73: Factor de emisión estándar (CO ₂ g/kWh), de gas natural, carbón, diésel.	159
Tabla 74: Consumo energético por actividad (kWh/año), de gas natural, carbón, diésel	160
Tabla 75: Poder calorífico (kcal/año), de gas natural, carbón, diésel	161
Tabla 76: Volumen de gas natural, carbón, diésel	163
Tabla 77: Comparación entre energía consumida en la vivienda y generada acumulada (dos módulos ZYTECH tipo 230P) por el sistema fotovoltaico.....	164
Tabla 78: Características principales de la batería ULTRACELL UCG 150-12.....	167
Tabla 79: Regulador de carga ProStar PS-30.....	169
Tabla 80: Comparación entre energía acumulada por las baterías (dos módulos) y consumida en la vivienda.....	169
Tabla 81: Acero galvanizado, estructura un módulo fotovoltaico	174
Tabla 82: Peso estructura, un módulo fotovoltaico.....	175
Tabla 83: Sujeción de la estructura	175
Tabla 84: Cargas de la estructura, un módulo fotovoltaico	176
Tabla 85: Fuerzas resultantes, un módulo fotovoltaico	176
Tabla 86: Cronograma de mantenimiento preventivo, dos módulos fotovoltaicos ..	179
Tabla 87: Aspectos generales, implementación de dos módulos fotovoltaicos	180
Tabla 88: Inversión activos fijos, implementación de dos módulos fotovoltaicos ...	180
Tabla 89: Depreciación, implementación de dos módulos fotovoltaicos	181
Tabla 90: Activos intangibles, implementación de dos módulos fotovoltaicos.....	182
Tabla 91: Amortización activos intangibles, implementación de dos módulos fotovoltaicos.....	182
Tabla 92: Gastos operacionales, implementación de dos módulos fotovoltaicos.....	183

Tabla 93: Inversiones, implementación de dos módulos fotovoltaicos	184
Tabla 94: Resumen de ingresos y gastos, implementación de dos módulos fotovoltaicos.....	185
Tabla 95: Estado de resultados, implementación de dos módulos fotovoltaicos.....	186
Tabla 96: Flujo de fondos, implementación de dos módulos fotovoltaicos.....	187
Tabla 97: Valor actual neto (VAN) para la implementación de un módulo solar fotovoltaico	188
Tabla 98: Tasa interna de retorno (TIR) de la implementación de un módulo fotovoltaico	188
Tabla 99: PAY BACK de la implementación de dos módulos fotovoltaicos.....	189
Tabla 100: Costo beneficio de la implementación de dos módulos fotovoltaicos....	190
Tabla 101: Factor de emisión estándar (CO ₂ g/kWh), de gas natural, carbón, diésel	192
Tabla 102: Consumo energético por actividad (kWh/año), de gas natural, carbón, diésel	193
Tabla 103: Poder calorífico (kcal/año), de gas natural, carbón, diésel	194
Tabla 104: Volumen de gas natural, carbón, diésel	196
Tabla 105: Ventajas y desventajas de las dos alternativas.....	197

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD DE POSGRADOS
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

TEMA: “Monitoreo de la carga y la radiación solar para el diseño de un sistema fotovoltaico en la casa N°10 del barrio María de la ciudad de Latacunga”

AUTOR: Salazar Achig Edgar Roberto

TUTOR: PhD. Gustavo Rodríguez Bárcenas

RESUMEN

El presente trabajo de investigación pretende determinar la magnitud del potencial solar en la casa N°10 del barrio María de la ciudad de Latacunga que proviene de la radiación directa y difusa. Los parámetros a considerar durante el diseño son la radiación solar en vatios por metro cuadrado (W/m^2), la potencia de carga en vatios por hora (W/h) y los Costos de construcción (\$): En etapas iniciales se recopilarán valores de radiación solar y la demanda de potencia de energía empleando equipos como el piranómetro APOGEE MP-200 y el analizador de carga FLUKE 1735; los datos obtenidos fueron comparados con los estándares mínimos de construcción para este tipo de sistemas. Se encontró que entre las 8:00 a 16:00 se supera el valor de $200 W/m^2$ mínimos necesarios para el diseño de un sistema fotovoltaico; observando los resultados adquiridos por el piranómetro se obtiene un valor de $584,113 W/m^2$ a medio día con lo cual el módulo fotovoltaico tendrá la máxima conversión de energía solar en energía eléctrica sobrepasando en un 192,05 % el mínimo requerido por el sistema a diseñar. Con la implementación de paneles fotovoltaicos se podrá suministrar en promedio hasta un 100% de la demanda de energía de la carga de la vivienda en las 8 horas aprovechables de radiación solar (08:00 am a 16:00 pm). Se propone dos alternativas la primera con un costo de implementación del sistema fotovoltaico de \$ 1.350,00 que cuenta de un panel solar monocristalino ZYTECH 230, un inversor y la estructura de soporte con un PAY BACK de 7 años 9 meses 22 días y una cobertura de la carga del 90% en las ocho horas de sol aprovechable del día, la segunda alternativa tiene con un costo de implementación de \$ 2.970,00; el sistema incluye dos paneles solares monocristalino ZYTECH 230P, un regulador de carga, un inversor, una batería y la estructura de soporte con un PAY BACK de 7 años 6 meses 19 días y una cobertura de la carga del 100% en las ocho horas de sol aprovechable del día adicional se cubrirá el 100% de la potencia para cuatro horas (16:00 a 20:00) por la acumulación en la batería, siendo la principal diferencia la reducción de contaminación de CO_2 al ambiente en la primera es de $0,16 tCO_2$ y la segunda de $0,32 tCO_2$, seleccionándose la segunda opción por su mayor reducción de CO_2 al ambiente con lo cual se dejara de quemar $7787,21 m^3$ al año de gas natural o $4024,8 kg$ al año de carbono o $3560,03$ litros al año de diésel por parte de la casa lo cual favorecerá a dejar la dependencia de combustibles fósiles ayudando a mitigar el cambio climático.

Descriptores: Radiación, solar, panel, fotovoltaico, energía renovable, carga.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD DE POSGRADOS
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

TEMA: “Monitoreo de la carga y la radiación solar para el diseño de un sistema fotovoltaico en la casa N°10 del barrio María de la ciudad de Latacunga”

AUTOR: Salazar Achig Edgar Roberto

TUTOR: PhD Gustavo Rodríguez Bárcenas

ABSTRACT

This research aims to determine the magnitude of the solar potential in the house No. 10 Maria neighborhood in the city of Latacunga comes from direct and diffuse radiation. The parameters to be considered during the design are solar radiation in watts per square meter (W / m^2), the load power in watts per hour (W / h) and construction costs (\$): In initial stages They collect solar radiation values and the power demand of energy using equipment like pyranometer APOGEE MP-200 and the load analyzer FLUKE 1735; the data will be compared with the minimum building standards for such systems. It was found that between 8:00 to 16:00 the value of $200 W / m^2$ is exceeded; observing the results is estimated that at noon the photovoltaic module will have the maximum conversion of solar energy into electrical energy on a 192.05% surpassing the minimum required by the system design. With the implementation of photovoltaic panels will be able to supply on average up to 100% of the energy demand of the load "average single-family home in the urban sector" within 8 hours of usable sunlight (08:00 am to 16: 00 pm), which will reduce the costs of billing by the utility and mean substantial savings for the family. Two alternatives were proposed first with an implementation cost of \$ 1,350.00 photovoltaic system which has a monocrystalline solar panel ZYTECH 230, an inverter and the support structure, the second alternative has a cost of \$ 2970 implementation, 00; The system includes two ZYTECH 230P monocrystalline solar panels, a charge controller, an inverter, a battery and the support structure, the main difference reducing pollution the environment in the first is $0,16 tCO_2$ and the second of $0,32 tCO_2$.

Keywords: Radiation, solar, panel, photovoltaic, renewable energy, load.

INTRODUCCIÓN

SITUACIÓN PROBLÉMICA

Las fuentes de energía utilizadas para satisfacer las necesidades energéticas actuales son a su vez, las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero.

Como posibles soluciones a este problema, el uso más eficiente de la energía y la incorporación de fuentes energéticas renovables ocupan una posición destacada (Blázquez y Martín-Moreno, 2009).

El consumo de energía procedente de combustibles fósiles es una de sus piedras angulares, lo que ha venido provocando por un lado, una creciente escasez de recursos y de otro un agravamiento de las externalidades negativas producidas por el actual modelo económico. El más claro ejemplo de estas externalidades es el fenómeno conocido como “cambio climático” (Martínez J., Almansa C. y Perno A., 2009).

El gobierno preocupado en estos fenómenos ha planteado nuevas políticas para el cambio de la matriz energética hacia el 2020, la generación fotovoltaica en Ecuador es sumamente escasa y los diferentes sistemas instalados se encuentran ubicados en poblaciones rurales distantes donde no es posible llevar energía eléctrica por medio de las redes de las diferentes empresas eléctricas de distribución.

El desafío por conseguir un crecimiento con equidad de la población, exige la incorporación de los sectores: rural y urbano al proceso de desarrollo del país. Para alcanzar este logro se requiere dotar a estas poblaciones, de servicios básicos que permitan impulsar sus capacidades socio-económicas. Constituyéndose entonces la energía eléctrica, como una de las herramientas que requiere la población para el desarrollo de sus actividades productivas y mejoramiento de su calidad de vida,

atendiendo sus necesidades de comunicación, alumbrado y principalmente para el desarrollo de sus actividades agropecuarias, artesanales, comerciales e industriales.

En cuanto a la electrificación rural, según el Censo de Población y Vivienda realizado el año 2010 por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC - Ecuador), el porcentaje total de viviendas con energía eléctrica alcanzó el 94,77%, en el área Urbana, mientras que en el área Rural se ubicó en el 89,03%, lo que indica que aún hay sectores que no dispone de fuentes de energía eléctrica para satisfacer sus necesidades básicas cocinar, calentarse, transporte y comunicaciones. (MEER, 2014).

El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable como ente de formulación de la política nacional del sector eléctrico, promueve la adecuada y exitosa gestión de proyectos de electrificación con energía renovable no convencional, para lo cual se encuentra trabajando con varios actores del sector eléctrico, Organizaciones No Gubernamentales, entre otros, a fin de definir una estrategia que permita la consolidación de proyectos de energía renovable en zonas cuentan con el servicio eléctrico, a través de la sostenibilidad de dichos proyectos.

En Ecuador la generación fotovoltaica es sumamente escasa y los diferentes sistemas instalados se encuentran ubicados en poblaciones rurales completamente alejadas donde no es posible llevar energía eléctrica por medio de las redes de las diferentes empresas eléctricas de distribución.

Según datos del CONELEC las solicitudes de proyectos de energías renovables mayores y menores a 1 MW de generación de sujetos a las disposiciones y prerrogativas de la regulación No. CONELEC 004/11 en el Ecuador, se detallan en la Tabla 1:

Tabla 1: Resumen de proyectos de generación de Energías Renovables (ERNC) sujetos a las disposiciones y prerrogativas de la regulación No. CONELEC 004/11

Tecnología	Mayores a 1MW		Menores a 1 MW		Total	
	Número de proyectos	Potencia (MW)	Número de proyectos	Potencia (MW)	Número de proyectos	Potencia (MW)
Fotovoltaicos	15	283	76	73,49	91	355,49
Hidroeléctricos	13	318,1	4	2,01	17	320,11
Biomasa	2	15,7	0	0	2	15,7
Eólica	0	0	2	1,98	2	1,98
Total	30	615,8	82	77,48	112	693,28

Fuente: CONELEC 004/11, 2011

Los proyectos fotovoltaicos menores a 1MW se detallan en la Figura 1:

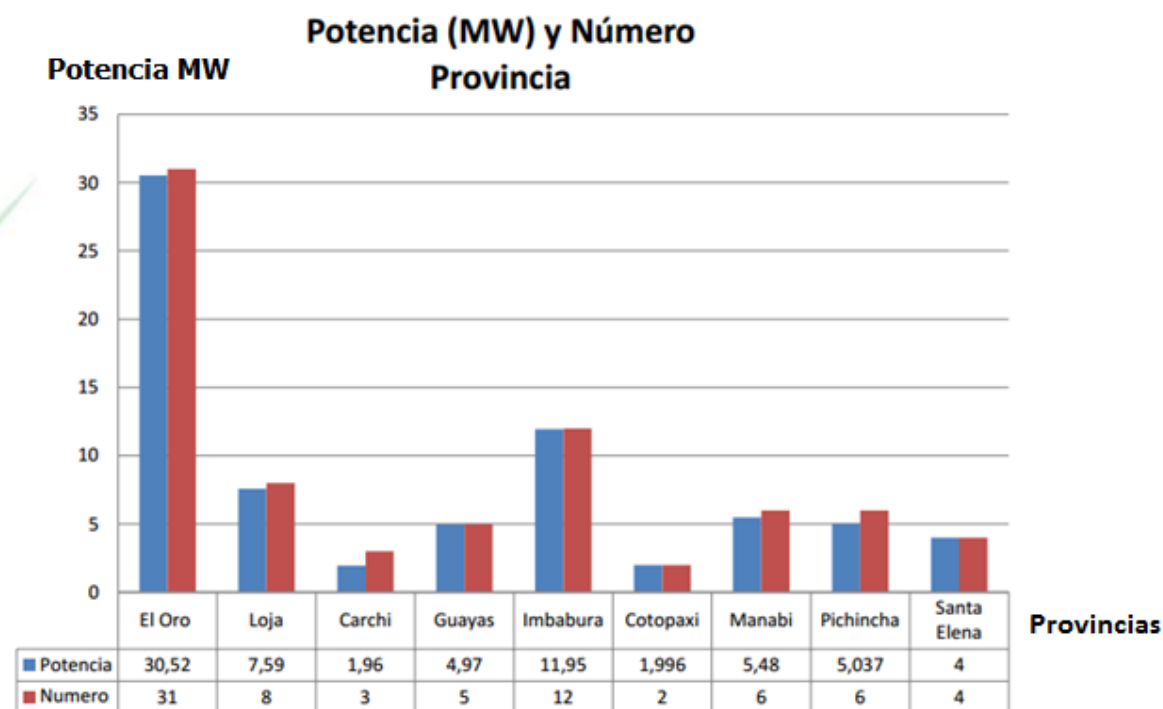


Figura 1: Proyectos fotovoltaicos menores a 1 MW

Fuente: CONELEC, 2011

La Figura 1 muestra que en el cantón Cotopaxi ubicado en la sierra central del Ecuador, dispone de 2 proyectos en ejecución de energías renovables pertenecientes a proyectos fotovoltaicos menores a 1MW, generando electricidad de 1,996 MW.

“La electricidad con este tipo de proyectos tiene un costo más alto y estaría valorada en aproximadamente 41 centavos el kilovatio por hora” (La Hora, 2013)

En Mulaló, parroquia rural del noroccidente de Latacunga, en la provincia de Cotopaxi, e inicia el apoyo a nuevos proyectos para transformar la matriz energética y productiva que promueve el Estado con la implementación de 4.683 paneles que beneficiarían 2.000 familias ecuatorianas aseguró Esteban Chávez, representante de la Empresa de Energía Planta Fotovoltaica S.A., quien recalcó que el proyecto generará un megavatio de energía solar, dicha planta, cuya construcción inició el 15 de febrero del 2012, contará con 23,5 kilómetros de cable especial inversor, sistemas de vigilancia y toda la infraestructura física, la energía que se produzca será integrada el 30 de junio del 2013, cuando se estima entre en funcionamiento la infraestructura a la red interconectada de la Empresa Eléctrica de la Provincia de Cotopaxi ELEPCO (Telégrafo, 2013)

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, se ha escogido la casa N°10 del barrio María de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi. La actividad económica de esta ciudad se caracteriza en la producción agropecuaria, aunque también se desarrolla actividades importantes como la industria y comercio, además se ha observado a través del atlas solar del Ecuador (CONELEC, 2008) que esta zona presenta un potencial solar importante que puede ser aprovechado para suministrar energía eléctrica de forma aislada o conectada a la red para satisfacer necesidades energéticas básicas, por ejemplo en iluminación.

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En la actualidad la electricidad se ha vuelto indispensable en las actividades diarias de las personas, es latente la preocupación por el agotamiento de los recursos no renovables como son los provenientes del petróleo. Como una solución a este problema está el uso más eficiente de la energía y la incorporación de fuentes energéticas renovables mismas que ocupan una posición destacada

El gobierno preocupado por estos efectos a través de sus ministerios está implementando nuevas políticas para el cambio de la Matriz Energética Nacional hacia el 2020 mediante estrategias, proyectos y acciones tendientes a desarrollar y aplicar planes de energía renovable y el uso eficiente de la misma en todo el país, como por ejemplo el Objetivo 11, literal 1.h “Cuantificar el potencial de recursos de energías renovables para generación eléctrica”, (Plan Nacional del Buen Vivir, 2013-2017); al evaluar la radiación solar existente, se podrá diseñar un sistema de generación fotovoltaico, para incorporar al sistema eléctrico actual de la casa.

La provincia de Cotopaxi presenta un importante potencial de energía solar (CONELEC, 2008), el cual puede ser aprovechado para su transformación mediante sistema fotovoltaico en energía eléctrica, según investigaciones previas en Mulaló, parroquia rural del noroccidente de Latacunga inicia el apoyo a nuevos proyectos para transformar la matriz energética implementando paneles solares los cuales se interconectara a la Empresa Eléctrica de la Provincia de Cotopaxi ELEPCO (Telégrafo, 2013), uno de los objetivos de la Universidad Técnica de Cotopaxi está encaminada a erradicar el deterioro del medio ambiente al cumplir con su función social y responder a las demandas de la comunidad acorde a las exigencias de la provincia de Cotopaxi y de la sociedad ecuatoriana en general (UTC, 2015), la ciudad de Latacunga cabecera cantonal y capital de la provincia de Cotopaxi, Latacunga tiene una poblacional de 170.489 habitantes que representan el 41.7% de la población respecto de la provincia, tiene 42.387 viviendas que representan el 41,63% del total

de la provincia de las cuales el 74,7% son viviendas propias unifamiliares y el 77,4% de estas aún utilizan gas para cocinar (INEC, 2010, Censo Cotopaxi población y vivienda), por estas razones se ha seleccionado la casa N°10 del Barrio María de la ciudad de Latacunga que es una es una vivienda de tipo unifamiliar y aun utiliza gas para cocinar los alimentos.

El estudio de las energías renovables se viene realizando e implementando en varios países, se requiere para ello los recursos económicos considerables, pero se debe tomar en cuenta que a mediano y largo plazo es una inversión que representara un ahorro promedio del 50% en las planillas que paga mensualmente la familia de la casa N°10 del Barrio María de la ciudad de Latacunga, contribuyendo a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero (0,32 tCO₂año).

La energía renovable en el Ecuador tiene distintas barreras y tal vez la más grande es su alta inversión que ha impedido la investigación, el desarrollo y su implementación, a pesar de ser una tecnología poco conocida en el país, a nivel mundial ha tenido un gran crecimiento debido a esto se puede tener en cuenta a la energía renovable como una de las mejores opciones a ser aplicadas y que puede jugar un papel preponderante en la mejora del suministro energético en el país.

OBJETO Y PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

Objeto de estudio: Energía solar fotovoltaica.

Formulación del problema de Investigación

¿Cuáles son los rangos de variación de la radiación solar que permita el diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en la casa N°10 del barrio María de la ciudad de Latacunga?

CAMPO DE ACCIÓN Y OBJETIVO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

Campo de Acción

Generación de energía eléctrica por medio de sistema fotovoltaico.

Objetivo general:

Monitorear la radiación solar y la demanda de potencia, que permita el diseño de un sistema fotovoltaico utilizando las normas nacionales e internacionales para la generación de energía eléctrica en la casa N°10 del barrio María de la ciudad de Latacunga.

HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica permitirá reducir gastos en la facturación de la planilla eléctrica mensual en la casa N°10 del barrio María de la ciudad de Latacunga.

En la Tabla 2 se muestran los objetivos específicos, indicadores técnicas y resultados.

Sistema de objetivos específicos

Tabla 2: Objetivos, indicadores, técnicas y resultados

Objetivos específicos	Resultado	Técnicas e instrumentos	Indicador
1.- Describir el estado del arte que contribuya a fundamentar los principios que rigen el desarrollo del presente estudio.	Marco teórico	Guía bibliográfica documental	% bibliografía
2.- Evaluar el potencial de radiación solar y carga para el diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en la casa N°10 del Barrio María.	Potencial de radiación solar de la zona Cantidad de potencia eléctrica requerida por la vivienda	Piranómetro APOGEE MP200 Analizador de redes FLUKE 1735	W/m ² Wh
3.- Proponer un sistema fotovoltaico sincronizado a la red de la empresa eléctrica ELEPCO.SA, como fuente alternativa de energía para la casa N°10 del barrio María de la ciudad de Latacunga.	Parámetros de diseño	Determinación de la energía (Radiación solar y cargas)	W/m ² y W/h
4.- Realizar una evaluación técnica, económica y ambiental de la propuesta de sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en la casa N°10 del barrio María de la ciudad de Latacunga.	Prefactibilidad	Ecuaciones	Costos (\$)

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Sistemas de tareas

- Recopilar información en fuentes bibliográficas sobre diseño de sistemas fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica.
- Analizar teóricamente la relación existente entre el potencial solar y el sistema fotovoltaico en la zona de estudio.
- Determinar el potencial de la radiación solar disponible en la casa.
- Evaluar la demanda de energía eléctrica del hogar.
- Determinar los parámetros para el diseño del sistema fotovoltaico para satisfacer las necesidades de energía eléctrica en la vivienda.
- Realizar la validación del diseño de la estructura mediante simulación.
- Determinar la rentabilidad del sistema diseñado.
- Visualizar con claridad los costes asociados a la producción de energía eléctrica de origen solar fotovoltaico.
- Evaluar el impacto ambiental de la incorporación del sistema fotovoltaico en la vivienda.

Técnicas y procedimientos

- **La medición.**- Se tomaran medidas de la radiación solar durante el día, el instrumento es un piranómetro APOGEE MP200 Solar Meter; la calibración del instrumento está dada por la National Renewable Energy (NREL) y basado en la radiométrica Mundial de Referencia (WRR) en Davos, Suiza; tiene una precisión de $\pm 5\%$ y una repetitividad de medición $< 1\%$; es un equipo utilizado para el levantamiento de información el cual almacena datos cada 30 minutos cada dato almacenado se basa en un promedio de muestras que el equipo toma cada 30 segundos, este equipo tiene la capacidad de almacenar un total de 99 datos, este equipo brinda la facilidad de transferir los datos a la PC y de esta manera proceder a realizar el análisis.

- El analizador de redes empleado para el análisis del comportamiento de la carga es el FLUKE 1735 calibrado bajo la norma IEC 61010-1, 600 V CATIII, mismo que permite obtener datos de potencia activa (P), reactiva (Q), aparente (S), voltaje (V), corriente (I), frecuencia (f) y factor de potencia (FP) de la red perteneciente a el hogar en donde se realizó el análisis, este equipo brinda la facilidad de transferir los datos a la PC y de esta manera proceder a realizar el análisis de los datos.
- **El modelado.**- Se modelará la estructura del sistema fotovoltaico en el software SolidWork 2015.
- **La simulación.**- Mediante el uso de software SolidWorks 2015, se pondrá a prueba el diseño de la estructura y la selección del material del sistema fotovoltaico, teniendo como indicadores los parámetros la tensión de von Mises, el desplazamiento estático y el factor de seguridad.
- **La observación.**- Análisis de documentos para fundamentar científica, técnica y tecnológicamente el diseño del sistema de generación fotovoltaico conectado a la red eléctrica.

VISIÓN EPISTEMOLÓGICA DE LA INVESTIGACIÓN

Paradigma o enfoque epistemológico

El trabajo pretende realizar la medición de la radiación solar, utilizar los promedios que cada 30 minutos el piranómetro APOGGE que se demora en tomar y el tiempo que se puede alcanzar el máximo aprovechamiento de la energía solar para su transformación en energía eléctrica.

Para ello se utiliza el enfoque Empirista-Inductivo, que consta de:

Método de hallazgo: Inductivo.- Se trata del análisis, donde al medir cada media hora la radiación solar por parte del piranómetro, permite establecer los parámetros de diseño de un sistema fotovoltaico.

Método de contrastación: Experimental.- Pues para determinar los parámetros de diseño del sistema fotovoltaico, se debe experimentar por un periodo de tres meses.

Una vez determinado el potencial solar de la zona, es decir la radiación solar, se procede a diseñar un sistema fotovoltaico, que permita satisfacer en parte las necesidades de energía eléctrica de la vivienda, al tratarse de diseño en este caso el enfoque que se utiliza es el Racionalista-deductivo el cual consta de:

Método de hallazgo: Deductivo.- Debido a que se procede de la necesidad de cubrir la demanda de 2907,64 vatios por hora (Wh) promedio consumidos diarios por la vivienda se procede a obtener los parámetros de radiación solar en las horas de captación máxima de 08:00 am a 16:00 pm que permitirán proponer el diseño del sistema fotovoltaico que cumpla con los objetivos.

Método de contrastación: Experimental.- Pues para determinar el correcto diseño del sistema fotovoltaico, se debe medir por al menos un periodo de tres meses la radiación solar, en este caso al tratarse de un diseño los experimentos se realizaran con la ayuda de simuladores.

Alcance de la investigación

Para esta investigación se han definido los siguientes puntos tendientes a definir el alcance del mismo:

- El análisis del potencial de radiación solar disponible en el sector.
- Para la evaluación de las alternativas de suministro eléctrico de la vivienda, se establecerá la demanda energética de la misma.
- La solución propuesta incorpora la generación eléctrica con que actualmente cuenta la ciudad y la alternativa de generación eléctrica fotovoltaica por medio de estas se cubrirá la demanda de la carga de la vivienda.

Para desarrollar la investigación se analizan los elementos tanto mecánicos como eléctricos debido a que estos al no trabajar en su punto de máxima eficiencia, pueden afectar en el rendimiento del sistema fotovoltaico aumentando el consumo de recursos: mano de obra, tiempo, entre otros.

Se pretende realizar el estudio para encontrar el potencial de energía solar (W/m^2), óptimo que permita obtener la mayor acumulación de la misma para su transformación en energía eléctrica.

DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

El presente trabajo tiene como propósito monitorear la radiación solar y la demanda de potencia y energía en la casa N°10 del barrio María de la ciudad de Latacunga, determinar mediante mediciones, cuales son los parámetros que permitirán el diseño eficiente de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica.

Inicialmente en la investigación, se analiza el problema de investigación, se realiza la contextualización a niveles macro, meso y micro; se determina el objeto y campo de la investigación, la justificación y se enuncian los objetivos.

En el Capítulo 1, se caracteriza el objeto de la investigación en su contexto total, se presenta el marco teórico sobre los principales aspectos como radiación solar, descripción de sistemas fotovoltaicos, tecnología fotovoltaica. Los antecedentes investigativos señalando sus principales conclusiones las cuales ayudan a mejorar el trabajo de investigación.

En el Capítulo 2, se presenta la metodología para realizar la investigación, la caracterización del sistema a analizar, se realizan los experimentos, se determina que parámetros se medirán, los indicadores relevantes, las técnicas usadas, los instrumentos utilizados, el procedimiento para ejecutar y validar el proyecto de investigación.

En el Capítulo 3, se presentan los resultados y el análisis de los datos obtenidos por los instrumentos aplicados a través de tablas y gráficos estadísticos generados a partir de la información recolectada y tabulada.

En el Capítulo 4, se presenta la propuesta, se propone dos alternativas de sistemas fotovoltaicos para satisfacer la demanda de energía eléctrica de la vivienda se tendrá en cuenta para los diseños la máxima eficiencia, en base a los resultados obtenidos en el trabajo de investigación desarrollado.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

1. Marco contextual y teórico

En el presente capítulo se detalla y describe el objeto de investigación, se describe el marco teórico, antecedentes investigativos en los que se exponen opiniones y criterios de la problemática planteada en esta investigación; así como también la conceptualización y las fundamentaciones respectivas en las que se especifican las bases teóricas particulares correspondientes.

1.1. Caracterización detallada del objeto de investigación

Las energías renovables aparecen como las principales fuentes de energía que se desarrollan en el marco de la evolución económica, tecnológica y social de siglo XXI, las razones esenciales se encuentran en la desaparición y por consecuencia encarecimiento progresivo de los combustibles de tipo fósil – nuclear y la constatada incapacidad de las tecnologías para encontrar soluciones a los graves problemas de contaminación que originan, la energía solar fotovoltaica al igual que otras energías renovables constituye, frente a los combustibles fósiles una fuente inagotable, contribuye al autoabastecimiento energético nacional y es menos perjudicial para el medio ambiente, pues evita los efectos de su uso directo (contaminación atmosférica, residuos, etc.) y los derivados de su generación (excavaciones, minas, canteras, etc.)

La energía primaria depositada por el sol sobre el suelo en una zona de buena insolación equivale a una lluvia de 20 cm de petróleo por m^2 cada año; 1,2 barriles/ (año x m^2), integrada está sobre la superficie terrestre supone unas 8.000 veces el equivalente de toda la energía primaria consumida en el mundo. Con un rendimiento (conservador) de transformación de radiación en electricidad del 10%, bastaría con un porcentaje de las superficies desérticas (7% del total) para generar toda esa energía, la

energía solar es dispersa pero abundante. (Carta J., Calero R., Colmenar A., Castro M., Collado E., 2013, p. 260)

A finales de 2008 la Unión Europea (UE 27) llega al acuerdo de que los países miembros han de aportar en 2020, el 20% de la energía primaria en forma de energía renovable , cuando en 2008 representaba el 8,7%, los 27 países tendrán una meta global del (20%), pero fija objetivos diferenciados, así Suecia deberá alcanzar el 49% y Austria el 35%, mientras que España se fija un 20%, lo que supone un incremento del 230% respecto a lo que aportaba en el 2008, teniendo como líder en instalación de energía solar fotovoltaica Alemania, con una potencia instalada a principios de 2014 superior a los 35 gigavatios (GW), que satisface el 3% del consumo del país. (IDAE, 2011-2020)

1.1.1 Descripción del objeto

El sistema de energía solar fotovoltaica cuenta de un generador fotovoltaico que transformara la energía solar en energía eléctrica por medio de paneles también llamados captadores solares o módulos fotovoltaicos que están compuestas por un número variable de células solares entre 31 a 36 conectadas eléctricamente en serie estas dependerán del voltaje de salida, un regulador de tensión para registrar los procesos de carga y de descarga de las placas solares que pueden ser tipo shunt o serie, un inversor para convertir la corriente continua (DC) a corriente alterna (AC), un sistema de alarma que consta de desconectores e interruptores de horario, aparatos de medida (voltímetro, amperímetro, vatímetro), el sistema de protección eléctrica, interruptores, mecanismos de mando, como norma general es importante centralizar todos estos equipos en casetas o armarios donde los diversos circuitos eléctricos se pueden agrupar en un cuadro eléctrico y una estructura anclada al suelo para atenuar al máximo la fuerza y velocidad del viento permitiendo una mejor integración a la comunidad y la protección contra robos.

1.1.2 Delimitación espacio-temporal

El Ecuador está dividido en 4 regiones Insular o Galápagos, Sierra o Interandina, Costa o Litoral, Oriente o Amazonia, en la zona 3 perteneciente a la región Sierra se encuentra la ciudad de Latacunga capital de Cotopaxi (Ver Figura 2).



Figura 2: Ecuador, Zona 3
Fuente: Cruz Roja, 2012

El monitoreo de la radiación solar se realizará en la casa N°10 del barrio María con coordenadas geográficas, latitud -0.921926 y longitud -78.623265 del cantón Latacunga (Ver Figura 3); esta ciudad tiene una temperatura media anual de " 12°C " (Portal de turismo, Latacunga, 2015), con "633.6 mm de precipitación anual" (INAMHI, 2011). La localización específica puede observarse en la Figura 3.

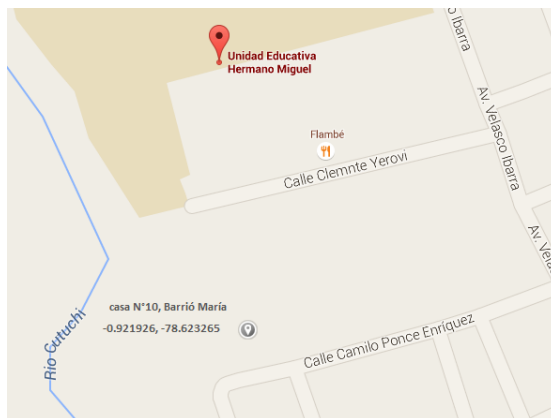


Figura 3: Ubicación de la casa N°10, Barrio María, Latacunga
Fuente: Google Maps, 2014

La recolección de los datos se basará en la norma ecuatoriana NEC-11 apartado 14.2.5. Elementos de medición y registro de parámetros de sistemas fotovoltaicos (SFV), para sistemas conectados a la red indica que el registrador de datos de irradiación solar (KW/m^2), se lo puede hacer con un piranómetro y este debe registrar al menos 3 meses de radiación solar en consecuencia a esto se realizará entre las mediciones entre los meses de Mayo a Julio del 2015, tomando en cuenta que en estos meses son los de menor irradiación solar diario medidos en kilovatios por metro cuadrado día ($kW/m^2/día$), siendo el mes de Julio el menor valor de irradiación de todo el año con $4.026 kW/m^2/día$ (CONELEC, atlas solar del Ecuador, 2008) con lo cual se obtendrá los parámetros mínimos de diseño del sistema; para la carga según Cuervo R., Veritas B., Méndez J. (2013, p.192) cada diseñador puede incluir tantos datos como considere oportunos para el estudio de la instalación propuesta, por lo que pueden encontrarse tablas ya sea diarias, semanal o mensual además que según la Guía técnica de aplicación para instalaciones de energías renovables (2014) el consumo eléctrico queda determinado por la potencia eléctrica consumida en las horas de funcionamiento que va estar sometido el sistema fotovoltaico (p.40) con lo cual se tomarán los datos por medio de una analizador de redes de una semana dentro del tiempo de estudio, en la Figura 4a y Figura 4b se muestra el lugar de la casa N°10 del Barrio María de la ciudad de Latacunga donde se tomaron los datos para el estudio.



Figura 4: Lugar de la casa N°10, Barrió María, toma de datos del piranómetro vista
a) frontal a la casa b) vista posterior a la casa
Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

1.2 El Marco Teórico

1.2.1 Argumentación acerca de la necesidad de investigación.

Legal

En Ecuador el gobierno preocupado por el agotamiento de recursos no renovables como son los provenientes del petróleo siendo estos los principales causantes del efecto invernadero, a través de sus ministerios está implementando nuevas políticas para el cambio de la Matriz Energética Nacional hacia el 2020 mediante estrategias, proyectos y acciones tendientes a desarrollar y aplicar planes de energía renovable y el uso eficiente de la misma en todo el país, como por ejemplo el Objetivo 11, literal 1.h “Cuantificar el potencial de recursos de energías renovables para generación eléctrica” (Plan Nacional del Buen Vivir, 2013-2017)

El Artículo 474 del Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización establece, Aprobado un proyecto de urbanización conforme al plan de ordenamiento territorial, los propietarios de lotes de terreno comprendidos en el mismo, podrán formular proyectos de edificaciones en estos (Proyecto de ordenanza catón Latacunga, 2015).

Que, el artículo 54 del Reglamento de Concesiones, Permisos y Licencias para la prestación del Servicio de Energía Eléctrica establece que los proyectos que se instalen en el futuro y las centrales que se encuentren en operación, cuya capacidad sea inferior a 1 MW, no requerirán de un permiso (CONELEC – 009/08, 2008).

El propietario de la vivienda se compromete en carta de aceptación indica su disponibilidad para dar las facilidades al investigador de la toma de datos que el creyere conveniente para el diseño del sistema fotovoltaico en la vivienda N°10 del barrio María de la ciudad de Latacunga (Ver anexo Q)

Medioambiental

En la constitución menciona en su Art. 15.- “El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto, la soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua” (Constitución de la república, 2008)

Social

Se menciona en el objetivo 11 literal 1.j. “Generar alternativas, fortalecer la planificación e implementar regulación al uso energético en el transporte, los hogares y las industrias, para modificar los patrones de consumo energético, con criterios de eficiencia y sustentabilidad” (Plan Nacional del Buen Vivir, 2013-2017)

Económico

La Ley de Regulación del Sector Eléctrico (LRSE) establece en su artículo 63 que el Estado impulsará el desarrollo y uso de los recursos energéticos no convencionales a través de los organismos públicos, la banca de desarrollo, las universidades y las instituciones privadas; “Que, es de fundamental importancia la aplicación de mecanismos que promuevan y garanticen el desarrollo sustentable de las tecnologías renovables no convencionales, considerando que los mayores costos iniciales de inversión, se compensan con los bajos costos variables de producción, lo cual a mediano plazo, incidirá en una reducción de los costos de generación y el consiguiente beneficio a los usuarios finales” (CONELEC – 004/11, 2011), en la Tabla 3 se detallan los precios preferentes de energía renovable.

Tabla 3: Precios Preferentes Energía Renovables en (cUSD/kWh)

CENTRALES	Territorio	Territorio Insular de
	Continental	Galápagos
EÓLICAS	9.13	10.04
FOTOVOLTAICAS	40.03	44.03
SOLAR TERMOELÉCTRICA	31.02	34.12
CORRIENTES MARINAS	44.77	49.25
BIOMASA Y BIOGÁS < 5 MW	11.05	12.16
BIOMASA y BIOGÁS > 5 MW	9.60	10.56
GEOTÉRMICAS	13.21	14.53

Fuente: CONELEC – 004/11, 2011

Los gastos operacionales del proyecto se detallan en la p. 183.

Técnico

La Norma NEC-11 capítulo 14 Energías Renovables en su parte 14-2. Sistemas de generación con energía solar fotovoltaica para sistemas aislados y conexión a red de hasta 100 Kilovatios (kW) en el Ecuador.

La casa N°10 del barrio María está ubicada en el sector urbano de la ciudad de Latacunga es una vivienda propia que según datos del Fascículo Nacional resultado de censos del INEC (2010) su clasificación está dentro del 46,9% del tipo de viviendas propias en el Ecuador y en el 41,63% de viviendas propias unifamiliares de Latacunga también se encuentra en el 72,7% de tipo de vivienda casa particular urbana a nivel país y a nivel local el 74,7%, está habitada por cuatro (4) personas “Se observa una reducción del tamaño de los hogares en el tiempo, es decir, el promedio de personas por hogar, en el área urbana, desciende de 5,4 a 3,8 personas por hogar entre 1975 y el 2011-2012, información consistente con la disminución del ritmo de crecimiento de la población” INEC (2010), lo cual representa el tamaño promedio de

hogar en el país, además esta utiliza gas para la preparación de los alimentos, según datos del (INEC, 2010) “el 77,4% de las viviendas en Latacunga aún utilizan gas para cocinar”

ASPECTOS TÉCNICOS PRELIMINARES NEC-11

Objeto de la norma NEC-11

Establecer las especificaciones y características técnicas que deben tener los sistemas fotovoltaicos (SFV) que se emplean en la generación de energía de origen fotovoltaico en el Ecuador y los servicios que deben proporcionar las empresas proveedoras para garantizar la confiabilidad, seguridad y durabilidad de los componentes del sistema a instalar, según sus fichas técnicas.

Alcance de la norma NEC-11

Esta norma cubre los sistemas fotovoltaicos aislados de la red de cualquier potencia, según su aplicación, cubre también los sistemas fotovoltaicos conectados a la red de hasta 100 kW de potencia nominal, definida como potencia del inversor.

Propósito de la norma NEC-11

La presente Norma ha sido elaborada para promover y estandarizar la fabricación instalación y utilización de SFV, como fuente alterna y renovable de energía primaria en generación de electricidad, que permita disminuir el consumo de combustibles fósiles y las emisiones inherentes, esta norma constituye una guía para la formulación, diseño, ejecución y tareas relativas al funcionamiento y sostenibilidad de los sistemas fotovoltaicos (SFV).

1.2.2. Antecedentes de estudio

El presente trabajo consiste en buscar una alternativa de producción de energía eléctrica basada en tecnologías no convencionales, los antecedentes que servirán de ayuda son los siguientes:

Domínguez, H. (2012) Diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el COBAEV 35 XALAPA. Previo a la obtención del título de Máster en Ingeniería Energética de la Universidad Veracruzana de México.

El autor llega en su investigación a las siguientes conclusiones:

En el aspecto educativo el diseño del sistema fotovoltaico interconectado a la red promoverá una nueva cultura de eficiencia y ahorro energético a través del uso de fuentes renovables que contribuyan a mejorar las condiciones de los estudiantes no solo de la región de Xalapa (Ciudad mexicana, cabecera del municipio del mismo nombre y capital del estado de Veracruz), sino que posteriormente se puede hacer extensivo a todo el estado en los 59 planteles distribuidos en las ocho coordinaciones de zona tal y como lo establece la reforma energética en la que se menciona que es de utilidad pública el uso de las tecnologías limpias y además promoverá la eficiencia y sustentabilidad energética. El diseño este sistema con nuevas tecnología en los edificios seguirá el mismo patrón de instalación ya que los edificios del colegio de bachilleres del estado de Veracruz (COBAEV) fueron construidos bajo un mismo esquema arquitectónico, solo varía por los lugares de la instalación. Es decir solo se recalculara de acuerdo a las latitudes y a las variaciones de lugar, solo que esto, no resultará complicado ya que los cálculos se hicieron en una hoja en Excel.

Otro factor importante en este rubro energético es que los recursos que se utilizaban anteriormente para pago del consumo eléctrico serán destinados para promover actividades recreativas de los estudiantes y que contribuyan a una mejor formación.

Eras, A. (2012) Estudio Energético del Sistema Eléctrico en Ecuador. Impulso a la Energía Solar Fotovoltaica. Previo a la obtención del título de Máster en Energías Renovables y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Madrid de España.

La autora llega en su investigación a las siguientes conclusiones:

El Sector Eléctrico ecuatoriano es un sistema de gestión pública y por el análisis realizado en este trabajo para fomentar el desarrollo de las energías renovables en él y beneficiar al desarrollo energético nacional, en la matriz de generación eléctrica potencia efectiva para el servicio público, la otra renovable, lo que indica que aún hay un porcentaje elevado de energía térmica por desplazar con el fin de reducir las emisiones de CO_2

El sector residencial es el mayor demandante de energía eléctrica y todavía en Ecuador existe un 5,23% de la población que carece de este servicio que se tiene un problema para que la distribución de energía llegue a mayores sectores del País. De otro, que se debe son suficientes para satisfacer la demanda.

El monto de gasto, sólo en Estado la generación de electricidad en el 2009 fue de 530.264.885,8872 USD forma, una vez que entren en funcionamiento los diferentes proyectos de generación, el CONELEC podría plantear un análisis para disminución de la tarifa en los diferentes sectores, considerando los valores de inversión y sus beneficios económicos; como por ejemplo, en el caso del sector residencial, el valor asignado de facturación de energía fue de aproximadamente 9,22 cUSD/kWh en el año 2011. O bien esa reducción de costos de compra de las importaciones de fuel oil se podría destinar a pagos en primas de energía fotovoltaica u otras inversiones limpias.

En la Figura 5 se muestra la red de categorías fundamentales del presente estudio.

1.2.3. Fundamentación teórica

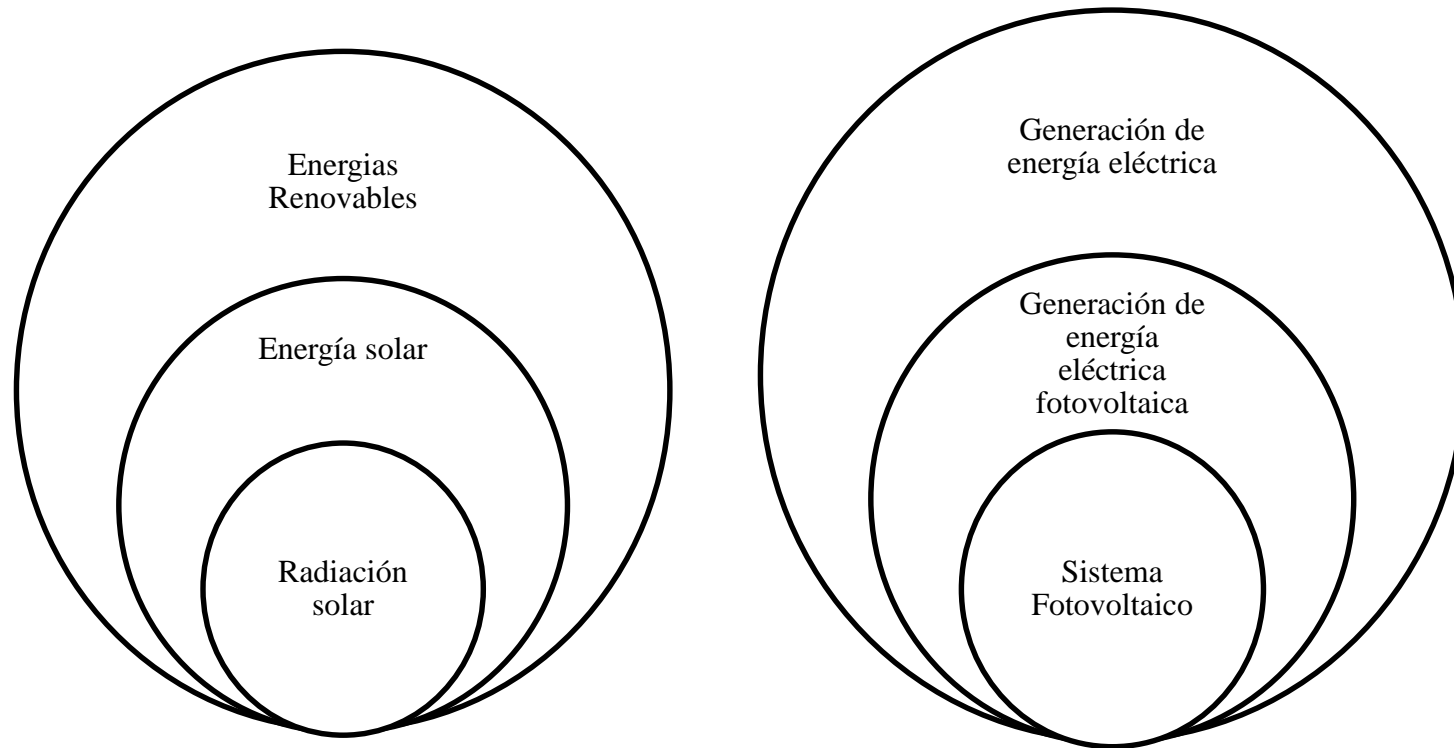


Figura 5: Red de categorías fundamentales
Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Energías Renovables

Son aquellas que están presentes de forma potencial en la naturaleza y que poseen posibilidades de utilización casi ilimitadas, engloba una serie de fuentes de energía que en teoría no se agotan con el paso del tiempo; suponen una alternativa a las llamadas fuentes convencionales (no renovables) y producen un impacto ambiental mínimo las principales se las puede observar en la Figura 6.

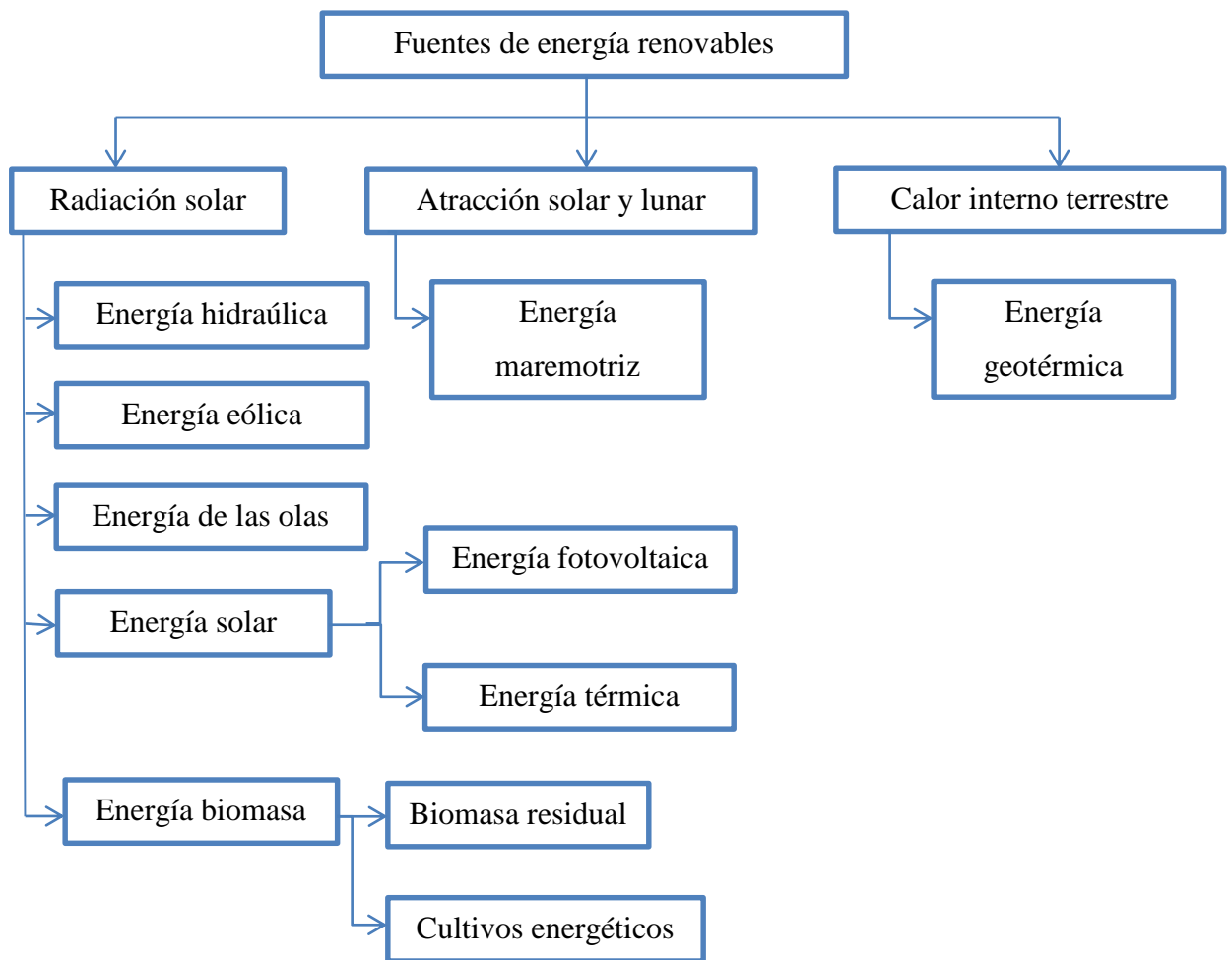


Figura 6: Principales fuentes de energías renovables

Fuente: Casa et al., 2012, p. 165

Energía solar fotovoltaica

La energía eléctrica puede generarse directamente a partir de la energía solar, convertir la luz en electricidad utilizando paneles fotovoltaicos, tiene sus bases en las propiedades de algunos sólidos conocidos como semiconductores, que al exponerse a la radiación solar generan una carga eléctrica. (Meléndez S., 2011, p.118)

Esta energía es a nivel mundial la más difundida para electrificación en zonas remotas donde la red pública no ha llegado. La energía solar fotovoltaica en un enfoque económico, es la más viable para la generación de electricidad en zonas remotas como las que existen en Perú y Ecuador. (RENOVAENERGIA S.A., 2015)

Radiación solar

El sol genera radiaciones muy intensas debido a procesos nucleares de fusión como las que se producen en las bombas de hidrógeno, que ocurren a 150 millones de kilómetros lo cual evita a los seres humanos recibir residuos radiactivos, una buena parte de la radiación solar es constituida por fotones y se la denomina radiación electromagnética, tomando en cuenta la capacidad de recibir de los ojos esta se manifiesta en forma visible se denomina luz, pero también hay una parte invisible como los rayos ultravioletas (UV), y los infrarrojos (IR), los primeros son particularmente agresivos con el cuerpo y los segundos se manifiestan en forma de calor. (Meléndez S., 2011, p.117)

Tipos de Radiación Solar Incidentes en la superficie terrestre

La radiación que incide en el planeta ingresa a la superficie terrestre, la radiación que pasa la atmósfera puede ser reflejada una parte por las nubes, otra parte es absorbida por el suelo y otra llega directamente (Ver Figura 7).

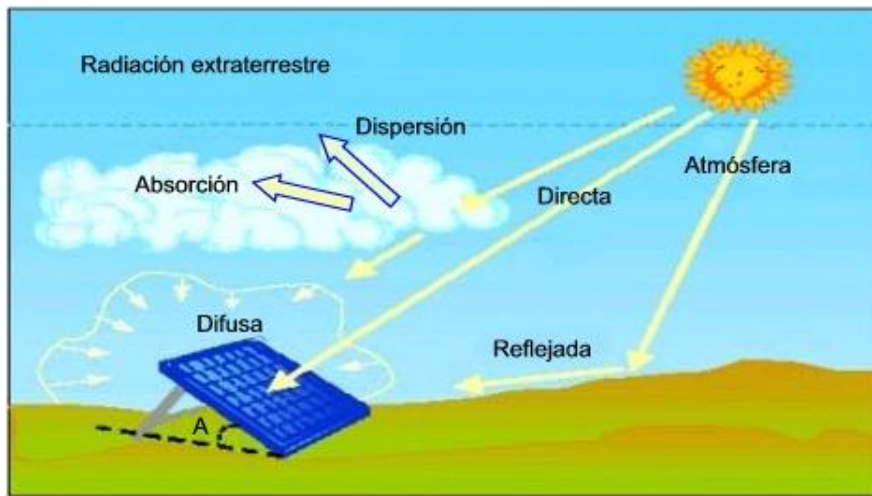


Figura 7: Tipos de radiación en la superficie terrestre
Fuente: EcoPotencia, 2010

De esta figura se puede decir que la radiación puede llegar a nuestro planeta de dos formas distintas, radiación directa, difusa.

La radiación directa es aquella que llega directamente del sol, la radiación difusa es aquella cuya dirección ha sido modificada por diversas circunstancias (densidad atmosférica, partículas u objetos con los que chocar, reemisiones de cuerpos, etc.). Por sus características esta luz se considera venida de todas direcciones.

El término de radiación solar se utiliza de manera general sin hacer distinción entre la Irradiancia y la Irradiación.

La suma de ambas es la irradiación total incidente, la superficie del planeta está expuesta a la radiación proveniente del Sol; la tasa de irradiación depende en cada instante del ángulo que forman la normal a la superficie en el punto considerado y la dirección de incidencia de los rayos solares.

Por supuesto, dada la lejanía del Sol respecto de nuestro planeta, se puede suponer, con muy buena aproximación que los rayos del Sol inciden esencialmente paralelos sobre el planeta. No obstante, en cada punto del mismo, localmente considerado, la inclinación de la superficie respecto a dichos rayos depende de la latitud y de la hora del día para una cierta localización en longitud.

Dicha inclinación puede definirse a través del ángulo solar (Ver Figura 8) que forman el vector normal a la superficie en dicho punto y el vector paralelo a la dirección de incidencia de la radiación solar. (Meléndez S., 2011, p. 118)

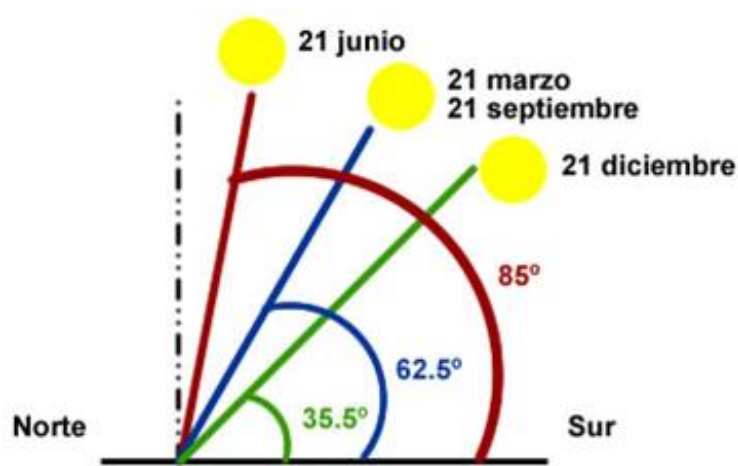


Figura 8: Ángulos solares
Fuente: EcoPotencia, 2010

Espectro de la radiación solar

El espectro solar no es el mismo en todas partes de la Tierra y ni si quiera es el mismo en un punto determinado debido a que cambia con las horas del día como se muestra en la Figura 9. (Carta J., Calero R., Colmenar A., Castro M., Collado E., 2013, p. 257)

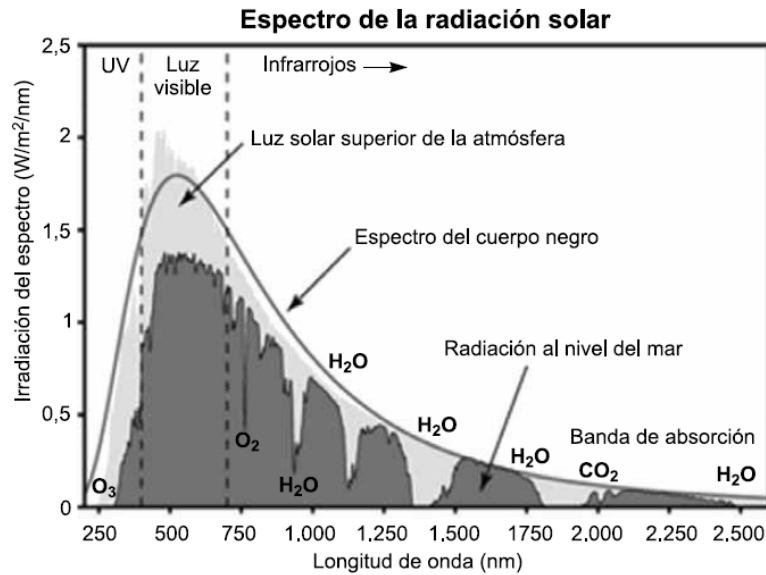


Figura 9: Espectro de la radiación solar

Fuente: Carta J., Calero R., Colmenar A., Castro M., Collado E., 2013, p. 258

La radiación emitida por el Sol en todas las direcciones es en parte, interceptada por la Tierra, de forma que puede definirse una magnitud llamada constante solar, G_{sc} , como la energía por unidad de tiempo y unidad de superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación, para la distancia media entre el Sol y la Tierra. El valor de la constante solar puede estimarse suponiendo el Sol como un cuerpo negro a una temperatura de 5.762 K; se obtiene así un valor de la constante solar de 1.359 W/m^2 . La determinación experimental mediante el uso de satélites permite aceptar un valor de 1.353 W/m^2 .

A causa de las pérdidas intrínsecas debidas a la propia naturaleza física del efecto de conversión fotovoltaica que tiene lugar en la célula solar, principalmente, y también por las diferentes pérdidas propias de las características constructivas y geométricas del módulo fotovoltaico, aproximadamente el 85% de la energía solar incidente sobre éste se pierde irremisiblemente en forma de calor, porcentaje que puede elevarse hasta el 90% o más en el caso de los módulos de silicio no cristalino o amorfo, de menor eficiencia.

Radiación de un cuerpo Negro

“La radiación de cuerpo negro o radiación de cavidad (Ver Figura 10) se refiere a un objeto que absorbe toda la radiación incidente sobre él y re-irradia energía que es característica solamente de este sistema radiante, no dependiendo del tipo de radiación que incide sobre ella” (HyperPhysics, Georgia State University, 2000)

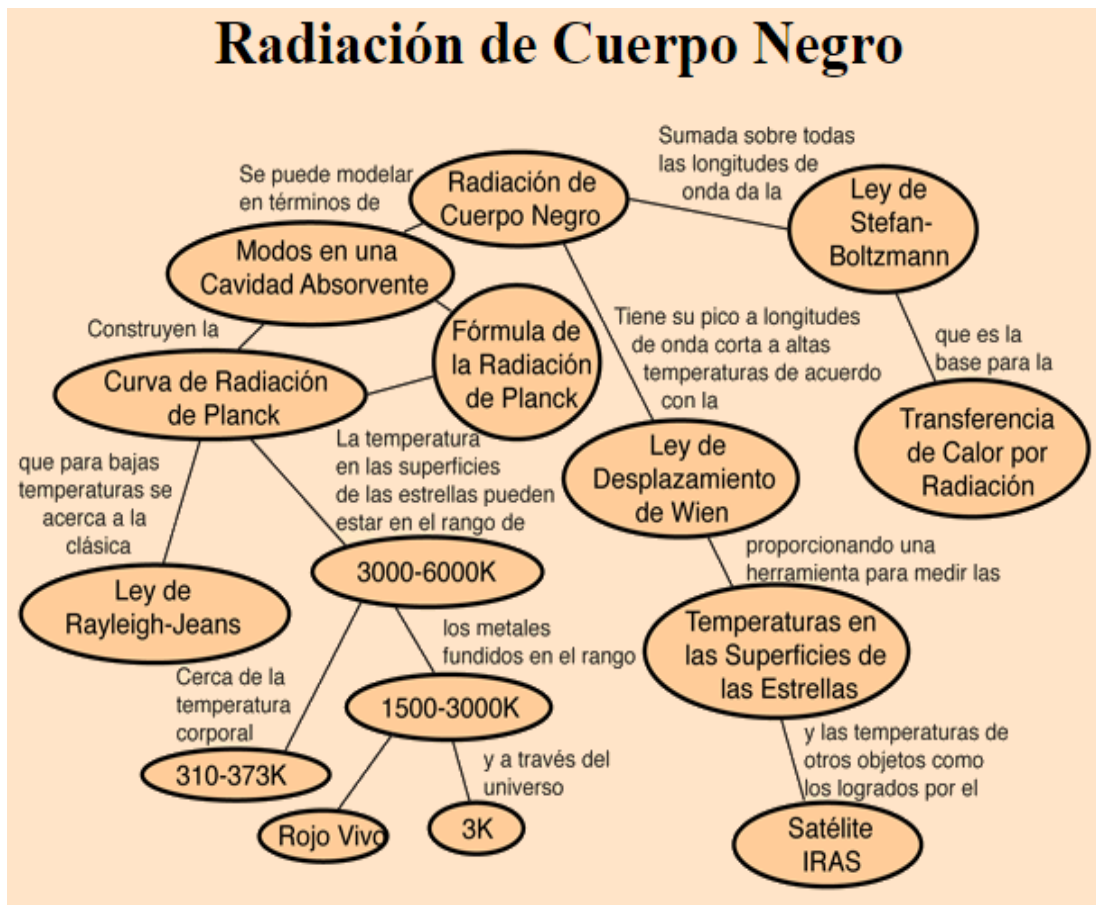


Figura 10: Radiación de un cuerpo negro
Fuente: HyperPhysics, Georgia State University, 2000

Así pues, actualmente y con carácter general puede afirmarse que en el mejor de los casos, únicamente el 15% de la energía solar será transformada en energía eléctrica en el módulo solar.

Así en las horas centrales de un día despejado y de atmósfera limpia y supuesto que el panel solar esté dispuesto con una inclinación y orientación adecuadas, la irradiación incidente en el mismo puede ser del orden de 1 kW/m^2 , pero incluso en esas condiciones ideales no se puede esperar obtener más de 150 W de potencia eléctrica neta en un panel de 1 m^2 de superficie, cantidad que se reduce apreciablemente cuando las condiciones no son tan favorables ya que estas cifras que se reducen a las dos terceras partes si se refieren a un día despejado de invierno, debido a que entonces la trayectoria del sol es más corta y se eleva menos sobre el horizonte. En cualquier caso, la presencia de nubes haría disminuir muchísimo más la cantidad de electricidad que el panel podría generar. (González J., 2009, p.61-62)

Medición de la radiación solar

El instrumento más utilizado en la medición de la radiación solar se llama piranómetro y permite evaluar toda la energía solar que llega a una superficie horizontal, incluyendo la radiación directa y difusa.

Unas placas pintadas de blanco y de negro actúan como termopares, tales termopares generan una tensión eléctrica proporcional a la diferencia de temperatura entre sus uniones, esta tensión eléctrica medida en la salida del instrumento puede ser relacionada con el nivel de radiación, para evitar el enfriamiento producido por el viento y el efecto de la contaminación atmosférica sobre los sensores, éstos se aíslan mediante una cúpula de vidrio óptico transparente. (Cruz J., Cruz F, 2009, p. 63)

Densidad de energía de radiación

“Cuando la radiación electromagnética en una región del espacio está en equilibrio con su entorno, puede ser descrita por la fórmula de radiación de Planck. La energía total radiada por un área en esta región del espacio, está dada por la ley de Stefan-Boltzmann, y la densidad de energía asociada con la radiación, se puede relacionar con esa ley” (HyperPhysics, Georgia State University, 2000)

Ley de Stefan-Boltzmann

Establece que toda materia que no se encuentra a una temperatura infinita emite dos radiaciones térmicas. Estas radiaciones se originan a partir de la energía térmica de la materia limitada por la superficie más baja por la que fluyen, la velocidad a la que libera energía por unidad de área (W/m^2) se denomina la potencia emisiva superficial J y se determina con la ecuación (1), “Es una cantidad medible por lo tanto la cantidad de energía que emite un cuerpo negro (Ver Figura 11), por unidad de tiempo y por unidad de área es” (Romero V., 2010)

$$J(T) = \sigma T^4 \quad (1)$$

Donde:

J = Potencia emisiva superficial (W/m^2)

T = Temperatura absoluta (K)

σ = Constante de Stefan - Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} W / m^2 K^4$)

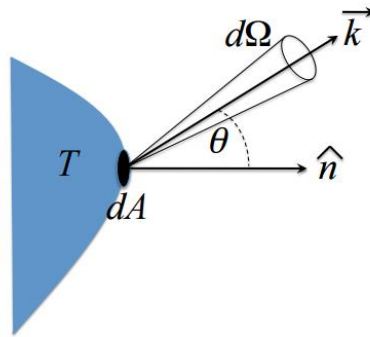


Figura 11: Radiación emitida por una diferencial de área de un cuerpo negro
Fuente: Romero V., 2010

Generación de energía eléctrica

La generación eléctrica se realiza, básicamente, mediante un generador; si bien estos no difieren entre sí en cuanto a su principio de funcionamiento, varían en función a la forma en que se accionan. Explicado de otro modo, en que fuente de energía primaria utiliza para convertir la energía contenida en ella, en energía eléctrica.

Generación de energía eléctrica fotovoltaica

Los generadores fotovoltaicos son utilizados en gran parte por su bajo costo y alto rendimiento, estos generadores aprovechan la energía de los fotones que chocan con una unión de semiconductores de tipo P y N, esta unión aporta la diferencia de potencial necesaria para que se tenga una corriente, la que es consecuencia de los electrones que pasan a la banda de conducción con la energía que les ceden los fotones al chocar con la célula solar.

La corriente obtenida es proporcional a la radiación del sol y el área de la célula; al conectar en serie y en paralelo las células se construyen los paneles solares que sirven para alimentar cargas eléctricas, baterías, las células solares proporcionan valores de

tensión y corriente muy pequeños en comparación a los requeridos normalmente por los aparatos convencionales, además de ser extremadamente frágiles y eléctricamente no aisladas; es por ello que su utilización exige la interconexión de varias células para aumentar su voltaje y su intensidad, y la protección y ensamblaje del conjunto para constituir una única estructura: los módulos fotovoltaicos. (Carta J., Calero R., Colmenar A., Castro M., Collado E., 2013, p. 296)

En estos momentos este tipo de tecnología es cara en la primera inversión pero dada la alta durabilidad y el costo casi nulo de mantenimiento y nulo en la materia prima que es el Sol estas se vuelven muy rentables.

Fundamentos físicos de la célula solar

El átomo

La constitución del átomo, refiriéndose al aspecto eléctrico, está determinada por el número de protones con carga positiva en el núcleo y una cantidad igual de electrones, con carga negativa, girando en diferentes órbitas en el espacio, que reciben el nombre de envoltura. En la Figura 12 se muestra el átomo de nitrógeno, con siete electrones girando en sus órbitas y siete protones concentrados en su núcleo. (Carta J., Calero R., Colmenar A., Castro M., Collado E., 2013, p.260-261)

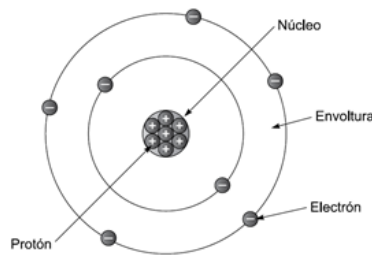


Figura 12: Átomo de nitrógeno

Fuente: Carta J., Calero R., Colmenar A., Castro M., Collado E., 2013, p. 261

Unión del semiconductor P con el N

El semiconductor P dispone de más huecos libres, o portadores mayoritarios, que de electrones libres, pero la carga neta del mismo es neutra. Lo contrario sucede con el semiconductor de tipo N, en el que los portadores mayoritarios son los electrones, pero también en conjunto dispone de una carga neutra. Al colocar parte el semiconductor de tipo P junto al semiconductor de tipo N (Ver Figura 13), debido a la ley de la difusión los electrones de la zona N, con alta concentración de los mismos, tienden a dirigirse a la zona P, que a penas los tiene, sucediendo lo contrario con los huecos, que tratan de dirigirse de la zona P a la N propiciando su encuentro y neutralización en la zona de unión. (Carta J., Calero R., Colmenar A., Castro M., Collado E., 2013, p. 269)

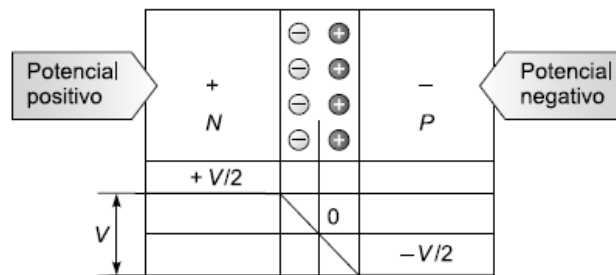


Figura 13: Tensión que aparece entre las zonas N y P

Fuente: Carta J., Calero R., Colmenar A., Castro M., Collado E., 2013, p. 270

Semiconductores y el efecto fotovoltaico

Si índice luz y los fotones comunican energía a los electrones del semiconductor (Ver Figura 14), algunos de estos electrones pueden atravesar la barrera de potencial, siendo expulsados fuera del semiconductor a través de un circuito exterior, se produce una corriente eléctrica. Los electrones, tras recorrer el circuito externo vuelven a entrar en el semiconductor por la cara opuesta. (Carta J., Calero R., Colmenar A., Castro M., Collado E., 2013, p. 287)

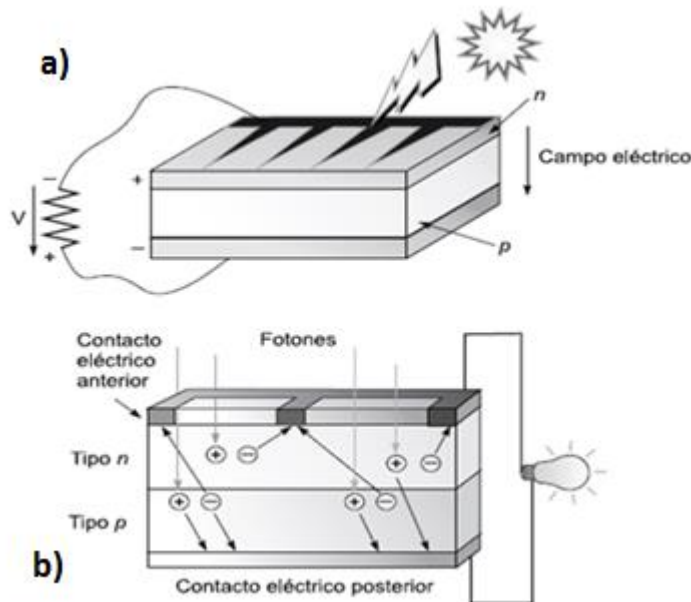


Figura 14: Efecto fotovoltaico a) Campo eléctrico b) Contacto eléctrico
Fuente: Carta J., Calero R., Colmenar A., Castro M., Collado E., 2013, p. 270

Sistemas fotovoltaicos

Existen dos tipos de sistemas de energía solar fotovoltaica, los sistemas aislados y los sistemas interconectados a la red eléctrica.

Sistema fotovoltaico autónomo

En regiones rurales o aisladas los sistemas fotovoltaicos autónomos constituyen ya la solución de fondo y son parte fundamental e imprescindible para la garantía de fluido eléctrico y de las comunicaciones. A diferencia de los sistemas conectados a red, los sistemas autónomos requieren de las baterías para almacenar energía que será consumida en los ciclos diarios. En la Figura 15 puede observarse el esquema básico de una instalación FV autónoma. (NEC-11, 2011, p.38)

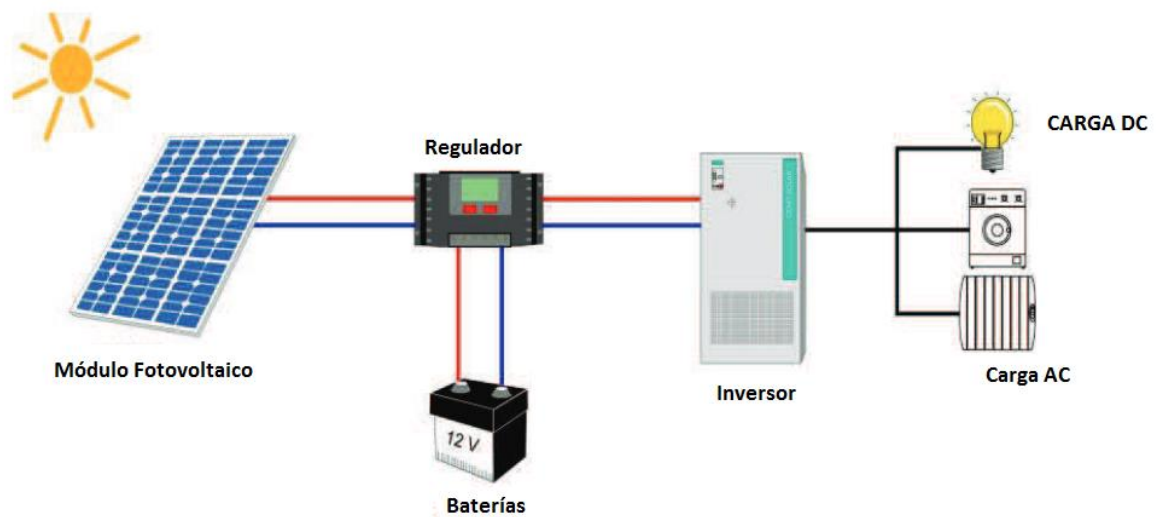


Figura 15: Esquema de un SFV residencial aislado de la red
Fuente: Santa S., Torres J., p. 4

Sistema fotovoltaico conectado a la red

Este sistema consiste en captar la radiación solar emitida hacia la tierra todos los días del año y transformarla en energía eléctrica mediante la instalación de un campo fotovoltaico, compuesto por paneles solares, esta energía generada en el campo fotovoltaico, es adaptada mediante un inversor de corriente, a las mismas características de la red de distribución y se vierte directamente a ella; al contrario de los sistemas aislados la energía captada no se almacena en acumuladores para aprovecharla en periodos de baja o nula radiación solar; esencialmente el sistema se compone de un campo de paneles fotovoltaicos y un inversor de características un poco especiales y que es el elemento clave de conexión. (Cruz J., Cruz F, 2009, p. 37)

Un sistema fotovoltaico conectado a la red se muestra en la Figura 15, consiste básicamente en un generador fotovoltaico acoplado a un inversor que opera en paralelo con la red eléctrica convencional. El concepto inyección a la red tiene un amplio margen de aplicaciones, desde pequeños sistemas de pocos kilovatios pico (KWp) de potencia instalada hasta centrales de varios megavatios pico (MWp). En la

Figura 16 se muestra un diagrama de los componentes principales de un sistema de conexión a red. (NEC-11, 2011, p.39)

Inicialmente los sistemas fotovoltaicos de conexión a red se desarrollaron para centrales fotovoltaicas de gran tamaño, tras comprobarse en la práctica que estas centrales trabajaban correctamente y en la medida en que avanzó el desarrollo de la electrónica, se comenzaron a diseñar sistemas de menor envergadura, más pequeños y manejables, con la finalidad de ser instalados a modo de pequeñas centrales domésticas solares, totalmente adaptables a viviendas dotadas de una acometida convencional de suministro eléctrico desde la red. (Cruz J., Cruz F, 2009, p. 38)

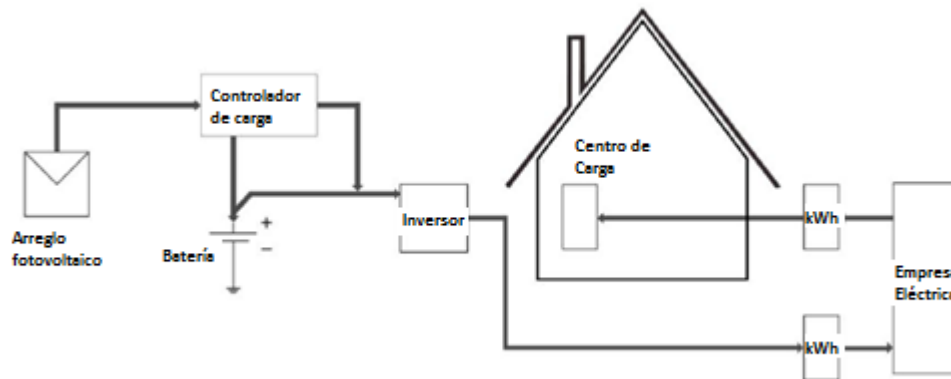


Figura 16: Esquema de un SFV conectado a la red.

Fuente: NEC-11, 2011, p.39

En la estructura física de un sistema fotovoltaico conectado a la red, se puede distinguir como elementos fundamentales:

- Módulos fotovoltaicos.
- Inversor para la conexión a la red.
- Dispositivo de intercambio con la red eléctrica.
- Contador de energía bidireccional.

Instalación eléctrica de un sistema FV conectado a la red

El sistema fotovoltaico es el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar y transformar la energía solar disponible, transformándola en utilizable como energía eléctrica, todos los componentes y materiales cumplirán lo dispuesto en las NEC-11(Norma ecuatoriana para sistemas de generación con energía solar fotovoltaica para sistemas aislados y conexión a red de hasta 100 kW en el Ecuador). Se incluirán todas las protecciones necesarias para proteger la instalación frente a cortocircuitos, sobrecargas y sobretensiones. Dichas protecciones deben proteger, tanto a la línea del generador, como los agentes ambientales, en particular contra el efecto de la radiación solar y la humedad.

Panel fotovoltaico

NEC-11 (2011) afirma “Conjunto de celdas fotovoltaicas conectadas entre sí (Ver Figura 17), encapsuladas en una carcasa con los elementos de protección y seguridad eléctrica y mecánica, que por efecto de la radiación del sol generan electricidad en corriente continua” (p.35).

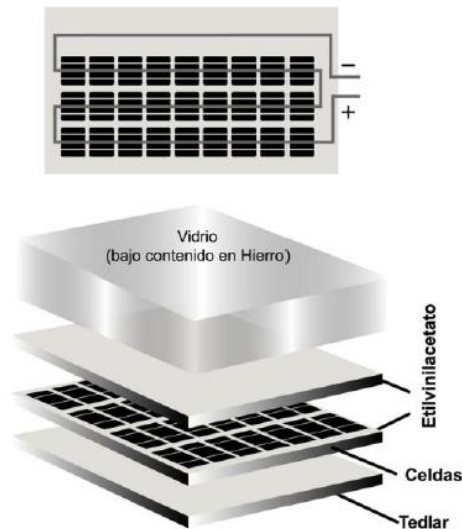


Figura 17: Panel fotovoltaico
Fuente: NEC-11, 2011, p.35

El módulo fotovoltaico llevara de forma claramente visible e indeleble el modelo, nombre o logotipo del fabricante, el número de serie y la fecha de fabricación, que permita su identificación individual. La potencia máxima y la corriente de cortocircuito reales de los módulos fotovoltaicos deberán estar comprendidas en el margen máximo del +10% de los correspondientes valores nominales de catálogo. Se instalaran los elementos necesarios para la desconexión, de forma independiente y en ambos terminales, de cada una de las ramas del generador. (Ávila O., García A. y Plaza J., 2014, p.69)

Para hacer referencia algún modelo concreto, los modelos solares de la marca Solarwatt, modelo M230-96 GET AK, de Wp, cuyas principales características físicas de los mismos se dan a continuación en la Tabla 4 y en la Tabla 5 donde se muestran las principales características eléctricas de los paneles, como la potencia máxima, rendimiento, tensión, en el punto de máxima potencia, corriente de cc, tención a circuito abierto, máxima tención del sistema, etc. (Carta J., Calero R., Colmenar A., Castro M., Collado E., 2013, p. 299)

Tabla 4: Características físicas de los módulos Solarwatt M230-96 GET AK

Características físicas de los módulos	
Material	Células de silicio monocristalino
Número de células	96
Tecnología del módulo	Laminado vidrio-lámina con marco de aluminio
Cables y conexiones	Cables con conectores de Tyco, 2 × 4 mm ² , 1,2 m de largo
Diodos <i>bypass</i>	4 diodos integrados
Normas de fabricación	DIN EN ISO 9001 y 14001
Condiciones de prueba estándar STC	1.000 W/m ² , 25 °C, AM 1,5
Longitud	1.610 mm
Anchura	1.060 mm
Espesor	50 mm
Peso	24 kg
Certificados y cualificaciones	IEC 61215 Ed.2, tipo de protección II, IEC 61730 en preparación

Fuente: Carta J., Calero R., Colmenar A., Castro M., Collado E., 2013, p. 299

Tabla 5: Características eléctricas de los módulos Solarwatt M2360-96 GET AK

Características eléctricas de los módulos	
Potencia máxima nominal ($P_{m\acute{a}x}$)	230 Wp
Rendimiento	15%-17%
Tensión en el punto de $P_{m\acute{a}x}$ (V_{MPP})	47,7 V
Corriente en el punto de $P_{m\acute{a}x}$ (I_{MPP})	4,83 A
Corriente de cortocircuito (I_{SC})	5,28 A
Tensión a circuito abierto (V_{OC})	58,9 V
Máxima tensión del sistema	1.000 V
Coefficiente de temperatura de P_N	- 0,5%/K
Coefficiente de temperatura de V_{OC}	- 0,37%/K
Coefficiente de temperatura de I_{SC}	+ 0,03%/K

Fuente: Carta J., Calero R., Colmenar A., Castro M., Collado E., 2013, p. 300

Inversores

Los inversores se instalarán en la parte posterior de los módulos fotovoltaicos, fijados a la propia estructura soporte de los paneles, a una altura mínima de 1,5 m del suelo.

La conexión del inversor se hace en baja tensión (210/121 V en sistemas trifásicos y 120/240 V en sistemas monofásicos a tres hilos), estos deben ser del tipo conexión a la red eléctrica con una potencia de entrada variable para que sean capaces de extraer en todo momento la máxima potencia que el generador fotovoltaico pueda proporcionar a lo largo de cada día. (Carta J., Calero R., Colmenar A., Castro M., Collado E., 2013, p.301-302)

Las características básicas de los inversores serán las siguientes:

- Principio de funcionamiento: fuente de corriente.
- Autoconmutado.
- Seguimiento automático del punto de máxima potencia del generador.
- No funcionará en isla o modo aislado.

Los inversores, cumplirán con las Directivas Comunitarias de Seguridad Eléctrica y Compatibilidad Electromagnética (ambas serán certificadas por el fabricante), incorporando protecciones frente a:

- Cortocircuitos en alterna.
- Tensión de red fuera de rango.
- Frecuencia de red fuera de rango.
- Sobretensiones mediante varistores o similares.
- Perturbaciones presentes en la red como microcortes, pulsos, defectos de ciclos, ausencia y retorno de la red, etc. (NEC-11, 2011, p.45)

El rendimiento según el tipo de inversor, se detallan en la Tabla 6.

Tabla 6: Rendimiento según el tipo de inversor

Tipo de inversor		Rendimiento al 20% de la potencia nominal	Rendimiento a potencia nominal
Onda senoidal	$P_{NOM} \leq 500 VA$	> 80 %	> 70 %
(*)	$P_{NOM} > 500 VA$	> 80 %	> 80 %
Onda no senoidal		> 85 %	> 80 %

Fuente: NEC-11, 2011, p.45

Dado que los valores de radiación por encima de 850 W/m² aparecen muy pocas veces es por ello, que tampoco se alcance muchas veces la potencia nominal del generador fotovoltaico, así que el equipo funciona normalmente en carga parcial. Para aprovechar mejor los valores de radiación más bajos, es conveniente dimensionar el inversor un poco más bajo. El grado de rendimiento de este, sube rápidamente al subir la radiación por encima del 90%. En la Figura 18, se muestran los rangos de irradiación frente a la energía de irradiación en % y el rendimiento en % para el inversor sobredimensionado y subdimensionado. (Carta J., Calero R., Colmenar A., Castro M., Collado E., 2013, p.303)

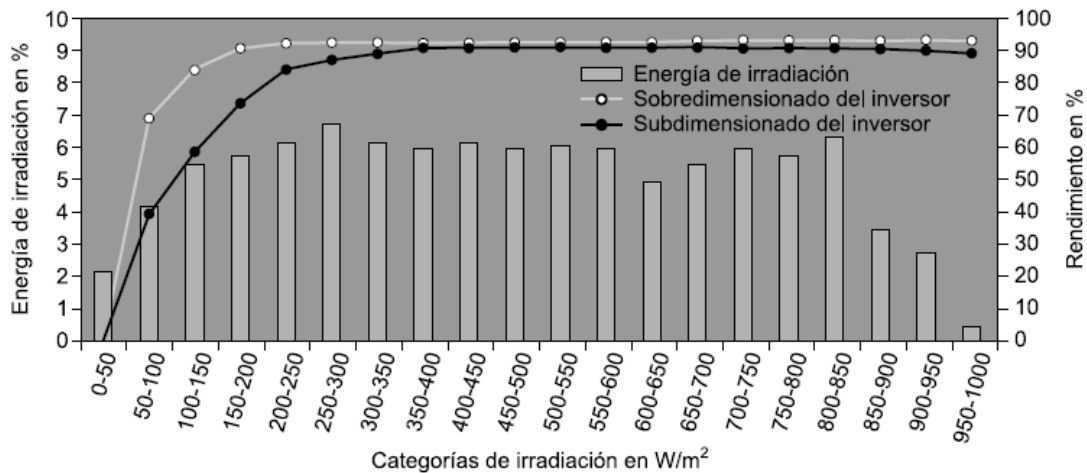


Figura 18: Energía de irradiación% y rendimiento%

Fuente: Carta J., Calero R., Colmenar A., Castro M., Collado E., 2013, p. 303

Banco de baterías

En este tipo de sistemas el banco de baterías es un elemento necesario e indispensable para el correcto funcionamiento de la instalación, este elemento es el encargado de almacenar la energía excedente producida en el día para ser consumido en la noche, también permite mantener una reserva para días nublados. (Castells E., 2012, p.635)

Las características principales de las baterías solares son:

- Entregar el máximo valor de corriente a una carga fija en forma continua durante un determinado número de horas sin necesidad de recarga.
- Permitir un alto grado de profundidad de descarga.
- Tener una larga vida útil determinada por el máximo número de ciclos de carga y descarga.

Es importante identificar y diferenciar conceptualmente las baterías solares para sistemas fotovoltaicos de las que se utilizan normalmente en los automotores (SLI) por razones de precio y facilidad de adquisición, pero que no trabajan adecuadamente

en estos, lo que trae un perjuicio para el usuario final, debido a que los parámetros y la construcción de una batería solar, son muy diferentes de las baterías para automotores. (NEC-11, 2011, p.43)

Líneas eléctricas

Los positivos y negativos de cada grupo de módulos se conducirán separados y protegidos de acuerdo a la normativa vigente. Los conductores serán de cobre y tendrán la sección adecuada para evitar las caídas de tensión y calentamientos, según se establece en el REBT (Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión), concretamente, para cualquier condición de trabajo, los conductores de la parte DC deberán tener la sección suficiente para que la caída de tensión sea inferior a 0,5%.

El mismo valor se utilizará para el dimensionamiento de conductores de la parte AC, teniendo en cuenta en ambos casos como referencia las correspondientes cajas de conexiones. Todo el cableado de continua será de doble aislamiento y adecuados para su uso en intemperie, al aire o enterrado de acuerdo con la norma UNE 21123. El montaje del cableado se realizará sin torsiones ni esfuerzos, disponiéndose mediante trazados horizontales y verticales, y conduciéndose con la debida protección en los lugares que discurran por el exterior y con la debida atención para no invertir las polaridades de los circuitos. (Carta J., Calero R., Colmenar A., Castro M., Collado E., 2013, p.304)

Los fusibles se instalarán, preferentemente, en las líneas de polaridad positiva. Como norma general, el cableado cumplirá con las siguientes prescripciones:

- La conexión de los módulos en serie, se debe realizar por medio del cableado multicontact, embridando el cableado de interconexión a las correas de la estructura (Ver detalle en la Figura 19). Los conductores, tanto de AC como de DC serán de cobre y de la sección adecuada para evitar caídas de tensión y calentamientos.

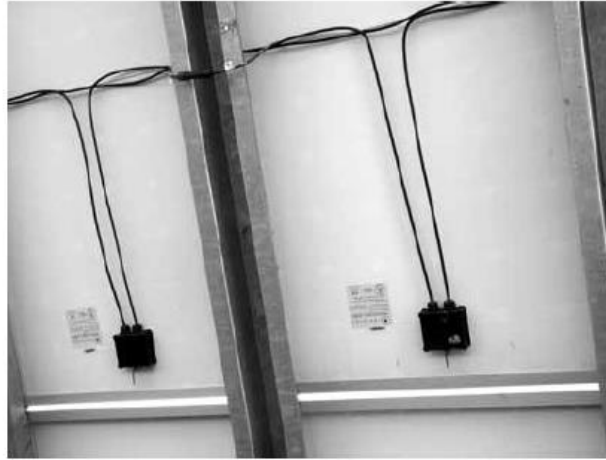


Figura 19: Sujeción del cableado de módulos

Fuente: Carta J., Calero R., Colmenar A., Castro M., Collado E., 2013, p. 304

Dispositivos de protección, seguridad y cableado

Las protecciones que proporciona el inversor permiten eliminar el cuadro de protecciones con descargadores, fusibles, diodos, etc. Las protecciones que incorpora el inversor son: protección contra polarización inversa, seccionador de carga, resistencia al cortocircuito, monitorización de toma a tierra, monitorización de red y protección diferencial integrada. (Carta J., Calero R., Colmenar A., Castro M., Collado E., 2013, p.305)

Contactos directos

- Tanto en el lado de continua como en el de alterna, no hay acceso directo a las conexiones de los módulos fotovoltaicos: latiguillos multicontact aislados y caja de conexión sellada (Ver Figura 20).
- Cajas de conexión del campo de paneles: bornes en el interior de la caja con la tapa atornillada y prensaestopas en la entrada de cables.
- Cables: doble aislamiento según norma UNE 21123.

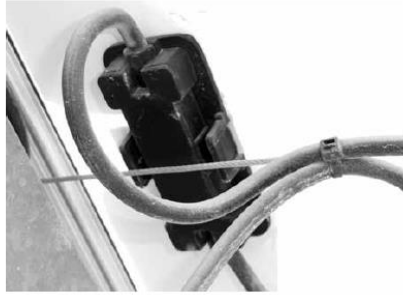


Figura 20: Imposibilidad de contactos directos, al estar las conexiones de continua y alterna

Fuente: Carta J., Calero R., Colmenar A., Castro M., Collado E., 2013, p. 305

Contactos indirectos

Diferencial con sensibilidad de 30 mA y toma de tierra.

Regulador de carga

Este componente tiene la finalidad de producir el acople correcto entre el módulo, la batería y la carga, de acuerdo a NEC-11 (2011) el regulador de carga debe cumplir con las siguientes funciones.

- El controlador de carga debe ser fabricado bajo la norma internacional UL 1741 u otras normas aplicables. Las especificaciones de la presente norma aplican para reguladores de carga que trabajan con baterías solares de descarga profunda de plomo-ácido, estacionarias tipo tubular y selladas AGM o GEL
- La operación del regulador de carga debe ser automática.
- La vida útil del regulador de carga debe ser igual o mayor a 10 años.
- Debe proveer protección contra descargas profundas de la batería.
- Debe proveer protección contra sobrecargas de la batería.

Las comparaciones entre sistemas de energía solar fotovoltaica aislada vs la interconectada, se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7: Comparación de sistemas de energía solar fotovoltaicos: aislado vs interconectado

	Interconectados	Aislados
Costos iniciales	Económico	Costos de (baterías)
Costos de mantenimiento	Mínimo sólo limpieza	Limpieza más costos de baterías
Flexibilidad	No hay problema sobre su uso	No se puede gastar más de lo que se calcula
Independencia	Dependencia del sistema eléctrico nacional	Totalmente independientes
Obligaciones legales	No se debe avisar ni pedir permiso a ningún organismo	No se debe avisar ni pedir permiso a ningún organismo
Implementación	Fácil	Complicado

Fuente: CEMAER, 2014

El árbol de problemas donde se relacionan las causas y los efectos del presente estudio, se detallan en la Figura 21.

1.3. Fundamentación de la investigación

Árbol de Problemas

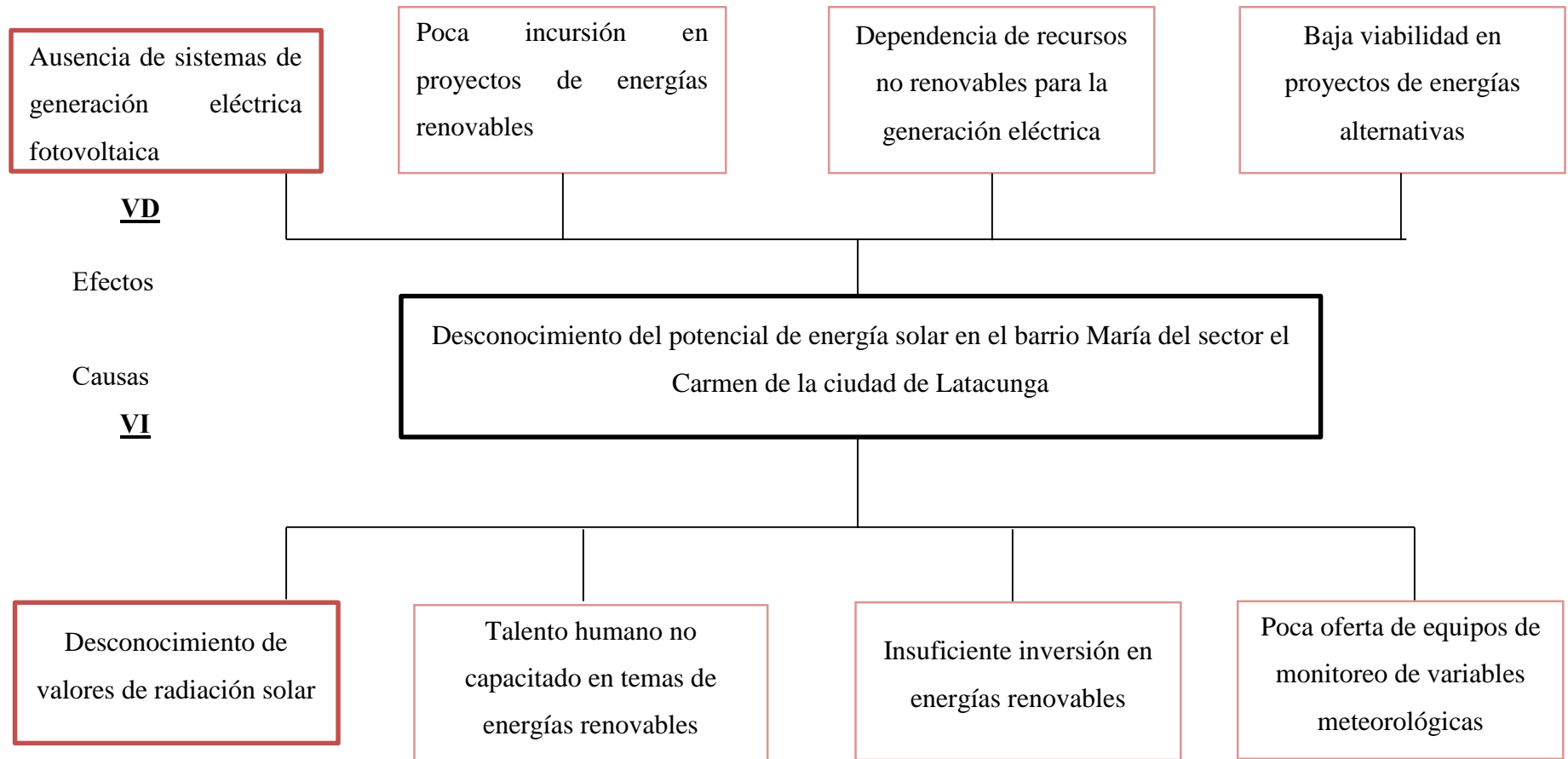


Figura 21: Árbol de problemas

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

1.3.1. El problema

El problema a resolver en este proyecto es desconocimiento de valores de radiación solar en el barrio María del sector el Carmen de la ciudad de Latacunga lo que provoca la ausencia de sistemas de generación eléctrica fotovoltaica en este.

El Ecuador preocupado por la mitigación del cambio climático promueve el objetivo N°11 del Plan Nacional de Desarrollo para el Buen Vivir (2013-2017), para el cambio de la matriz energética en el Ecuador, incrementando la proporción de generación de energías de fuente renovable, con ello a la preservación de la salud y vida de las personas; es necesario que se implementen de manera urgente requisitos mínimos de calidad para aumentar la eficiencia y ahorro de energía en los bienes y equipos comercializados en el Ecuador en guarda de la seguridad energética (Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017).

1.3.2. Viabilidad teórica y práctica

La implementación de un sistema fotovoltaico incorporado a la red tiene como principal promotor al Ministerio de Electricidad y Energía Renovable EN Ecuador, promueve la adecuada y exitosa gestión de proyectos de electrificación rural y urbana marginal con energía renovable no convencional según mandato constituyente No. 15 que indica en su Art. 3.- El Fondo de Electrificación Rural y Urbano programa de Electrificación del Ecuador, se financiará con recursos del Presupuesto General del Estado, para lo cual cuenta con el apoyo de socios estratégicos como el Banco Interamericano de Desarrollo (MC-15, 2011), que impulsa la iniciativa del Gobierno ecuatoriano, no únicamente como ente financiador de este tipo de proyectos, sino a través de la difusión de las experiencias vividas por otros países en este ámbito. (MEER, 2014)

Un sistema fotovoltaico requiere un fuerte desembolso inicial, pero luego los gastos de gestión y de mantenimiento son muy reducidos, el análisis de todos los aspectos económicos son muy complejos, en especial cada aplicación debe ser evaluada en su específico contexto, teniendo en cuenta sobre todo la energía eléctrica producida, la duración del sistema es “de 20 a 25 años , sin embargo se considera que pueden tener una vida útil de hasta 40 años, donde su desempeño si puede disminuir pero no una disminución tan notable, algunos paneles pueden producir hasta el 80% de su producción inicial después de los 40 años”. (Mundo Solar, 2015)

1.4. Bases teóricas particulares de la investigación

1.4.1. Variables de investigación

Variable independiente: Radiación solar y carga

Variable dependiente: Sistema fotovoltaico

La operacionalización de variable independiente, se detalla en la Tabla 8 y la de la variable dependiente se detalla en la Tabla 9.

1.4.2. Operacionalización de las variables

Tabla 8: Operacionalización de la variable independiente

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	ÍTEMS
<u>Independiente</u> Radiación Solar y carga	Irradiancia	➤ W/m^2	Piranómetro Apogee MP200	Medición
	Irradiación	➤ kWh/m^2	Ecuaciones	Cálculo y/o Estadísticas
	Potencia Máximas	➤ kW	Analizador de calidad	Medición
	Energía	➤ kWh	Ecuaciones	Cálculos

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Tabla 9: Operacionalización de la variable dependiente

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	ÍTEMS
<p><u>Dependiente</u></p> <p>Sistema fotovoltaico</p>	Parámetros de diseño	➤ Wh	Determinación de la energía (Cargas)	Cálculos
	Curva de comportamiento V-I	➤ W	Excel	Cálculos
	Energía eléctrica aprovechada	➤ kWh	Ecuaciones	Cálculos
	Prefactibilidad	➤ Costos (\$)	Ecuaciones	Cálculos

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se expone la metodología, el enfoque metodológico, el diseño, la modalidad, tipo y nivel de investigación, se declara la población o universo de estudio y se define la muestra para la carga y la radiación solar en la vivienda para aplicar los instrumentos de recolección de la información.

2.1. Marco Normativo Legal y Técnico

A través de una investigación documental de las reformas existentes en el Ecuador para de esta manera tener un panorama general sobre la generación de energía eléctrica para su uso y su interconexión a la red, esta investigación empieza con la revisión del Plan Nacional del Buen Vivir 2013 – 2017, para el cambio de la matriz energética en el país.

En la Constitución de la República del Ecuador se afirma que “El Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia” (art. 313).

El objetivo 11 del Plan Nacional del Buen Vivir (2013 – 2017) indica las siguientes políticas y lineamientos estratégicos para cambiar la matriz energética en el país.

“11.1. Reestructurar la matriz energética bajo criterios de transformación de la matriz productiva, inclusión, calidad, soberanía energética y sustentabilidad, con incremento de la participación de energía renovable.”

En sus literales:

“d. Incentivar el uso eficiente y el ahorro de energía, sin afectar la cobertura y calidad de sus productos y servicios”

“h. Cuantificar el potencial de recursos de energías renovables para generación eléctrica”

”j. Generar alternativas, fortalecer la planificación e implementar regulación al uso energético en el transporte, los hogares y las industrias, para modificar los patrones de consumo energético, con criterios de eficiencia y sustentabilidad”

“t. Fortalecer la investigación científica en los ámbitos energéticos, de industrias básicas y de generación y uso sustentable de energía renovable, para la industria, los hogares, el transporte y la producción”

Normativa eléctrica

Se revisó la regulación del CONELEC 003/11, “Determinación de la metodología para el cálculo del plazo y de los precios referenciales de los proyectos de generación y autogeneración”

El principal objetivo de esta regulación es definir la metodología para la determinación de los plazos y precios a aplicarse en los proyectos de generación y autogeneración desarrollados por la iniciativa privada, incluyendo aquellos que usen energías renovables. Dentro de esta regulación se mencionan aspectos relacionados con las Energías Renovables.

En el Ecuador cuenta con la Norma de construcción NEC – 11 de energías renovables que en su parte 14-2. Sistemas de generación con energía solar fotovoltaica para sistemas aislados y conexión a red de hasta 100 KW indica las condiciones que estos tipos de sistemas deben cumplir, esta norma es de carácter obligatorio para todo componente de los sistemas fotovoltaicos (SFV) instalados en el país. (NEC-11, 2011)

Dentro de este apartado se indica en el literal 14.2.6. Diseño de sistemas fotovoltaicos

2.2. Métodos y Técnicas

Dada la naturaleza del estudio, es preciso tomar en cuenta las siguientes consideraciones técnicas e instrumentos de recolección.

El método de cálculo del sistema fotovoltaico está basado en la norma de construcción de energías renovables Ecuador NEC-11, apartado 14.2.6.2. Consideraciones técnicas

- I.** Tipo de sistema fotovoltaico: de acuerdo a la clasificación.
- II.** Carga instalada y demanda energética individual y total para el caso de micro redes.
 - El tipo de carga y el servicio que prestará dicha carga para la selección de los componentes del sistema fotovoltaico (SFV).
 - Los consumos en espera (stand-by) de los equipos y el rendimiento de cada uno de ellos cuando la potencia que se especifica no lo ha hecho.

- Cuando el sistema esté previsto para servir a cargas en CC y CA se realizará el dimensionamiento por separado.
- Se debe presentar la estimación del consumo diario de energía en una tabla en la que deben constar como mínimo las columnas de: nombre de los equipos, número de equipos, potencia unitaria de los equipos, número de horas promedio diarias de uso y energía promedio diaria, en Wh, necesaria para la instalación. Se recomienda la elaboración de la curva de carga diaria del sistema fotovoltaico (SFV).

III. Radiación solar del emplazamiento. De acuerdo a las referencias recomendadas o medidas en el sitio.

IV. Voltaje y corriente del arreglo fotovoltaico. El voltaje se trabajará de preferencia en valores múltiplos de 12 V CC (12, 24, 36, 48). La corriente máxima estará limitada a la corriente del regulador de carga que atiende al módulo o al arreglo de módulos. En caso de necesidad de capacidades de corriente mayores se instalará varios reguladores en paralelo.

V. Pérdidas del sistema (PR)

2.2.1 Tipo de sistema fotovoltaico: de acuerdo a la clasificación

Según Cuervo R., Veritas B., Méndez J., las características a tomar en cuenta a la hora de implementar una instalación fotovoltaica son (pág. 177):

- Las condiciones económicas
- Condiciones donde se va implantar la instalación
- Condiciones de la capacidad en el punto de conexión de la red
- Condicionamientos (Urbanísticos, ambientales, etc.)

La instalación fotovoltaica conectada a la red, opera en paralelo con la red eléctrica convencional, tiene amplio margen de aplicación desde pequeños sistemas de pocos kilowatios pico (kWp) de potencia instalada hasta centrales de varios megavatios picos (MWp), ocupa un menor espacio físico, su instalación y mantenimiento resulta económico. (Carta J., Calero R., Colmenar A., Castro M., Collado E., 2013, p. 295)

2.2.2 Carga instalada y demanda energética individual y total para micro redes

Levantamiento y determinación del consumo diario de energía en la vivienda

Para determinar el consumo eléctrico en la vivienda primero es necesario realizar el levantamiento de la carga instalada en esta, incluye todos los aparatos eléctricos, número de estos, potencia que será tomada de la placa de referencias de cada uno de estos y el consumo de energía se indican en la Tabla 10.

Para identificar el comportamiento de la carga los consumos en espera (stand-by) diarios de los equipos y el rendimiento de cada uno de ellos se utilizará el analizador de redes el cual realizará el registro de potencia (KW) consumida por horas lo cual permitirá determinar las fluctuaciones de esta e identificar el tiempo de demanda máxima diaria y así seleccionar de manera correcta los componentes del sistema fotovoltaico (SFV)

El método para seleccionar y utilizar el analizador de redes se muestra en la Figura 22.

Tabla 10: Carga instalada en la vivienda

Área	Carga Aparatos	Cantidad	P. Unitario Promedio (Watts)	P. Total Promedio (Watts)
Dormitorio máster	Foco ahorrador	1	20	20
	Televisor 42 pulg	1	360	360
	Celular	2	13	26
	Radio grabadora	1	40	40
Dormitorio 1	Foco ahorrador	1	20	20
	Televisor 32 pulg	1	250	250
	Lapton	1	50	50
	Secador de pelo	1	400	400
	Plancha de pelo	1	600	600
	Celular	1	13	13
Dormitorio 2	Foco ahorrador	1	20	20
	Televisor 32 pulg	1	250	250
	Lapton	1	50	50
	Parlantes	1	5	5
	DVD	1	80	80
	Celular	1	13	13
Sala	Foco ahorrador	4	20	80
	Plancha	1	1000	1000
Cocina	Licuadaora	1	1000	1000
	Microondas	1	800	800
	Tostadora	1	20	20
	Televisor 22 pulg	1	150	150
	Refrigeradora	1	250	250
Baño máster	Foco ahorrador	1	20	20
Baño simple	Foco ahorrador	1	15	15
Patio	Foco ahorrador	3	20	60
	Cerca eléctrica	1	15	15
CARGA TOTAL INSTALADA				5607

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Los planos de la vivienda se muestran en el Anexo P.

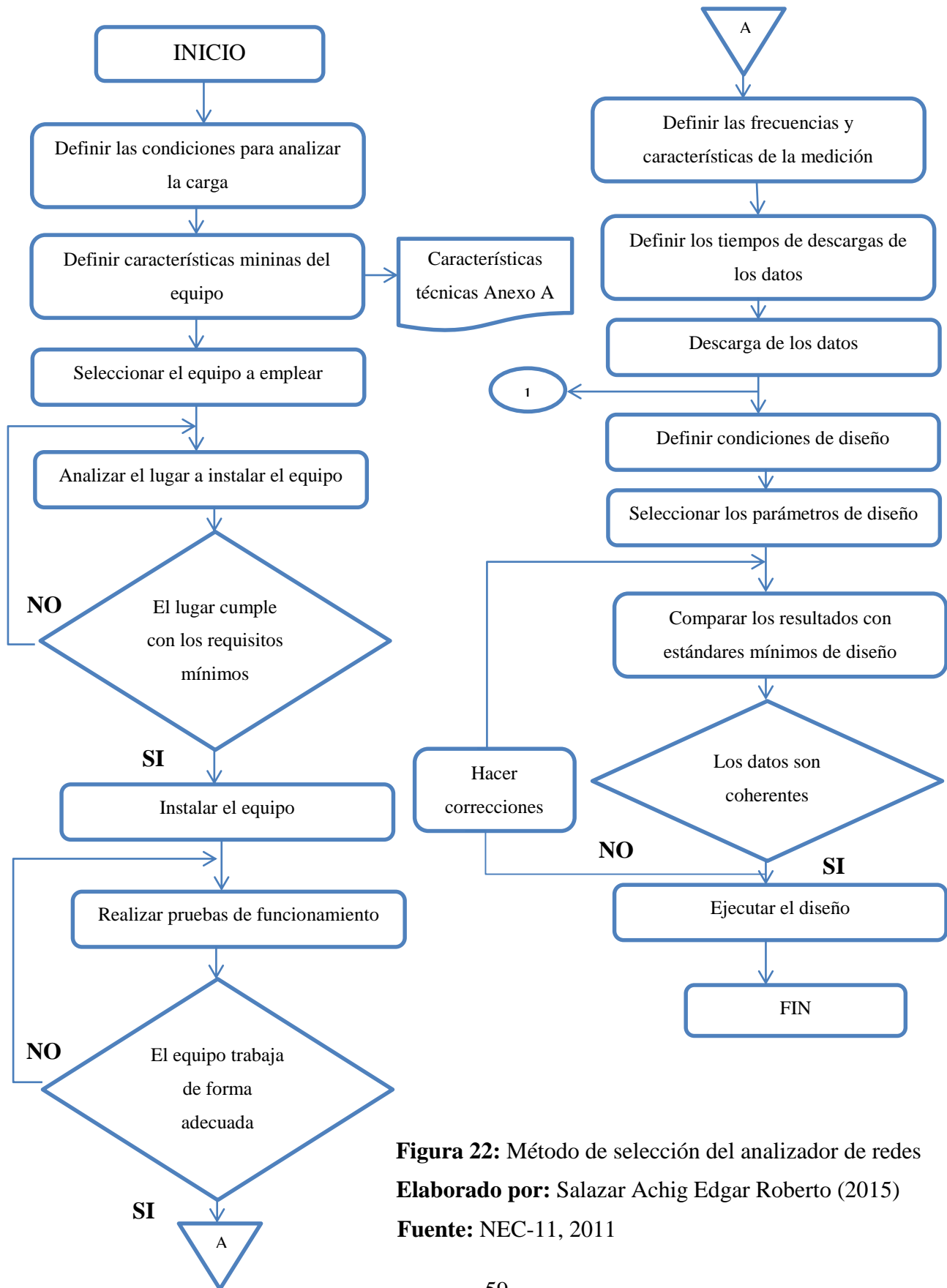


Figura 22: Método de selección del analizador de redes
Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)
Fuente: NEC-11, 2011

Etapa 1.- Condiciones para analizar la carga

En una semana el analizador de carga realizará el registro de potencia (kW) consumida lo cual permitirá, identificar el consumo de energía por horas y la variación que esta tiene de acuerdo al día de la semana en estudio. “Cada diseñador de sistemas fotovoltaicos puede incluir tantos datos considere oportuno para la instalación propuesta, por lo cual puede encontrarse con tablas ya sea diaria, semanal o mensual” (Cuervo R., Veritas B., Méndez J., 2013, p. 192)

Etapa 2.- Características mínimas del equipo

El equipo según la norma ecuatoriana de construcción NEC-11 apartado 14.2.5. Elementos de medición y registro de parámetros del SISTEMA FOTOVOLTAICO (SFV)

Debe medir y registrar los siguientes parámetros:

- Intensidad
- Voltaje
- Potencia de la carga

Además el equipo debe permitir medir y registrar estos parámetros en una red bifásica que es el tipo de conexión con que cuenta la vivienda de estudio.

Etapa 3.- Selección del analizador de redes

Para realizar la evaluación de la energía que consume el hogar se utilizó el equipo analizador de carga FLUKE POWER LOGGER 1735 como se muestra en la Figura 23, que tiene la opción de conexión de red bifásica la cual está instalada en la vivienda, calibrado bajo la norma IEC 61010-1, 600 V CATIII; que fue instalado en

el tablero principal de la vivienda, se instaló desde el día miércoles 01 de Julio hasta el día miércoles 08 de Julio del 2015, el mismo permite obtener parámetros como de potencia activa (P), reactiva (Q), aparente (S), voltaje (V), corriente (I), frecuencia (f) y factor de potencia (FP) de la red perteneciente a el hogar en donde se realizó el análisis.



Figura 23: Analizador de carga FLUKE 1735
Fuente: FLUKE, 2015

Características

Registro de la energía eléctrica y de los parámetros correspondientes de hasta 45 días.

Supervisión de la demanda máxima de potencia a lo largo de periodos medios definidos por el usuario.

Comprobaciones de consumo de energía para evidenciar las ventajas aportadas por las mejoras realizadas.

Mejora de la fiabilidad gracias a la captura de fluctuaciones de tensión debidas a la conexión y desconexión de una gran carga.

Fácil confirmación de la configuración del instrumento mediante la visualización en color de las formas de onda y tendencia.

Medida de las tres fases y el neutro gracias a las cuatro sondas flexibles incluidas.

Visualización de gráficos y generación de informes gracias al software PowerLog.

La elección del instrumento de medida (analizador de carga) para el proyecto, se basó en los siguientes criterios:

- **Calidad:** Desarrollado, diseñado y fabricado según la norma DIN ISO 9001
- **Memoria:** Memoria Flash de 4 MB, 3,5 MB para medir datos
- **Interfaz:** Conector RS-232 SUB-D; 115.200 baudios, 8 bits de datos, sin paridad, 1 bit de parada, actualizaciones de firmware posibles a través de la interfaz RS-232 (cable de extensión de 9 patillas)
- **Velocidad de muestreo:** 10,24 kHz
- **Frecuencia de línea:** 50 Hz o 60 Hz, seleccionable por el usuario, con sincronización automática
- **Alimentación eléctrica:** Juego de baterías NiMH con adaptador de CA (de 15 V a 20 V/0,8 A)

Etapa 4.- Forma de conexión del equipo para una red bifásica

“Para una fase dividida, el neutro está insertado en el centro y hay dos bifurcaciones activas que corresponden a los conductores de prueba A y B, AB es el voltaje de fase a fase, que es dos veces el de cada bifurcación activa” ver la Figura 24 (Manual de uso FLUKE 1735, 2006, p. 22)

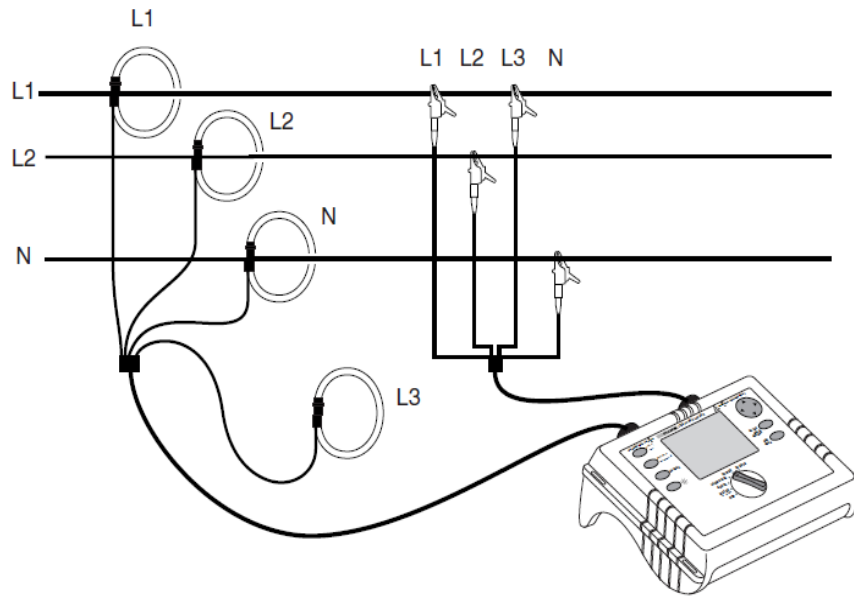


Figura 24: Conexiones de fase dividida
Fuente: Manual de uso FLUKE 1735, 2006, p.23

Etapa 5.- Lugar de instalación del analizador de redes

Para obtener los valores mínimos, máximos y promedios de los principales parámetros eléctricos en los días de medición, se procedió a instalar el analizador de redes en conexión de red bifásica en la sala de la vivienda donde se encuentra el tablero principal, el equipo instalado se muestra en la Figura 25.

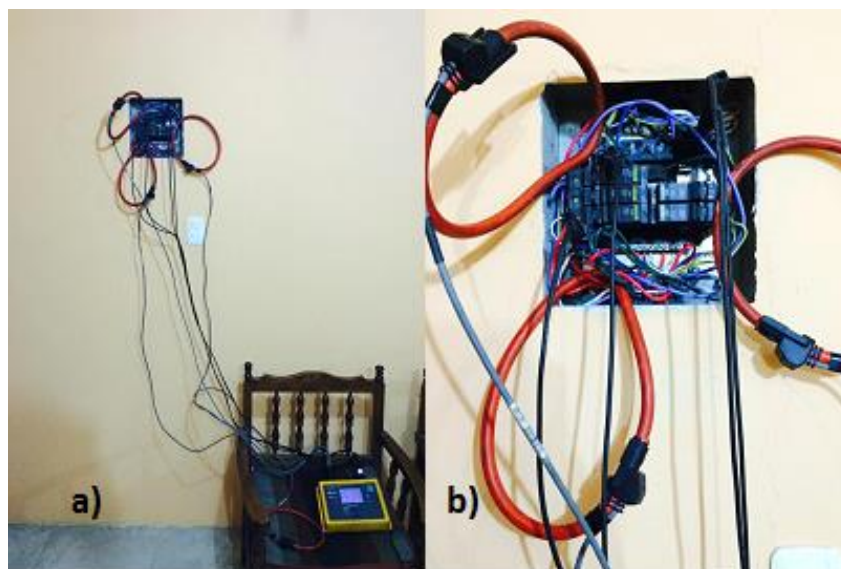


Figura 25: a) Conexión del analizador de carga FLUKE 1735 al tablero principal b) Conexión de las pinzas a las fases de alimentación
Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Etapa 6.- Pruebas de funcionamiento del analizador de redes

Al conectar el equipo antes de iniciar con la adquisición de datos se comprueba la forma de onda de voltaje y corriente y los parámetros potencia de la línea uno (L1) y línea dos (L2) al cual fue calibrado en la vivienda. (Ver figura 26).



Figura 26: a) Forma de onda del voltaje y corriente b) Parámetros de potencia de la L1 y L2 de medición del analizador FLUKE 1735
Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Etapa 7.- Frecuencias y características de la medición del analizador de redes

Según se mencionó en la etapa 1 condiciones de análisis de la carga se puede incluir tantos datos considere oportuno para la instalación propuesta, por lo cual puede encontrarse con tablas ya sea diaria, semanal

El período de análisis va desde las 22:51:06 Oms del 01 de julio hasta las 23:18:22 Oms del 08 de julio del 2015, la frecuencia de los datos queda determinada por las técnicas del equipo. (Ver tabla 11)

Tabla 11: Periodos de medición máximos posibles

Función de medición	Intervalo promedio	Tiempo de registro
V/A/Hz, Armónicos, Potencia	1 s	1 hora, 12 minutos
	2 s	2 horas, 24 minutos
	5 s	6 horas
	10 s	12 horas
	30 s	1 día, 12 horas
	1 min	3 días
	5 min	15 días
	10 min	30 días
	15 min	45 días

Fuente: Manual de uso FLUKE 1735, 2006, p.45

Se utiliza una regla de 3 ver ecuación (2) para determinar el periodo al que se debe ajustar el tiempo de medición del equipo para los 7 días de estudio.

$$x = \frac{\text{Tiempo de registro de la vivienda} * \text{Intervalo promedio}}{\text{Tiempo de registro analizador}} \quad (2)$$

Dónde:

x = Es el tiempo de registro entre mediciones a ser calibrado en el analizador de redes

Tiempo de registro de la vivienda = Una semana (7días)

Intervalo promedio = 5 minutos, 300 segundos (Ver Tabla 11, pg. 64)

Tiempo de registro analizador = 15 días (Ver Tabla 11, pg. 64)

$$x = \frac{7 \text{ días} * 300 \text{ segundos}}{15 \text{ días}}$$

$$x = 140 \text{ segundos}$$

Los datos se tomará cada 140 segundos como se puede observar en la Figura 27, se realiza este análisis debido a que en este periodo de tiempo se puede registrar el funcionamiento de todas las áreas de la vivienda, se toma en cuenta las madrugas y noches donde no todos los equipos se encuentran trabajando.

Fecha	Función	Duración	L1 Min	L1 Med	L1 Max	L2 Min	L2 Med
03/07/2015 23:21:42 Oms	Tensión		124,713 V	124,713 V	124,713 V	124,188 V	124,188 V
03/07/2015 23:21:42 Oms	Corriente		0,245 A	0,245 A	0,245 A	0,941 A	0,941 A
03/07/2015 23:21:42 Oms	Frecuencia		59,96 Hz	59,96 Hz	59,96 Hz		
03/07/2015 23:21:42 Oms	Potencia Activa		0,027 kW	0,027 kW	0,027 kW	69 W	69 W
03/07/2015 23:21:42 Oms	Potencia Reactiva		0 kVAR	0 kVAR	0 kVAR	-15 VAR	-15 VAR
03/07/2015 23:21:42 Oms	Potencia Aparente		0,027 kVA	0,027 kVA	0,027 kVA	114 VA	114 VA
03/07/2015 23:21:42 Oms	Factor de Potencia		0,996	0,996	0,996	0,599	0,599
03/07/2015 23:21:42 Oms	Energía activa		824,17 mWh	824,17 mWh	824,17 mWh	1,96 Wh	1,96 Wh
03/07/2015 23:21:42 Oms	Energía Reactiva		29,50 mVARh	29,50 mVARh	29,50 mVARh	-453,50 mVARh	-453,50 mVARh

Figura 27: Período de análisis mediante Software Power Log FLUKE
Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

En el Anexo B5, se muestra el promedio del comportamiento de la potencia aparente en la vivienda, durante el período de medición.

Etapas 8.- Descarga de los datos del analizador de redes

Una vez que se ha obtenido las mediciones mediante el analizador de carga, se realiza un análisis minucioso se transfiere los datos de este a la PC con ayuda del software Power Log de FLUKE (Ver Figura 28) se puede obtener los resultados de los parámetros eléctricos durante cualquier día y hora del período total de medición.

Se selecciona los datos de potencia del período de análisis y se exportan estos a una hoja de Excel como se muestra en la Tabla 12.



Figura 28: Power Log Software FLUKE y hoja de datos Excel
Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Tabla 12: Hoja en Excel periodos de medición del analizador de redes

Fecha	Hora	Potencia Activa L1 Min	Potencia Activa L1 Med.	Potencia Activa L1 Max.	Potencia Activa L2 Min	Potencia Activa L2 Med.	Potencia Activa L2 Max.
02/07/2015	22:51:06 0ms	48	48	48	99	99	99
02/07/2015	22:51:26 0ms	48	48	48	84	84	84
02/07/2015	22:51:46 0ms	48	48	48	33	33	33
02/07/2015	22:52:06 0ms	48	48	48	102	102	102
02/07/2015	22:52:26 0ms	48	48	48	69	69	69

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

2.2.3. Radiación solar del emplazamiento, de acuerdo a las referencias recomendadas o medidas en el sitio.

Irradiancia

Es el flujo radiante de la energía solar incidente sobre una superficie por unidad de área (W/m^2).

Según la ley de Ley de Stefan-Boltzmann se calcula mediante la ecuación (3) Romero V., 2010:

$$J(T) = \sigma T^4 \quad (3)$$

Donde:

J = Potencia emisiva superficial (W/m^2)

T = Temperatura absoluta (K)

σ = Constante de Stefan - Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} W / m^2 K^4$)

Cálculo de la radiación sobre superficie inclinada y horas solares en los paneles solares

Para calcular la media mensual de radiación diaria sobre la superficie del módulo fotovoltaico se debe usar la ecuación (4) Norma Técnica Ecuatoriana NEC-11:

$$\bar{H}_T = k * \bar{H} \text{ (Wh/m}^2 \text{ día)} \quad (4)$$

Dónde:

\bar{H}_T = Radiación sobre una superficie inclinada ($Wh/m^2/día$).

\bar{H} = Es la media mensual diaria de radiación sobre una superficie horizontal

k = Se escoge de Tablas, (El valor del factor k se escoge según los grados de inclinación del panel solar y el mes de estudio como se muestra en la Tabla 13)

Tabla 13: Valor de k según latitud y mes de año

Latitud: -1°

Incli.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0.97	0.98	1	1.01	1.02	1.03	1.02	1.01	1	0.98	0.97	0.96
10	0.93	0.96	0.99	1.02	1.04	1.04	1.03	1.02	0.99	0.96	0.93	0.92
15	0.88	0.92	0.97	1.02	1.05	1.06	1.04	1.01	0.97	0.93	0.89	0.87
20	0.83	0.88	0.95	1.01	1.05	1.06	1.04	1.01	0.95	0.89	0.84	0.81
25	0.77	0.84	0.92	1	1.05	1.06	1.04	0.99	0.92	0.85	0.78	0.75
30	0.71	0.79	0.89	0.98	1.04	1.05	1.03	0.97	0.89	0.8	0.72	0.69
35	0.65	0.73	0.84	0.95	1.02	1.04	1.01	0.95	0.85	0.74	0.65	0.62
40	0.57	0.67	0.8	0.92	1	1.02	0.98	0.91	0.81	0.67	0.58	0.54
45	0.5	0.61	0.74	0.88	0.97	0.99	0.95	0.87	0.76	0.62	0.51	0.46
50	0.42	0.54	0.69	0.83	0.93	0.96	0.92	0.83	0.7	0.56	0.43	0.38
55	0.34	0.46	0.63	0.78	0.89	0.92	0.88	0.78	0.64	0.49	0.35	0.3
60	0.26	0.39	0.56	0.73	0.84	0.87	0.83	0.73	0.58	0.41	0.27	0.21
65	0.17	0.31	0.49	0.66	0.79	0.82	0.78	0.67	0.51	0.34	0.19	0.13
70	0.11	0.23	0.42	0.6	0.73	0.77	0.72	0.61	0.45	0.26	0.13	0.12
75	0.11	0.15	0.34	0.53	0.67	0.71	0.66	0.55	0.37	0.18	0.12	0.11
80	0.1	0.1	0.26	0.46	0.6	0.64	0.6	0.48	0.3	0.13	0.11	0.1
85	0.09	0.09	0.19	0.39	0.53	0.58	0.53	0.41	0.23	0.12	0.11	0.1
90	0.08	0.08	0.11	0.31	0.46	0.51	0.46	0.34	0.15	0.11	0.1	0.09

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana NEC-11, Capítulo 14, tabla 14.B1.1.

El número de horas diarias de irradiación solar ha 1000 W/m^2 , determina el número de horas sol día, como se detalla en la ecuación (5) Norma Técnica Ecuatoriana NEC-11:

$$HS = \bar{H}_T / 1000 \left[\frac{\text{Wh/m}^2 \text{ día}}{\text{W/m}^2} \right] \quad (5)$$

Donde:

HS = número de horas diarias de irradiación solar ha 1000 W/m^2

\bar{H}_T = Radiación sobre una superficie inclinada ($\text{Wh/m}^2/\text{día}$).

Determinación del recurso solar de Latacunga por atlas solar

Valores de insolación global en la zona de estudio

Los valores mensuales de insolación global en la zona de estudio, ciudad de Latacunga se obtuvieron del Atlas Solar del Ecuador, los datos representan la energía

solar promedio mensual y anual de los valores diarios la insolación total (directa y difusa) e insolación global sobre una superficie horizontal y contiene los promedios mensuales de cada una de ellas, expresados en Wh/m²/día. (Ver Tabla 14)

Tabla 14: Insolación global en la provincia de Cotopaxi

INSOLACIÓN GLOBAL (kWh/m²/día)	
MES	ATLAS SOLAR ECUADOR
ENERO	4.70688
FEBRERO	4.45028
MARZO	4.50497
ABRIL	4.08836
MAYO	4.04027
JUNIO	4.09284
JULIO	4.02679
AGOSTO	4.13845
SEPTIEMBRE	4.63773
OCTUBRE	4.66497
NOVIEMBRE	4.87042
DICIEMBRE	4.97009

Fuente: CONELEC, atlas solar del Ecuador, 2008

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Determinación del recurso solar de Latacunga por mediciones

Para determinar la energía incidente disponible en la ubicación de la vivienda se utilizara el piranómetro. El método se muestra en la Figura 29.

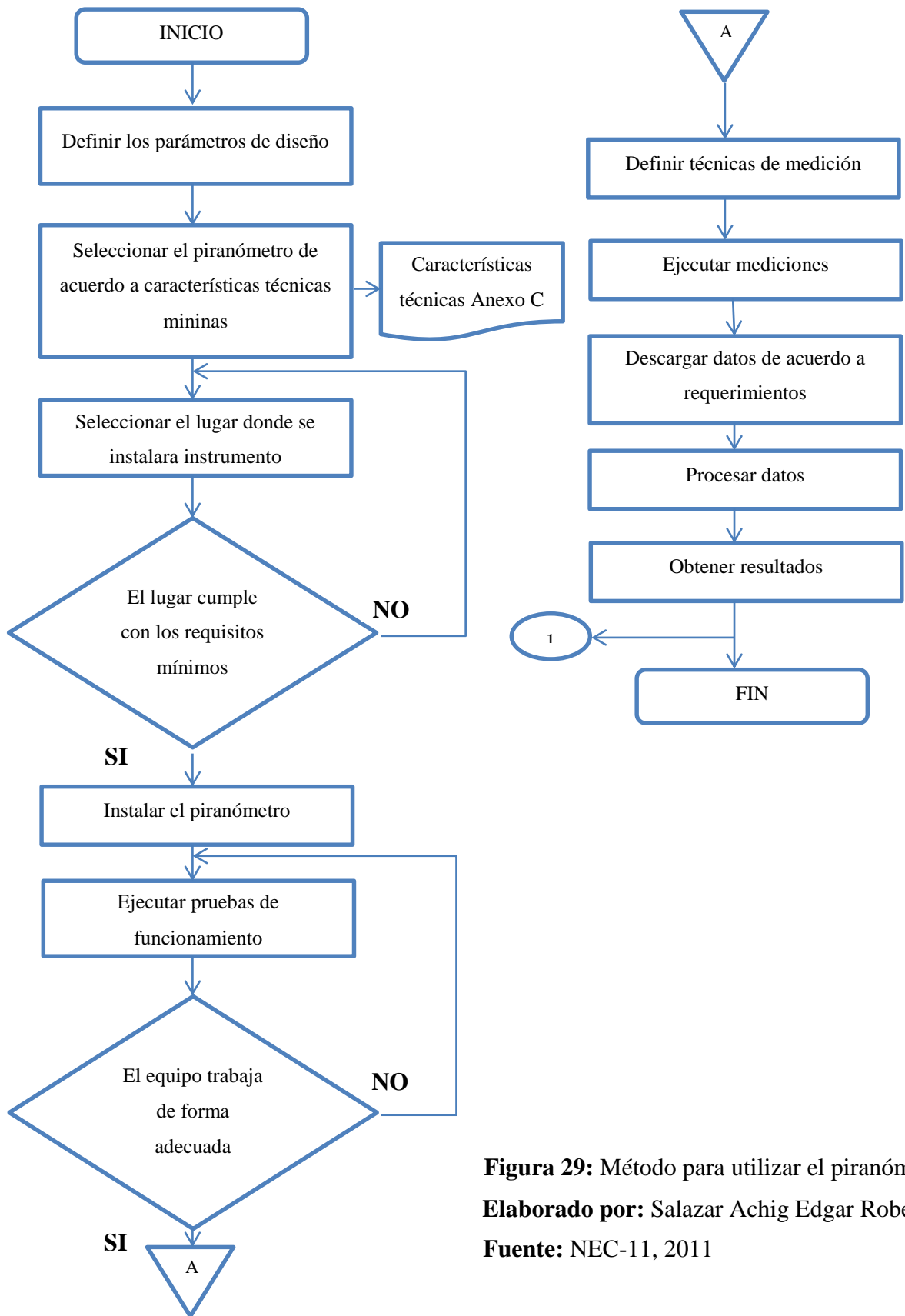


Figura 29: Método para utilizar el piranómetro
Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)
Fuente: NEC-11, 2011

Etapa 1.- Parámetro de diseño radiación solar

Según la norma ecuatoriana de construcción NEC-11 apartado 14.2.5. Elementos de medición y registro de parámetros del sistema fotovoltaico (SFV), para sistemas conectados a la red es obligatorio, la determinación de la cantidad de energía incidente disponible en la ubicación de la instalación.

- Irradiación solar ($\text{KW}/\text{m}^2 \cdot \text{día}$), se lo puede hacer con un piranómetro

El registrador de datos debe permitir almacenar al menos 3 meses de mediciones y contar con software de descarga y presentación de datos.

Según la Guía técnica de aplicación para instalaciones de energías renovables (2014), la población consiste en un número total de registros de radiación solar por parte del piranómetro, la elección de los datos de radiación solar dependerá directamente de la situación de la instalación, así como de las condiciones meteorológicas predominantes y particulares de cada lugar (p. 40).

“Los datos ofrecidos en las tablas de radiación suelen ser medias de medidas realizadas durante el transcurso de un mes se pueden presentar condiciones meteorológicas prolongadas de lluvias, días nublados, tiempo seco y claro, que pueden afectar a los cálculos mensuales de radiación solar” (Guía técnica de aplicación para instalaciones de energías renovables, 2014, p. 41)

Para la evaluación del potencial solar, se ha realiza primero una prospección de la radiación solar preliminar con el fin de obtener parámetros cualitativos que nos permitan estimar a grosso modo la pertinencia o no de ubicar sistemas conversores de energía solar en el sector. Estos parámetros se refieren especialmente al comportamiento diario del sol.

Etapa 2.- Selección del piranómetro

La norma NEC-11 apartado 14.2.5. Elementos de medición y registro de parámetros del sistema fotovoltaico (SFV), para sistemas conectados a la red indica que las mediciones se lo pueden hacer con un piranómetro, debe almacenar datos y contar con software de descarga y presentación de estos, estos parámetros fundamentales se consideraran a para la selección del instrumento de medida, adicionalmente a esto se considerara la precisión la repetitividad de medición y el tiempo de garantía de calibración del equipo de medida. (Guemisa, 2012), la precisión según la Referencia Radiométrica Mundial (WRR) se considera representativa de las unidades físicas de irradiación deben tener una precisión entre $\pm 0-5\%$ (AEMeT, 2011), el tiempo que se toma en cuenta según las normas NEC-11 es de 3 meses de mediciones por lo cual la garantía de calibración del equipo debe cubrir este.

En la Tabla 15 se muestran las características de tres piranómetros

Tabla 15: Características de piranómetros

Característica	Piranómetro		
	TM-206 MCA TENMARS	Piranómetro APOGEE MP-200	Piranómetro HUKSEFLUX SR20
Almacenamiento de datos	No	SI	SI
Software de descarga y presentación de datos	No	SI	SI
Precisión	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	$\pm 4\%$
Repetitividad	< 1%	< 1%	< 1%
Tiempo de garantía de calibración del equipo de medida	2 años	2 años	3 años

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

De la Tabla 15 se puede observar que los piranómetros de medida que son óptimos para el presente estudio son el piranómetro APOGEE MP-200 y el piranómetro HUKSEFLUX SR20 debido a que están dentro del rango de precisión recomendada por la Referencia Radiométrica Mundial (WRR), el tiempo de garantía de calibración del equipo cubre el tiempo de medición de 3 meses, para lo cual se tomara en cuenta el costo y la disponibilidad de adquisición del equipo en el mercado nacional, que se detalla en la Tabla 16.

Tabla 16: Costo y disponibilidad del piranómetro APOGEE MP-200 y el HUKSEFLUX SR20

	Piranómetro APOGEE MP-200	Piranómetro HUKSEFLUX SR20
Costo	\$ 800	\$ 4500
Disponibilidad	En stock	Entre 30 a 60 días

Fuente: ProViento S.A., Sensores meteorológicos, 2015

*Adicionalmente al valor mostrado se debe incrementar 5% arancel, 15% salvaguardia y 5% ISD que suma un 25% del valor del producto

Tomada las consideraciones de disponibilidad y el costo en la distribuidora ProViento, Ecuador se procede a seleccionar el piranómetro APOGEE MP-200, el cual cumple con los requisitos del equipo y además es de bajo costo y disponibilidad inmediata.

Piranómetro APOGEE MP-200

Es un instrumento de medida usado para medir la radiación solar que tiene como sensor un fotodiodo de células de silicio que mide la radiación de onda corta total, tiene un sensor separado al medidor de mano, tiene un registrador el cual almacena datos cada 30 min cada dato almacenado se basa en un promedio de muestras que el equipo toma cada 30 segundos, este equipo tiene la capacidad de almacenar un total de 99 datos, este equipo brinda la facilidad de transferir los datos a la PC, la

calibración del instrumento está dada por la National Renewable Energy (NREL) y basado en la radiométrica Mundial de Referencia (WRR) en Davos, Suiza (APOGEE INSTRUMENTS, 2015), en la Figura 30 se muestra al piranómetro APOGEE MP-200.



Calibration Uncertainty	:	$\pm 5 \%$
Measurement Repeatability	:	$< 1 \%$
Non-stability (Long-term Drift)	:	$< 2 \%$ per year

Figura 30: Piranómetro APOGEE MP-200
Fuente: APOGEE, 2015

Etapas 3.- Lugar de instalación del piranómetro APOGEE MP-200

Para instalar el piranómetro APOGEE MP-200, se tomó en la norma de construcción NEC-11 apartado 14.2.6.2.2. Ubicación del sistema fotovoltaico.

Para la instalación de un sistema fotovoltaico el sitio debe estar libre de obstáculos (edificios cercanos, árboles, vegetación).

Un área suficiente para el montaje del arreglo fotovoltaico (techo de una vivienda, sobre una base en el suelo o sobre un poste) por lo cual se debe prever un sitio apropiado para obtener la mayor cantidad de radiación solar.

En la medida de lo posible el arreglo fotovoltaico debe estar libre de sombras durante las 8 horas centrales del día.

La estructura va estar anclada al suelo, esta forma de instalación atenúa el viento, debido a que menos altura menor velocidad y fuerza de este, este tipo de estructuras serán robustas y con fuertes anclajes. (Tobajas M., 2011, p. 73)

El lugar elegido es el patio trasero de la vivienda que cuenta con un espacio libre de 72 m², este espacio no tiene obstáculos ni sombras proyectadas durante el día (Ver Figura 31).



Figura 31: Instalación del piranómetro MP-200 en el patio trasero de la vivienda **a)** Vista frontal a la casa **b)** vista trasera de la casa
Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Etapa 4.- Pruebas de funcionamiento del piranómetro APOGEE MP-200

El piranómetro viene calibrado por dos años tal como se muestra en la Figura 32, este tiene un rango de tolerancia de $\pm 5\%$ de error en la medición y repetitividad entre cada medición es $< 1\%$. (Ver Anexo C2)



Certificate of Calibration Apogee Instruments Pyranometer Model MP Series

Serial Number	:	MP-200_1404
Calibration Date	:	Feb-2015
Recommended Recalibration Date	:	Feb-2017
Calibration Uncertainty	:	$\pm 5\%$
Measurement Repeatability	:	$< 1\%$
Non-stability (Long-term Drift)	:	$< 2\%$ per year

Figura 32: Certificado de calibración APOGEE MP-200
Elaborado por: APOGEE INSTRUMENTS, 2015

Etapa 5.- Frecuencias y características de la medición del piranómetro APOGEE MP-200

Según norma de construcción NEC-11 apartado 14.2.6.2.2. Ubicación del sistema fotovoltaico, las medidas debe estar libre de sombras durante las 8 horas centrales del día y según el apartado de la misma norma, 14.2.5. Elementos de medición y registro de parámetros del sistema fotovoltaico (SFV), para sistemas conectados a la red, el registrador de datos debe permitir almacenar al menos 3 meses de mediciones y contar con software de descarga y presentación de datos.

La energía útil que produce el arreglo fotovoltaico es directamente proporcional a la insolación que recibe como se puede observar en la Figura 33 las horas en que se puede obtener la máxima captación son de 08:00 am a 16:00 pm.

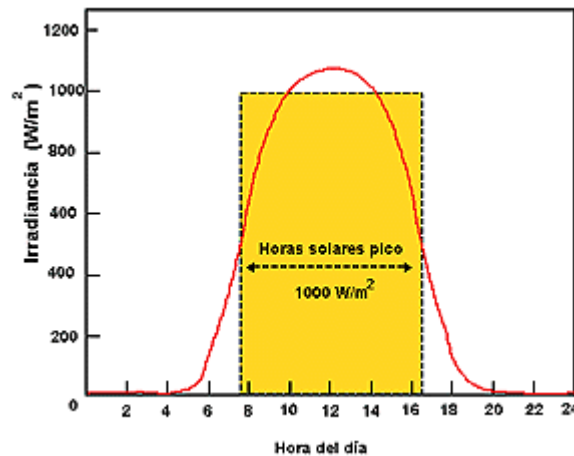


Figura 33: Irradiancia y horas solares pico
Fuente: Guía solar, 2012

La frecuencia de medición está determinada por el equipo, el cual almacena datos cada 30 min cada dato almacenado se basa en un promedio de muestras que el equipos toma cada 30 segundos estas medidas se tomará en el periodo de 07:00 a 17:00 (10 horas) para cumplir con la norma y cubrir el periodo de tiempo de las horas solares pico, obteniéndose 20 datos diarios. (Ver Figura 34)

En los Anexos D-F, se muestra el comportamiento de la radiación solar disponible en el área de la vivienda, durante el período de medición.

Etapas 6.- Descarga de los datos del piranómetro

Una vez que se ha obtenido las mediciones mediante el piranómetro APOGEE MP-200, se realiza un análisis minucioso se transfiere los datos de este a la PC con ayuda del cable AC-100 y del software ApogeeAMS del mismo fabricante se puede obtener

Tabla 17: Hoja de Excel presentación de datos piranómetro APOGEE MP-200

Hora	Medida W/m²	Referencia W/m²
7:30	74	200
8:00	160	200
8:30	131	200
9:00	178	200
9:30	252	200
10:00	300	200
10:30	298	200
11:00	408	200
11:30	442	200
12:00	492	200
12:30	604	200
13:00	468	200
13:30	391	200
14:00	456	200
14:30	357	200
15:00	286	200
15:30	227	200
16:00	208	200
16:30	253	200
17:00	101	200

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

2.2.4. Software SolidWorks 2015

Es un software por excelencia para el diseño en tres dimensiones (3D), contiene completas y potentes herramientas para la simulación y movimiento de diseños.

Es una solución integral de diseño 3D que permite crear, validar, comunicar y gestionar el diseño de sus productos, al incorporar potentes herramientas de diseño, entre las que se incluyen funciones de piezas, ensamblaje y dibujo líderes del sector, simulación, estimación de costes, el renderizado, la animación y la gestión de datos integrados. (SolidWorks, 2015)

Análisis por elementos finitos (FEA), para el diseño de estructuras

SOLIDWORKS simulación utiliza el método de formulación de desplazamientos de elementos finitos para calcular desplazamientos, deformaciones y tensiones de los componentes con cargas internas y externas, la geometría que se analiza se individualiza con elementos tetraédricos (3D), triangulares (2D) y de vigas, y se resuelve con un solver Direct Sparse o iterativo, el análisis por elementos finitos con SOLIDWORKS permite conocer la geometría exacta durante el proceso de mallado y se integra con el software de CAD en 3D de SOLIDWORKS, además cuanto más precisión exista entre el mallado y la geometría del producto, más precisos serán los resultados del análisis, dado que la mayoría de los componentes industriales están fabricados en metal, la mayor parte de los cálculos de análisis por elementos finitos afectan a componentes metálicos, el análisis de componentes metálicos puede realizarse mediante el análisis de tensión lineal o no lineal. (SolidWorks, 2015), en la Figura 36 se muestra la pantalla del software SolidWorks 2015.

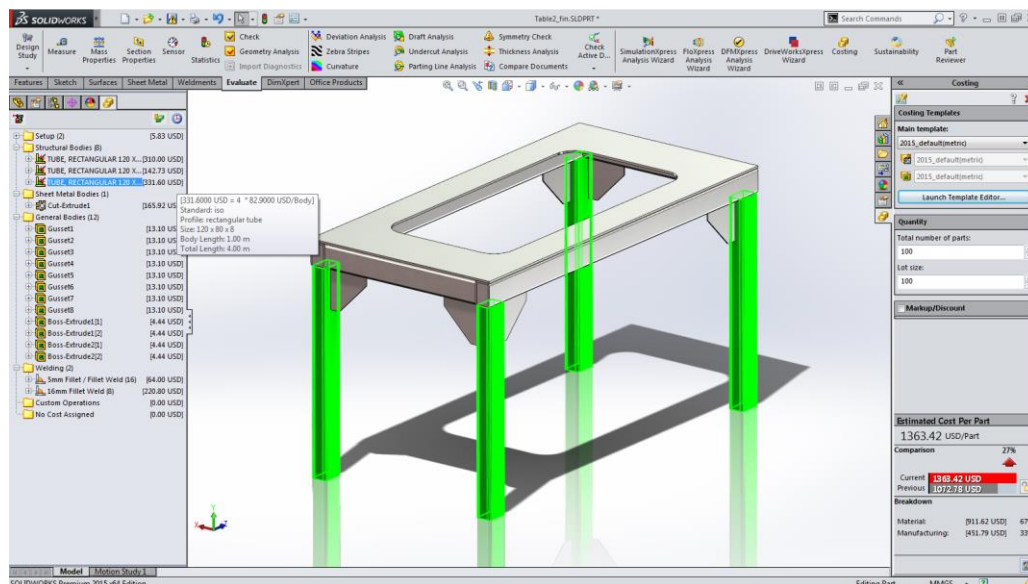


Figura 36: Pantalla Software SolidWorks
Fuente: Software SolidWorks, 2015

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se analiza los resultados obtenidos de la radiación solar en vatios por metro cuadrado (W/m^2) con el piranómetro APOGE MP-200 y la potencia de la carga en vatios por hora (W/h) con el analizador de redes FLUKE 1735 para determinar la potencia que puede entregar a la red el sistema fotovoltaico y conocer el porcentaje en el que se disminuiría la energía consumida por la vivienda en el tiempo en el que el módulo se encuentra en operación.

Los datos mensuales de radiación solar en la zona de estudio se obtuvieron de medias de las medidas realizadas durante el transcurso de los meses de Mayo a Julio considerando condiciones meteorológicas de lluvias, días nublados, tiempo seco y claro, expresados en Wh/m^2 ; estos se muestran en las siguientes tablas, mediante la Figura 37 se muestra los valores mínimos para poder determinar la potencia máxima que entregaría el módulo solar fotovoltaico.

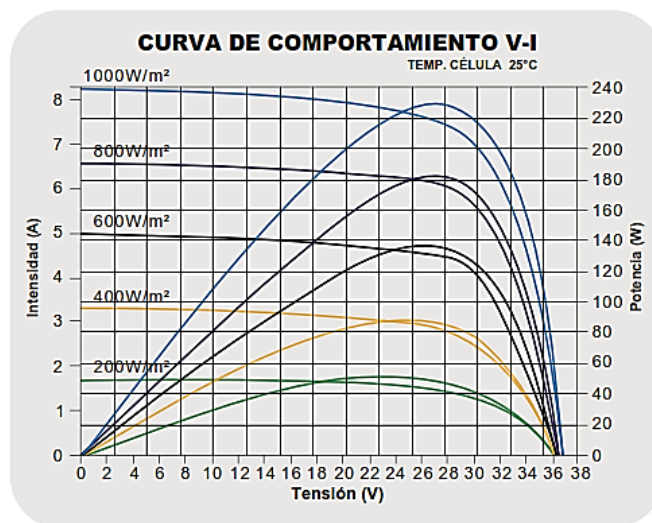


Figura 37: Curvas Voltaje - intensidad (V-I) y voltaje - potencia (V-P)
Fuente: (ZYTECH MÓDULO SOLAR, 2012)

De la figura 37 se toma como referencia 200 W/m^2 , que es el valor mínimo para que el módulo fotovoltaico trabaje adecuadamente.

Para el análisis de las medidas de radiación solar se seleccionó los meses, desde el 1 de Mayo hasta el 31 de Agosto del 2015, estos datos se tomaron del historial almacenado por el piranómetro APOGGE MP-200.

Se ha considerado tres tipos de análisis para estudiar las medidas de radiación solar medidas:

Promedio por horas de radiación solar:

Este promedio se calculó tomando los valores de radiación solar medidos cada 30 minutos, sumando dos datos y dividiendo para dos para obtener el promedio por hora. Las horas consideradas fueron desde las 07:00 hasta las 17:00.

Promedio diario de radiación solar:

Este promedio se calculó tomando los valores de radiación diarios que comprenden las horas de 07:00 hasta las 17:00.

Análisis para cuatro diferentes días

Se analizó cuatro días se seleccionaron las mediciones de radiación solar de dos días nublados y dos días despejados con el objetivo de observar la dispersión de las medidas y obtener la desviación estándar de las mismas.

3.1 Análisis de la radiación solar, mes Mayo

3.1.1. Análisis del promedio de datos por horas de radiación solar incidente en el sitio de estudio, mes Mayo

En este caso como se mencionó en el capítulo 2 parámetros de diseño radiación solar p. 72, se toma como referencia la media de los valores medidos de la radiación solar en W/m^2 para el mes de Mayo (Ver Anexo D), en la Tabla 18 se muestra el comportamiento de la radiación solar media que transcurre en función del tiempo, en la Figura 38 se muestra la curva de tendencia de esta en función del tiempo.

Tabla 18: Comportamiento de la radiación solar media, mes de Mayo

N °	Hora	MAYO W/m ² MEDIOS MEDIDOS
1	07:00-08:00	172,0
2	08:00-09:00	333,0
3	09:00-10:00	433,4
4	10:00-11:00	523,2
5	11:00-12:00	474,4
6	12:00-13:00	528,3
7	13:00-14:00	536,3
8	14:00-15:00	460,9
9	15:00-16:00	362,3
10	16:00-17:00	155,5
PROMEDIO DIARIO		397,92 W/m²
PROMEDIO MENSUAL		3979 W/m²
ATLAS SOLAR ECUADOR		4040 W/m²

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Como se puede observar en la Tabla 16 el valor promedio diario promedio medio de radiación solar es superior a los $200 W/m^2$, superando en un 93,57% al mínimo de generación lo que indica que se puede implementar paneles solares en la vivienda para producción de energía eléctrica, el promedio de error medido con relación al del atlas solar es de un -1,51% lo que está dentro del error aceptable del equipo de $\pm 5\%$ aceptable.

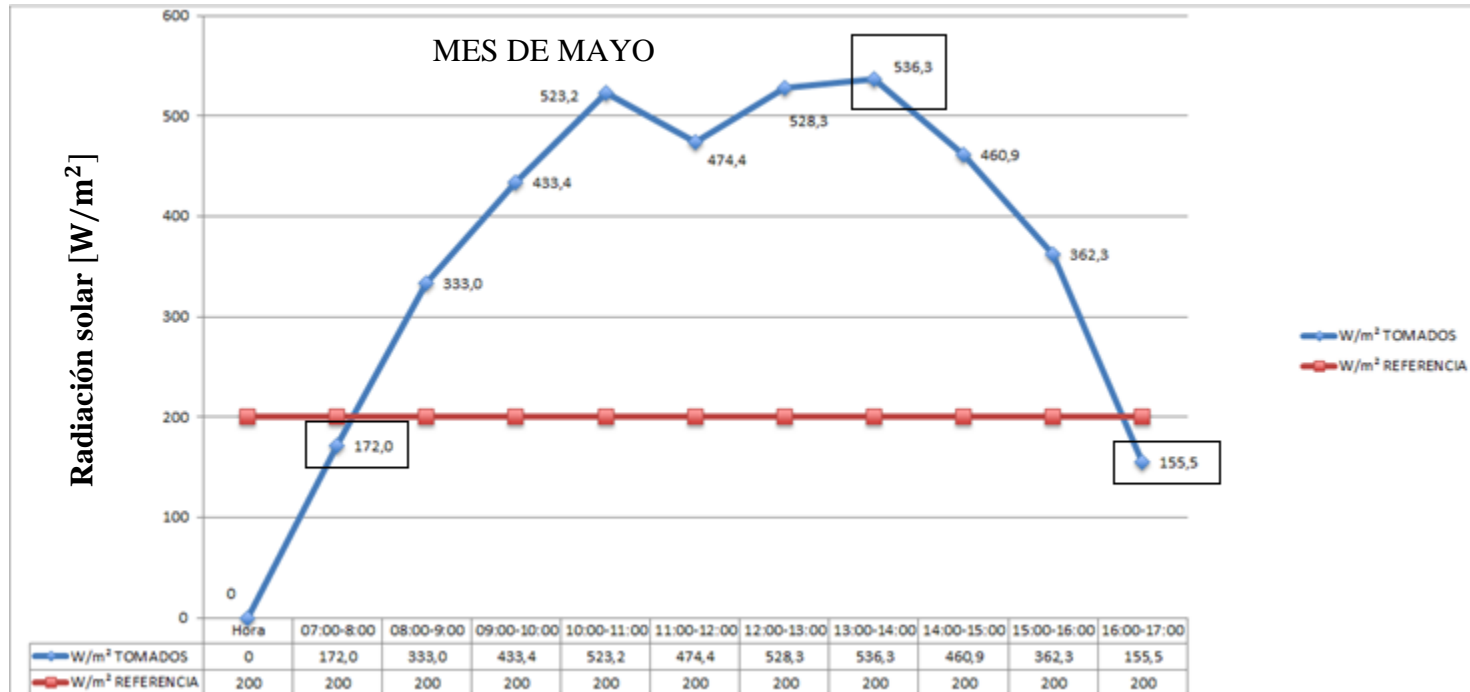


Figura 38: Tendencia de radiación solar media vs tiempo, mes de Mayo
Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

De la Figura 38 se determina que de 07:00 a 08:00 y de 16:00 a 17:00 el valor está por debajo de los 200 W/m², se observa que de 08:00 a 16:00 el valor está sobre este valor variando entre un 66,5% a un 168,15% con respecto al mínimo, siendo de 13:00 a 14:00 el valor máximo de captación; lo cual indica que en este periodo de tiempo se puede generar energía eléctrica fotovoltaica.

3.1.2. Análisis del promedio de datos diario de radiación solar incidente en el sitio de estudio, mes Mayo

El promedio diario se calculó con las medidas promedio de radiación solar adquiridas cada 30 minutos desde 07:00 hasta las 17:00 almacenadas en el historial, para obtener un valor de radiación solar para cada día del mes en estudio (Ver Tabla 19).

Tabla 19: Promedio diario de la radiación solar media, mes de Mayo

N°	Fecha	Mediciones		N°	Fecha	Mediciones	
		Mayo	[W/m ²]			Mayo	[W/m ²]
1	01/05/2015	3724,5		17	17/05/2015	3934,5	
2	02/05/2015	3934,5		18	18/05/2015	3976	
3	03/05/2015	5151		19	19/05/2015	3554,5	
4	04/05/2015	5000,5		20	20/05/2015	3399	
5	05/05/2015	3724,5		21	21/05/2015	3724,5	
6	06/05/2015	3043		22	22/05/2015	4911	
7	07/05/2015	3554,5		23	23/05/2015	4374	
8	08/05/2015	3399		24	24/05/2015	5151	
9	09/05/2015	4648,5		25	25/05/2015	3696,5	
10	10/05/2015	4374		26	26/05/2015	4648,5	
11	11/05/2015	3894,5		27	27/05/2015	4207,5	
12	12/05/2015	3976		28	28/05/2015	1453,5	
13	13/05/2015	4207,5		29	29/05/2015	5000,5	
14	14/05/2015	4911		30	30/05/2015	4216,5	
15	15/05/2015	3043		31	31/05/2015	2627	
16	16/05/2015	3894,5		PROMEDIO DIARIO		3979 W/m²	
ATLAS SOLAR ECUADOR						4040 W/m²	

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

De la Tabla 19 se puede identificar que el día 24 es el de mayor incidencia de radiación solar, supera en un 27,5% el valor de referencia de radiación solar del atlas solar del Ecuador, lo que indica que se puede implementar paneles fotovoltaicos para la conversión de energía solar en energía eléctrica.

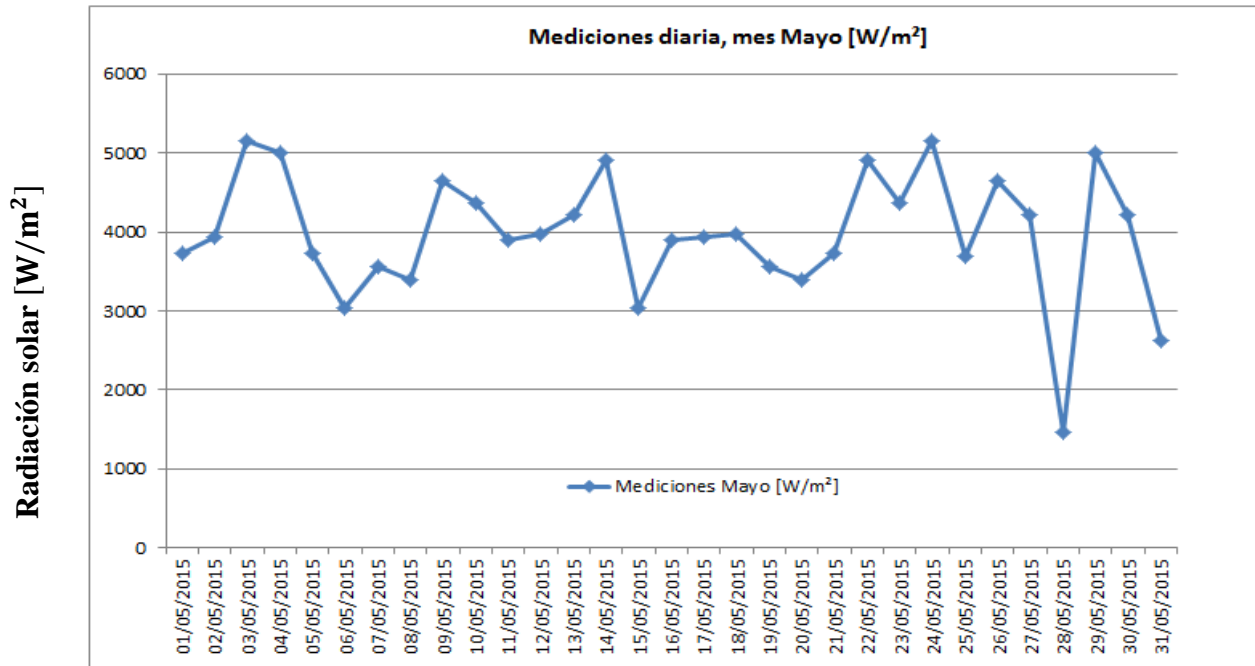


Figura 39: Promedio diario de la radiación solar media, mes de Mayo
Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

En la Figura 39 se puede observar que el promedio de radiación solar diario (W/m^2), se encuentra en constante variación durante el mes, estas variaciones dependen del estado climático de cada día donde se presentan cambios bruscos de un día al otro como los observados en los días 28 y 31 de Mayo; para los días nublados o con lluvia el promedio de radiación solar diario disminuye del valor máximo hasta en un 71.78%.

3.1.3. Análisis para cuatro diferentes días, mes Mayo

Para el análisis de los cuatro días se seleccionaron las mediciones de radiación solar de dos días nublados y dos días despejados, para lo cual se identificó de la Tabla 20 los días 28, 31 nublados y los días 04 y 24 de Mayo días despejados y con mayor incidencia de radiación solar, tomándose las horas de mayor captación, desde las 08:00 hasta las 16:00.

Tabla 20: Promedio de radiación solar media para los días 04, 24, 28 y 31 del mes de Mayo

HORA / FECHA	Días nublados		Días soleados		PROMEDIO [W/m ²]
	28/05/2015	31/05/2015	04/05/2015	24/05/2015	
08:00-09:00	91	204	536	547,5	333
09:00-10:00	121	575,5	502	788	433,4
10:00-11:00	139,5	346	682,5	846	523,2
11:00-12:00	108	464,5	392	808	474,4
12:00-13:00	135	309,5	532	458,5	528,3
13:00-14:00	167,5	217	722,5	311	536,3
14:00-15:00	195	211,5	671	502,5	460,9
15:00-16:00	207,5	103,5	506,5	479,5	362,3
RADIACIÓN SOLAR DIARIA	1164,5	2431,5	4544,5	4741	3651,8

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

De la Tabla 20 se puede identificar que el valor de radiación solar esta sobre los 200 W/m², excepto para el 28 de este mes único día en que no se puede aprovechar la energía solar, para analizar las curvas (Ver Figura 40) se calculó la desviación estándar de cada una, determinándose la dispersión en las medidas de radiación solar.

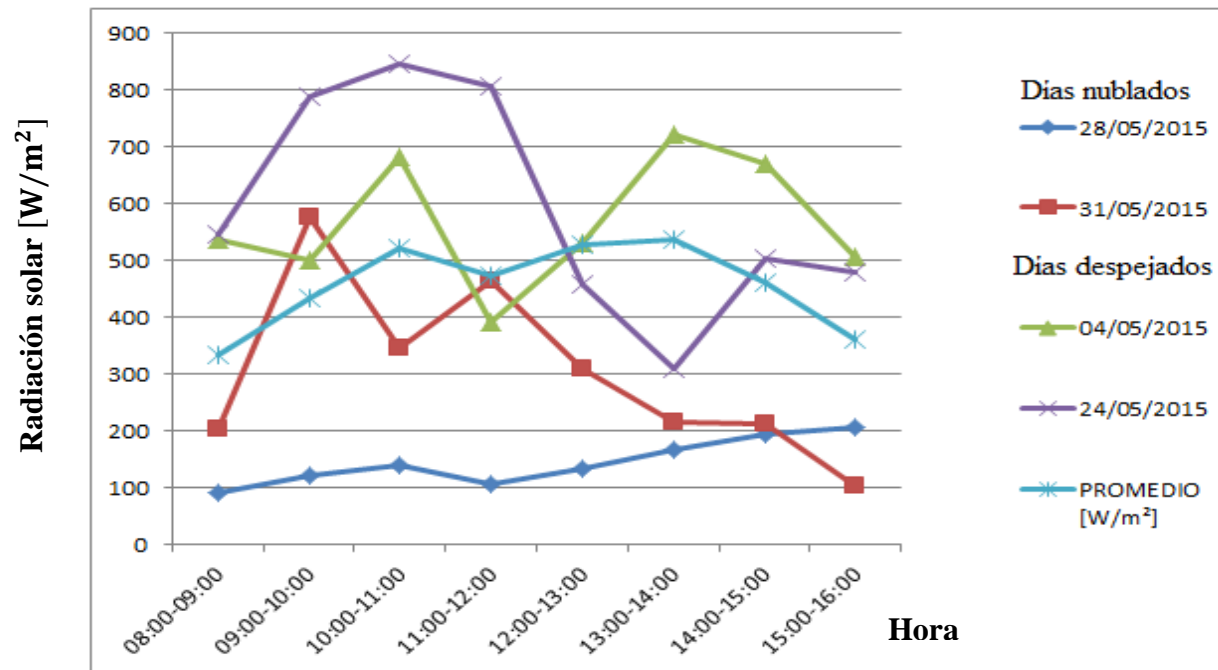


Figura 40: Promedio de radiación solar media para los días 04, 24, 28 y 31 del mes de Mayo
Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

La menor desviación encontrada se encuentra en el día 04 de Mayo que estuvo totalmente despejado; mientras que la desviación mayor se encuentra en el día 28 de Mayo que fue un día totalmente nublado y lluvioso, así se determina que si el día se encuentra despejado las medidas de radiación solar obtenidas variarán en menor razón en relación al promedio, caso contrario si el día está nublado, las variaciones de radiación solar son altas en relación al promedio.

Tabla 21: Desviación estándar de radiación solar media para los días 04, 24, 28 y 31 del mes de Mayo

HORA / FECHA	Desviación estándar			
	28/05/2015	31/05/2015	04/05/2015	24/05/2015
08:00-09:00	171,120	91,217	143,543	151,674
09:00-10:00	220,900	100,480	48,508	250,740
10:00-11:00	271,317	125,299	112,642	228,254
11:00-12:00	259,084	7,000	58,266	235,891
12:00-13:00	278,105	154,715	2,616	49,356
13:00-14:00	260,781	225,779	131,663	159,311
14:00-15:00	188,020	176,352	148,563	29,416
15:00-16:00	109,460	182,999	101,965	82,873

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Se determina que en un día soleado los paneles captan radiación solar con menores variaciones porque la radiación obtenida en su mayoría parte es directa, mientras que en un día nublado los paneles captan valores de radiación solar muy variados la radiación obtenida en un gran parte es difusa o reflejada que puede provenir desde cualquier lado por la refracción y reflexión en los objetos.

3.2 Análisis de la radiación solar, mes Junio

3.2.1. Análisis del promedio de datos por horas de radiación solar incidente en el sitio de estudio, mes Junio

En la Tabla 22 se muestra el comportamiento de la radiación solar media que transcurre en función del tiempo para el mes de Junio, en la Figura 41 se muestra la curva de tendencia de esta en función del tiempo. (Ver Anexo E)

Tabla 22: Comportamiento de la radiación solar media, mes de Junio

N°	Hora	JUNIO W/m² MEDIOS MEDIDOS
1	07:00-08:00	133,3
2	08:00-09:00	278,6
3	09:00-10:00	412,4
4	10:00-11:00	501,1
5	11:00-12:00	547,6
6	12:00-13:00	587,9
7	13:00-14:00	543,4
8	14:00-15:00	482,6
9	15:00-16:00	328,5
10	16:00-17:00	126,1
PROMEDIO DIARIO		394,15 W/m²
PROMEDIO MENSUAL		3942 W/m²
ATLAS SOLAR ECUADOR		4092 W/m²

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Como se puede observar en la Tabla 22 el valor promedio diario promedio medio de radiación solar es superior a los 200 W/m², superando en un 97,07% al mínimo de generación lo que indica que se puede implementar paneles solares en la vivienda para producción de energía eléctrica, el promedio de error medido con relación al del atlas solar es de un -3,68% lo que está dentro del error aceptable del equipo de $\pm 5\%$ aceptable.

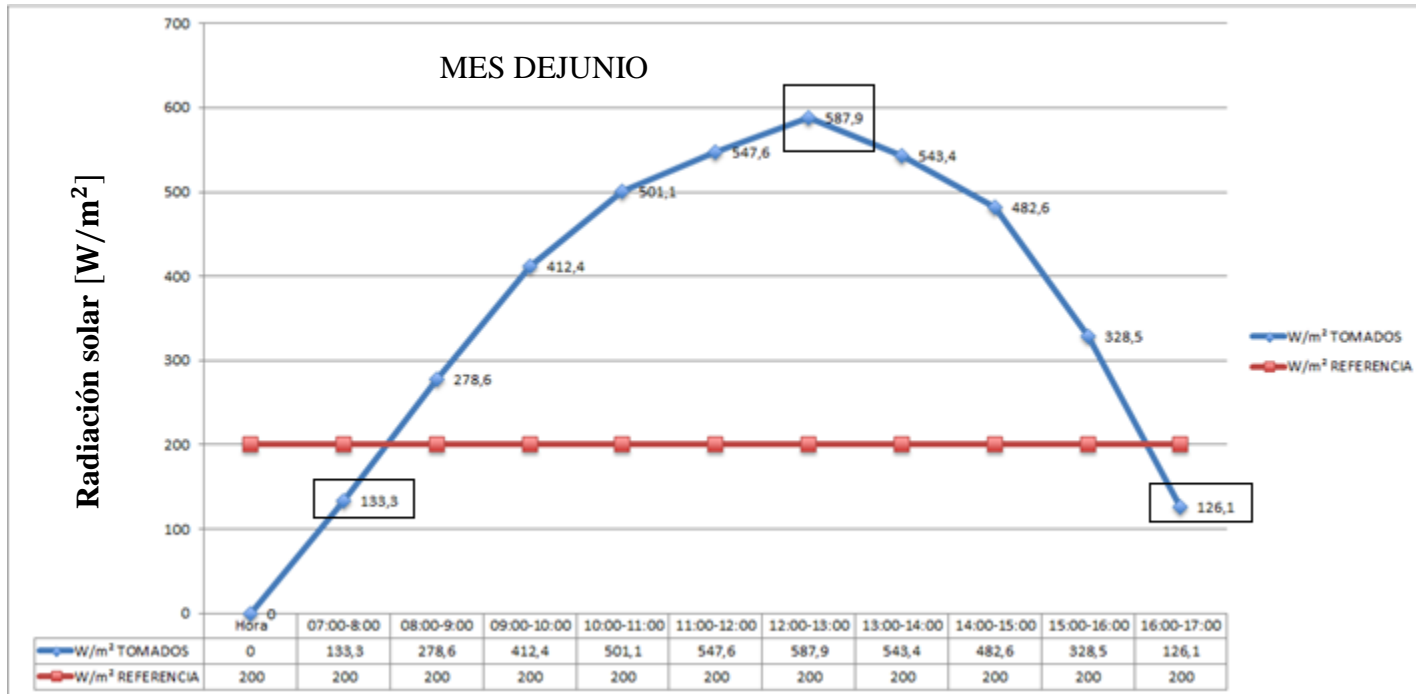


Figura 41: Radiación solar vs tiempo en el mes de Junio
Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

De la Figura 41 se determina que de 07:00 a 08:00 y de 16:00 a 17:00 el valor está por debajo de los 200 W/m² en un 33,35% y 36,95% respectivamente, se observa que de 08:00 a 16:00 el valor está sobre este valor variando entre un 39,3% a un 193,95% con respecto al mínimo, siendo de 12:00 a 13:00 el valor máximo de captación; lo cual indica que en este periodo de tiempo se puede generar energía eléctrica fotovoltaica.

3.2.2. Análisis del promedio de datos diario de radiación solar incidente en el sitio de estudio, mes Junio

El promedio diario se calculó con las medidas promedio de radiación solar adquiridas cada 30 minutos desde 07:00 hasta las 17:00 almacenadas en el historial, para obtener un valor de radiación solar para cada día del mes en estudio (Ver Tabla 23).

Tabla 23: Promedio diario de la radiación solar media, mes de Junio

N°	Fecha	Mediciones		N°	Fecha	Mediciones	
		Junio	[W/m ²]			Junio	[W/m ²]
1	01/06/2015	3322,5		16	16/06/2015	5426	
2	02/06/2015	5018		17	17/06/2015	3699,5	
3	03/06/2015	3070		18	18/06/2015	5947	
4	04/06/2015	3270		19	19/06/2015	2664	
5	05/06/2015	2942,5		20	20/06/2015	5355,5	
6	06/06/2015	4449		21	21/06/2015	2695	
7	07/06/2015	4679,5		22	22/06/2015	3609,5	
8	08/06/2015	3087,5		23	23/06/2015	4654,5	
9	09/06/2015	3122,5		24	24/06/2015	3890,5	
10	10/06/2015	3612		25	25/06/2015	4446,5	
11	11/06/2015	3990		26	26/06/2015	2628,5	
12	12/06/2015	3528,5		27	27/06/2015	2173,5	
13	13/06/2015	4812		28	28/06/2015	5291	
14	14/06/2015	5824,5		29	29/06/2015	3707	
15	15/06/2015	3438,5		30	30/06/2015	3891	
PROMEDIO DIARIO						3942 W/m²	
ATLAS SOLAR ECUADOR						4092 W/m²	

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

De la Tabla 23 se puede identificar que el día 18 es el de mayor incidencia de radiación solar, supera en un 45,33% el valor de referencia de radiación solar del atlas solar del Ecuador, lo que indica que se puede implementar paneles fotovoltaicos para la conversión de energía solar en energía eléctrica.

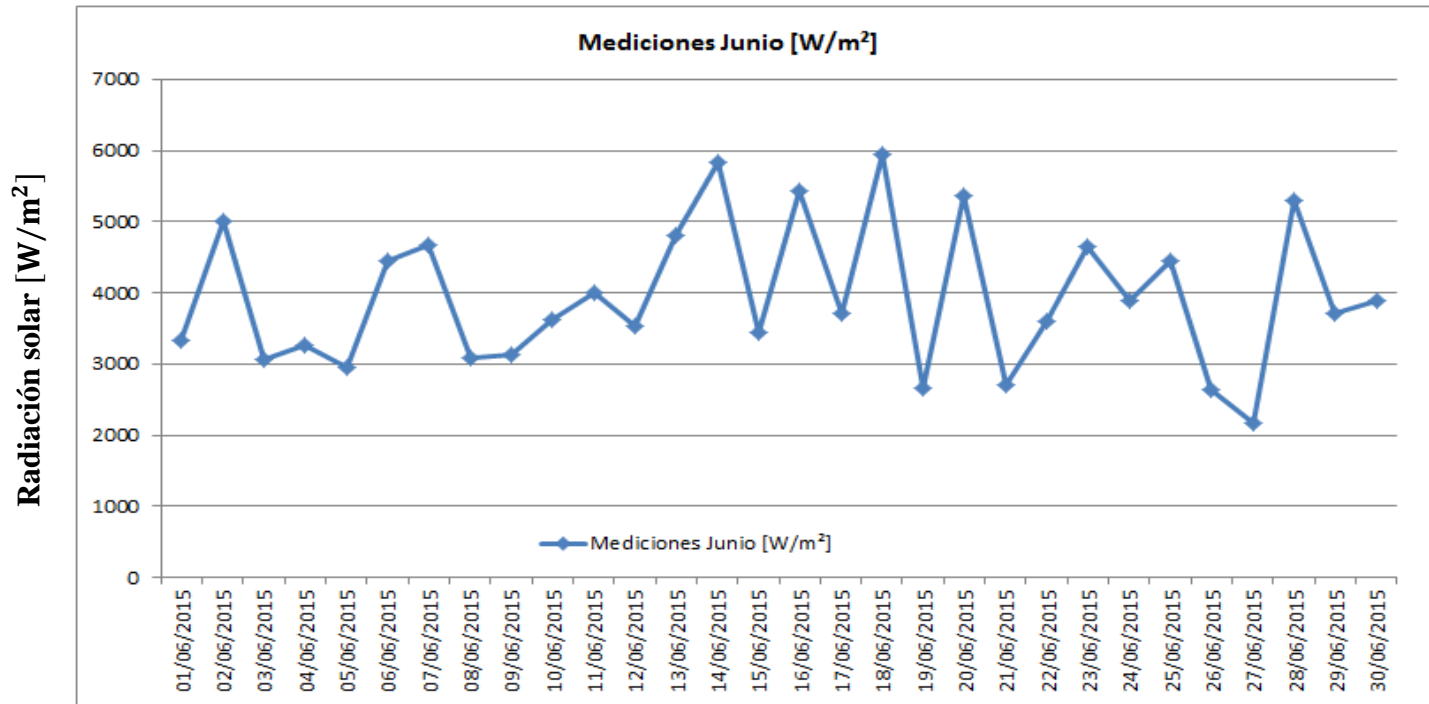


Figura 42: Promedio diario de la radiación solar media, mes de Junio
Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

En la Figura 42 se puede observar que el promedio de radiación solar diario (W/m^2), se encuentra en constante variación durante el mes, estas variaciones dependen del estado climático de cada día donde se presentan cambios bruscos de un día al otro como los observados en los días 19 y 21 de Junio; para los días nublados o con lluvia el promedio de radiación solar diario disminuye del valor máximo hasta en un 55,20%.

3.2.3. Análisis para cuatro diferentes días, mes Junio

Para el análisis de los cuatro días se seleccionaron las mediciones de radiación solar de dos días nublados y dos días despejados, para lo cual se identificó de la Tabla 24 los días 19, 21 nublados y los días 14 y 18 de Junio días despejados y con mayor incidencia de radiación solar, tomándose las horas de mayor captación, desde las 08:00 hasta las 16:00.

Tabla 24: Promedio de radiación solar media para los días 14, 18, 19 y 21 del mes de Junio

HORA / FECHA	Días nublados		Días soleados		PROMEDIO [W/m ²]
	19/06/2015	21/06/2015	14/06/2015	18/06/2015	
08:00-09:00	199,5	296,5	453	431	278,6
09:00-10:00	273	353,5	624	630,5	412,4
10:00-11:00	361	296,5	817,5	780	501,1
11:00-12:00	299,5	661,5	889,5	887	547,6
12:00-13:00	314	392,5	931,5	748	587,9
13:00-14:00	326,5	255	898	856,5	543,4
14:00-15:00	282,5	129,5	652	761	482,6
15:00-16:00	356,5	124,5	295	522	328,5
RADIACIÓN SOLAR DIARIA	2412,5	2509,5	5560,5	5616	3682,1

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

De la Tabla 24 se puede identificar que el valor de radiación solar esta sobre los 200 W/m², excepto para las 08:00 a 09:00 del 19 de este mes que está a un 0,25% por debajo del mínimo de generación, para analizar las curvas (Ver Figura 43) se calculó la desviación estándar de cada una, determinándose la dispersión en las medidas de radiación solar.

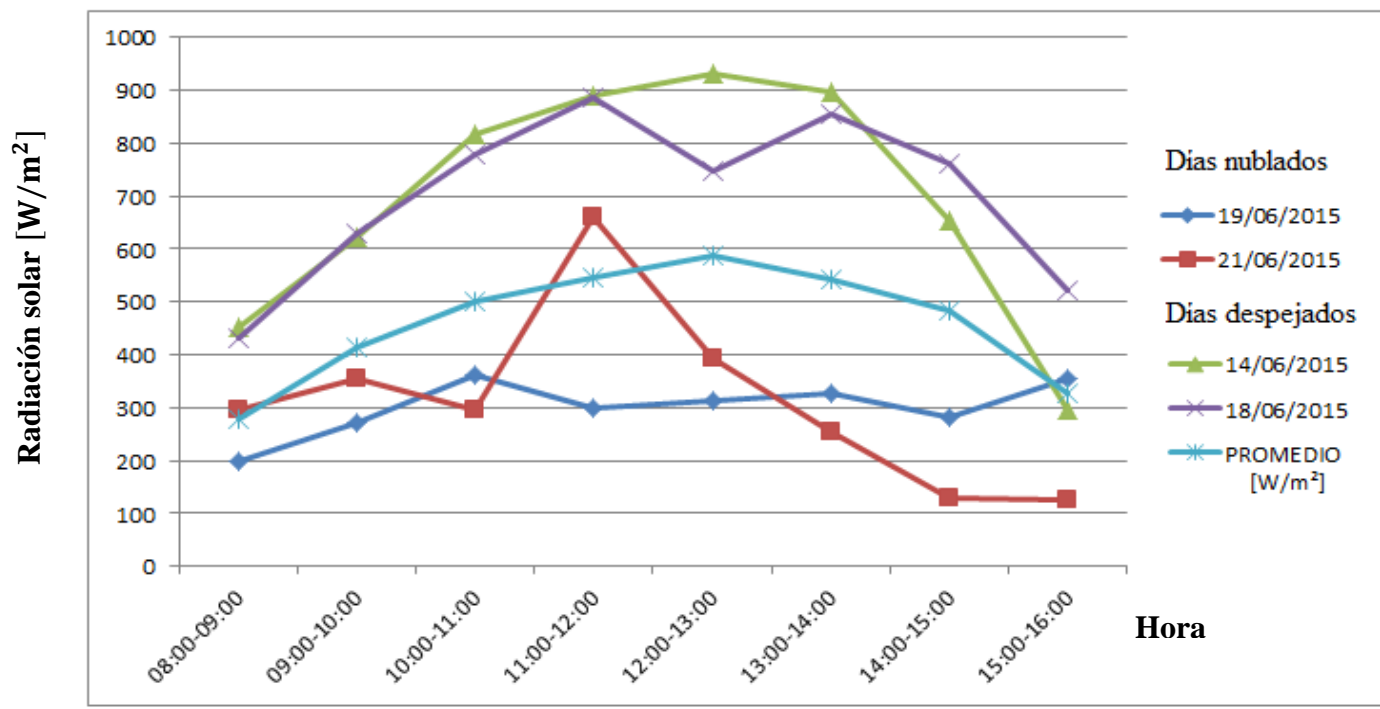


Figura 43: Promedio de radiación solar media para los días 14, 18, 19 y 21 del mes de Junio
Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

La menor desviación encontrada se encuentra en el día 19 de Junio que estuvo despejado; mientras que la desviación mayor se encuentra en el día 14 de Junio que fue un día totalmente soleado, así se determina que si el día se encuentra despejado las medidas de radiación solar obtenidas variarán en menor razón en relación al promedio.

Tabla 25: Desviación estándar de radiación solar media para los días 14, 18, 19 y 21 del mes de Junio

HORA / FECHA	Desviación estándar			
	19/06/2015	21/06/2015	14/06/2015	18/06/2015
08:00-09:00	55,920	12,669	123,331	107,775
09:00-10:00	98,559	41,637	149,636	154,232
10:00-11:00	99,089	144,698	223,705	197,189
11:00-12:00	175,457	80,516	241,736	239,968
12:00-13:00	193,665	138,157	242,974	113,220
13:00-14:00	153,371	203,930	250,740	221,395
14:00-15:00	141,492	249,679	119,784	196,859
15:00-16:00	19,787	144,262	23,700	136,813

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Se determina que en un día despejado los paneles captan radiación solar con menores variaciones debido a que la radiación obtenida en su mayoría parte es directa, mientras que en un día soleado los paneles captan valores de radiación solar altos pudiéndose aprovechar al máximo la energía solar para convertirla en otra forma de energía.

3.3 Análisis de la radiación solar, mes Julio

3.3.1. Análisis del promedio de datos por horas de radiación solar incidente en el sitio de estudio, mes Julio

En la Tabla 26 se muestra el comportamiento de la radiación solar media que transcurre en función del tiempo para el mes de Junio, en la Figura 44 se muestra la curva de tendencia de esta en función del tiempo. (Ver Anexo F)

Tabla 26: Comportamiento de la radiación solar media, mes de Julio

N°	Hora	JULIO W/m² MEDIOS MEDIDOS
1	07:00-08:00	117,7
2	08:00-09:00	257,4
3	09:00-10:00	383,1
4	10:00-11:00	490,8
5	11:00-12:00	565,5
6	12:00-13:00	585,1
7	13:00-14:00	576,0
8	14:00-15:00	498,2
9	15:00-16:00	386,9
10	16:00-17:00	179,5
PROMEDIO DIARIO		404,00 W/m²
PROMEDIO MENSUAL		4040 W/m²
ATLAS SOLAR ECUADOR		4026 W/m²

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Como se puede observar en la Tabla 26 el valor promedio diario promedio medio de radiación solar es superior a los 200 W/m², superando en un 102% al mínimo de generación lo que indica que se puede implementar paneles solares en la vivienda para producción de energía eléctrica, el promedio de error medido con relación al del atlas solar es de un +0,35% lo que está dentro del error aceptable del equipo de $\pm 5\%$ aceptable.

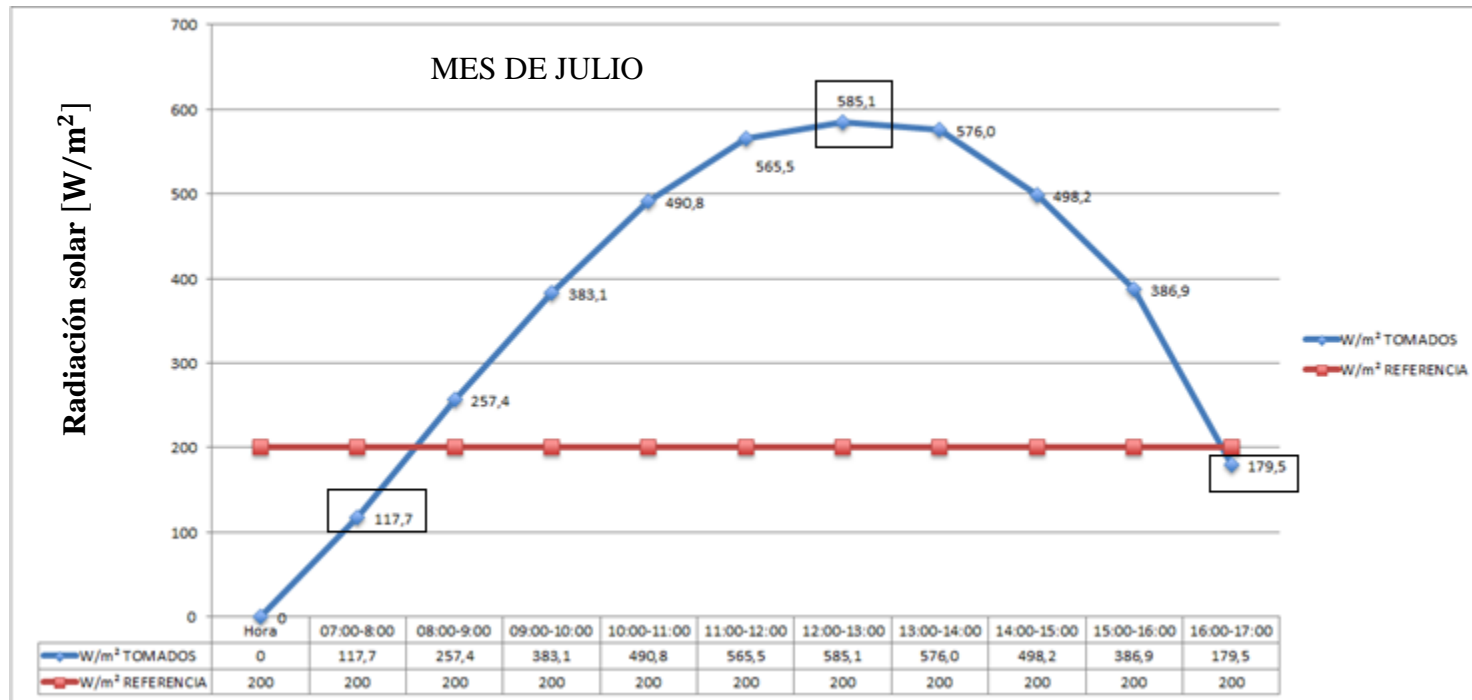


Figura 44: Radiación solar vs tiempo en el mes de Julio
Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

De la Figura 44 se determina que de 07:00 a 08:00 y de 16:00 a 17:00 el valor está por debajo de los 200 W/m^2 en un 41,15% y 10,25% respectivamente, se observa que de 08:00 a 16:00 el valor está sobre este valor variando entre un 28,7% a un 192,55% con respecto al mínimo, siendo de 12:00 a 13:00 el valor máximo de captación; lo cual indica que en este periodo de tiempo se puede aprovechar la energía solar.

3.3.2. Análisis del promedio de datos diario de radiación solar incidente en el sitio de estudio, mes Julio

El promedio diario se calculó con las medidas promedio de radiación solar adquiridas cada 30 minutos desde 07:00 hasta las 17:00 almacenadas en el historial, para obtener un valor de radiación solar para cada día del mes en estudio (Ver Tabla 27).

Tabla 27: Promedio diario de la radiación solar media, mes de Julio

N°	Fecha	Mediciones		N°	Fecha	Mediciones	
		Julio	[W/m ²]			Julio	[W/m ²]
1	01/07/2015	4222		17	17/07/2015	4549,5	
2	02/07/2015	4249,5		18	18/07/2015	3272,5	
3	03/07/2015	6024,5		19	19/07/2015	3767,5	
4	04/07/2015	3648,5		20	20/07/2015	3917,5	
5	05/07/2015	3713,5		21	21/07/2015	4001,5	
6	06/07/2015	3525,5		22	22/07/2015	3862	
7	07/07/2015	3118,5		23	23/07/2015	4199,5	
8	08/07/2015	3894		24	24/07/2015	5674,5	
9	09/07/2015	4052		25	25/07/2015	4472	
10	10/07/2015	4796		26	26/07/2015	4560,5	
11	11/07/2015	3552		27	27/07/2015	4403	
12	12/07/2015	3635		28	28/07/2015	3959	
13	13/07/2015	6333		29	29/07/2015	3650,5	
14	14/07/2015	2454,5		30	30/07/2015	3869,5	
15	15/07/2015	2646,5		31	31/07/2015	3651,5	
16	16/07/2015	3566		PROMEDIO DIARIO		4040 W/m²	
						ATLAS SOLAR ECUADOR	4026 W/m²

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

De la Tabla 27 se puede identificar que el día 13 es el de mayor incidencia de radiación solar, supera en un 57,30% el valor de referencia de radiación solar del atlas solar del Ecuador, lo que indica que se puede implementar paneles fotovoltaicos para la conversión de energía solar en energía eléctrica.

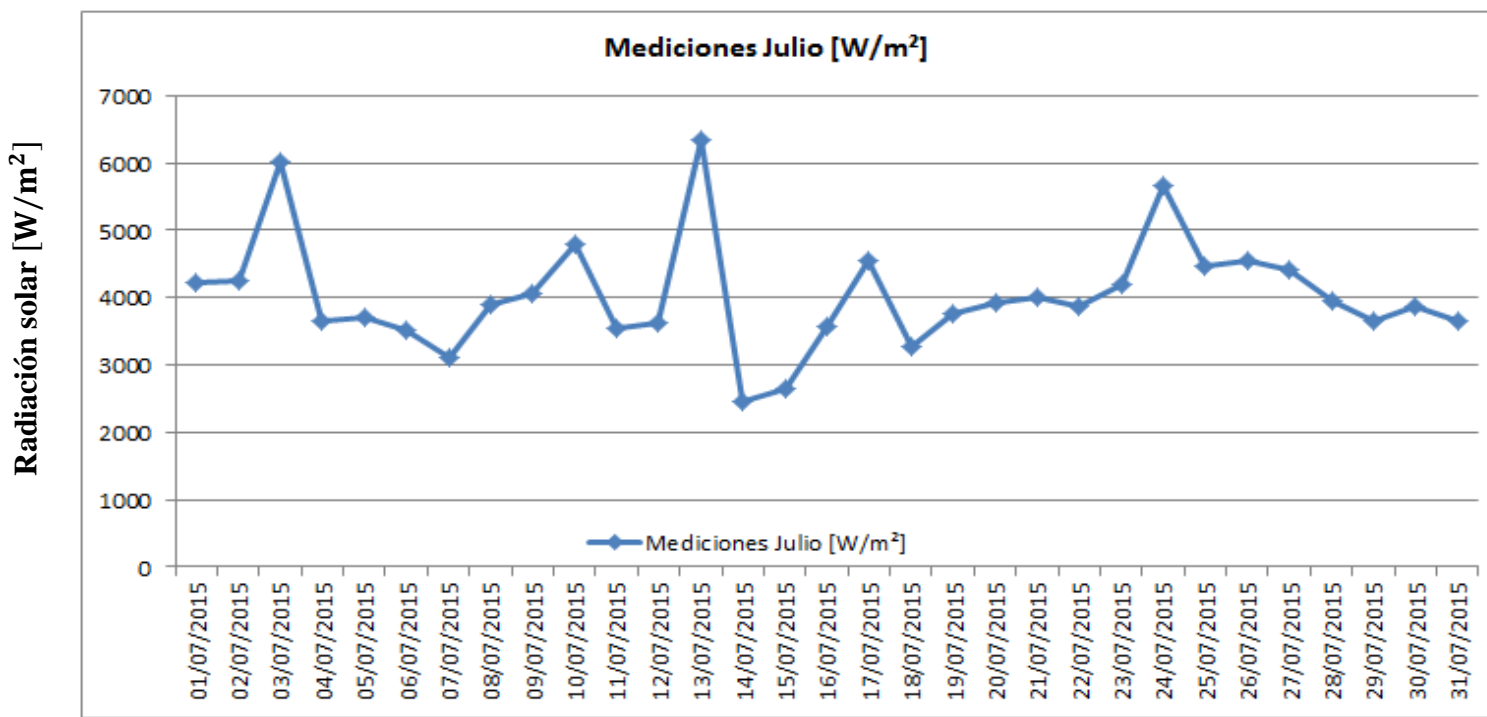


Figura 45: Promedio diario de la radiación solar media, mes de Julio
Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

En la Figura 45 se puede observar que el promedio de radiación solar diario (W/m^2), se encuentra en constante variación durante el mes, estas variaciones dependen del estado climático de cada día donde se presentan cambios bruscos de un día al otro como los observados en los días 14 y 15 de Julio; para los días nublados o con lluvia el promedio de radiación solar diario disminuye del valor máximo hasta en un 61,24%.

3.3.3. Análisis para cuatro diferentes días, mes Julio

Para el análisis de los cuatro días se seleccionaron las mediciones de radiación solar de dos días nublados y dos días despejados, para lo cual se identificó de la Tabla 28 los días 14, 15 nublados y los días 03 y 13 de Julio días despejados y con mayor incidencia de radiación solar, tomándose las horas de mayor captación, desde las 08:00 hasta las 16:00.

Tabla 28: Promedio de radiación solar media para los días 03, 13, 14 y 15 del mes de Julio

HORA / FECHA	Días nublados		Días soleados		PROMEDIO [W/m ²]
	14/07/2015	15/07/2015	03/07/2015	13/07/2015	
08:00-09:00	209	271	488,5	375,5	257,4
09:00-10:00	235	416,5	680,5	650,5	383,1
10:00-11:00	293,5	284,5	811	812	490,8
11:00-12:00	431,5	233,5	890	907,5	565,5
12:00-13:00	431	308,5	864	1004	585,1
13:00-14:00	346,5	316	745,5	891	576,0
14:00-15:00	160	295	704,5	715	498,2
15:00-16:00	130,5	272,5	492,5	648,5	386,9
RADIACIÓN SOLAR DIARIA	2237	2397,5	5676,5	6004	3742,8

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

De la Tabla 28 se puede identificar que el valor de radiación solar esta sobre los 200 W/m², excepto para las 14:00 a 15:00 del 14 de este mes que está a un 20% por debajo del mínimo de generación, para analizar las curvas (Ver Figura 46) se calculó la desviación estándar de cada una, determinándose la dispersión en las medidas de radiación solar.

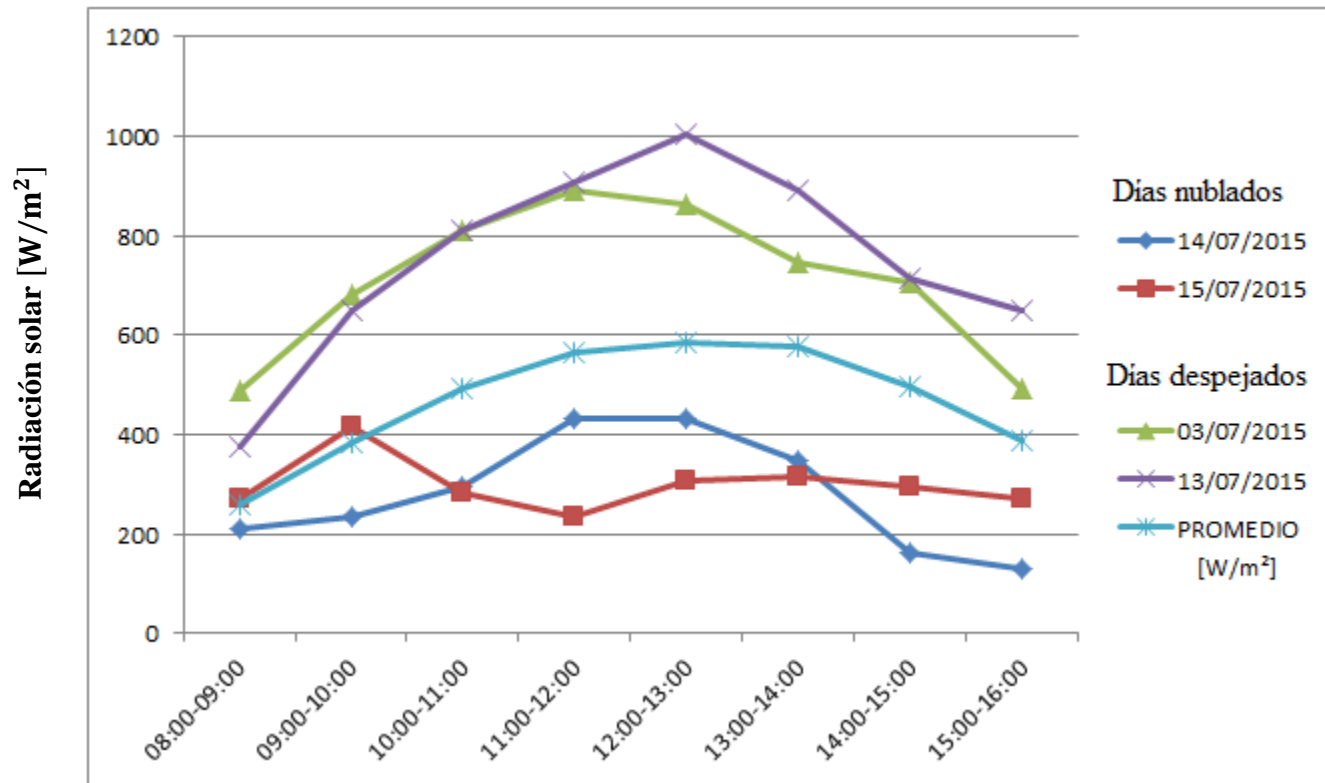


Figura 46: Promedio de radiación solar media para los días 03, 13, 14 y 15 del mes de Julio
Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

La menor desviación encontrada se encuentra en el día 15 de Julio que estuvo despejado; mientras que la desviación mayor se encuentra en el día 13 de Julio que fue un día totalmente soleado, así se determina que si el día se encuentra despejado las medidas de radiación solar obtenidas variarán en menor razón en relación al promedio.

Tabla 29: Desviación estándar de radiación solar media para los días 14, 18, 19 y 21 del mes de Julio

HORA / FECHA	Desviación estándar			
	14/07/2015	15/07/2015	03/07/2015	13/07/2015
08:00-09:00	34,226	9,614	163,410	83,507
09:00-10:00	104,697	23,642	210,319	189,105
10:00-11:00	139,483	145,846	226,445	227,152
11:00-12:00	94,718	234,725	229,490	241,865
12:00-13:00	108,940	195,561	197,237	296,232
13:00-14:00	162,247	183,814	119,889	222,773
14:00-15:00	239,150	143,691	145,869	153,294
15:00-16:00	181,327	80,918	74,645	184,954

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Se determina que en un día despejado los paneles captan radiación solar con menores variaciones debido a que la radiación obtenida en su mayoría parte es directa, mientras que en un día soleado los paneles captan valores de radiación solar altos pudiéndose aprovechar al máximo la energía solar para convertirla en otra forma de energía.

3.4 Comparación de los valores de radiación solar en los meses de Mayo a Julio

Con los datos de radiación solar registrados por medio del piranómetro APOGEE MP-200 y descargados en la PC, se procedió a comparar los valores medios del mes de Mayo a Julio; estos se muestran en la Tabla 30, tomados de las Tablas 18, 22 y 26 se muestran los valores promedios diarios registrados.

Tabla 30: Radiación solar media en los meses de Mayo, Junio y Julio

N °	Hora	MAYO W/m² MEDIDOS	JUNIO W/m² MEDIDOS	JULIO W/m² MEDIDOS
1	07:00-8:00	172,0	133,3	117,7
2	08:00-9:00	333,0	278,6	257,4
3	09:00-10:00	433,4	412,4	383,1
4	10:00-11:00	523,2	501,1	490,8
5	11:00-12:00	474,4	547,6	565,5
6	12:00-13:00	528,3	587,9	585,1
7	13:00-14:00	536,3	543,4	576,0
8	14:00-15:00	460,9	482,6	498,2
9	15:00-16:00	362,3	328,5	386,9
10	16:00-17:00	155,5	126,1	179,5
PROMEDIO DIARIO		397,92 W/m²	394,15 W/m²	404,00 W/m²
PROMEDIO MENSUAL		3979 W/m²	3942 W/m²	4040 W/m²
ATLAS SOLAR ECUADOR		4040 W/m²	4092 W/m²	4026 W/m²

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

De la Tabla 30 se observa que durante los meses de medición, se observa que la mínima radiación registrada es en los periodos de 07:00 a 08:00 y de 16:00 a 17:00 teniendo valores debajo de los 200 W/m², magnitud que se tomó como límite inferior para determinar el tiempo de experimentación puesto que los valores menores suponen cielos completamente nublados.

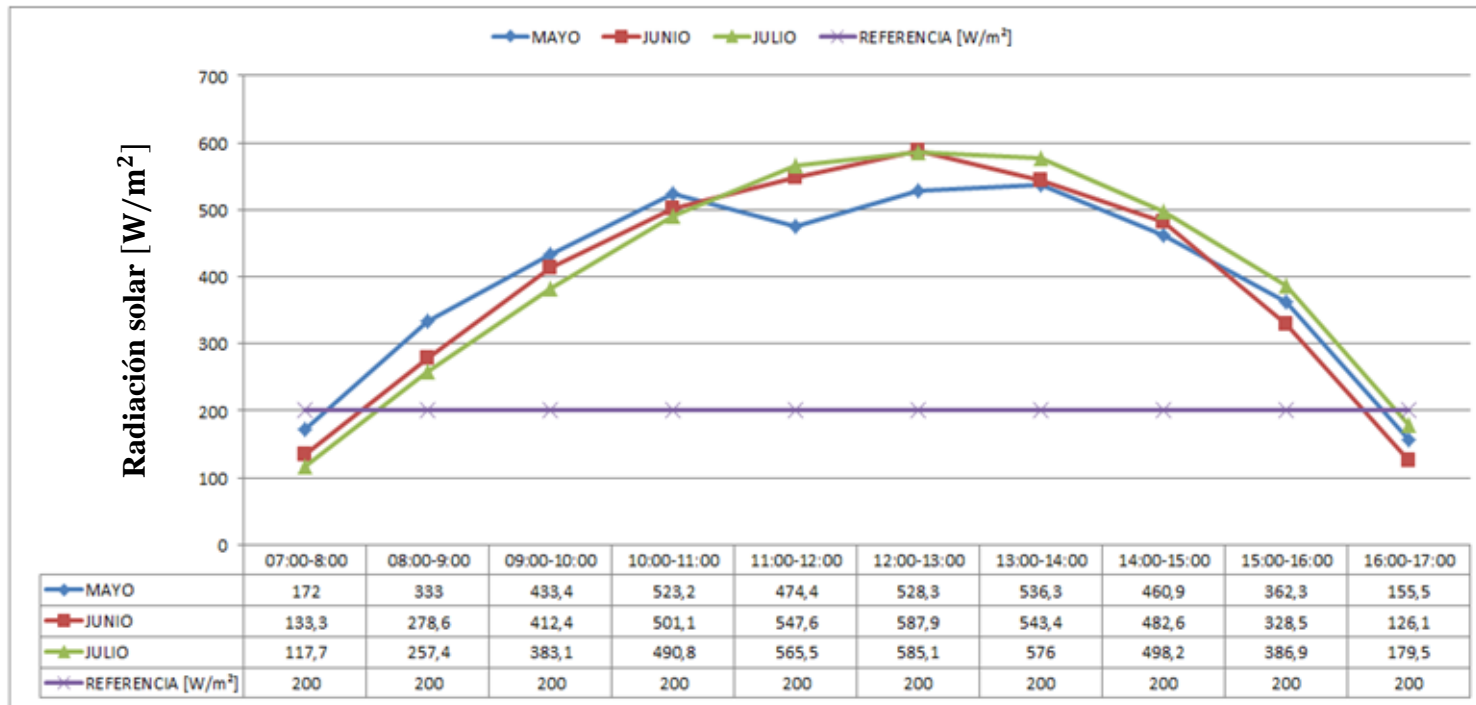


Figura 47: Radiación solar media en los meses de Mayo, Junio y Julio
Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

De la Figura 47 se observan que los valores superiores a 200 W/m^2 son de 08:00 a 16:00, por lo que se escoge este intervalo como periodo de experimentación. Se aprecia además que los valores máximos de radiación registrada en los tres meses fueron de $536,3$; $587,9$ y $585,1 \text{ W/m}^2$, obtenidos a medio día.

3.5. Cálculo de la radiación sobre superficie inclinada y horas solares.

Se utiliza la ecuación 4 de la página 68, k se obtiene de la Tabla 13 de la página 69 y \bar{H} de las mediciones de los meses de Mayo (3979 Wh/m²), Junio (3942 Wh/m²), y Julio (4040 Wh/m²), tomados de las Tablas 18, 22 y 26.

$$\bar{H}_T = k * \bar{H} \text{ (Wh/m}^2 \text{ día)}$$

$$\bar{H}_T = k * \bar{H} \text{ (Wh/m}^2 \text{ día)} \quad (4)$$

Dónde:

\bar{H}_T = Radiación sobre una superficie inclinada (Wh/m²/día).

\bar{H} = Es la media mensual diaria de radiación sobre una superficie horizontal

k = Se escoge de Tablas, (Ver Tabla 13 p. 69)

Las horas sol día según la superficie inclina k se muestran en la Tabla 31.

Tabla 31: Horas de sol al día según la superficie inclinada k

MES	H (Wh/m ²) Medidos	HT (Wh/m ²) Atlas Solar	k Inclinación 10 ⁰	HS (h) día Medidos	HS (h) día Atlas Solar	% de Desviación
Mayo	3979	4040	1,04	4,138	4,201	-1,510
Junio	3942	4092	1,04	4,099	4,255	-3,666
Julio	4040	4026	1,03	4,161	4,146	0,348

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

*El valor de HS se calculó con la ecuación 5 de la página 69.

Se determina que la desviación entre los datos medidos y los datos del atlas solar del Ecuador están entre $\pm 5\%$ de precisión del instrumento lo que indica que los datos para el tiempo de estudio no han variado significativamente y tomar estos para el diseño de un sistema fotovoltaico en la zona de estudio.

El paso siguiente consiste en comparar dónde se producen las máximas radiaciones en los tres meses antes indicados, se establece el ángulo más idóneo que es del mes más desfavorable Julio 10° y una radiación media.

Tabla 32: Número de horas de sol al día según la superficie inclinada **k**

HORA/MES	MAYO (W/m²) Medidos	JUNIO (W/m²) Medidos	JULIO (W/m²) Medidos	MEDIA (W/m²)	k Inclinación 10⁰	RADIACIÓN INCIDENTE (W/m²)
08:00-9:00	333	278,6	257,4	289,667	1,03	298,357
09:00-10:00	433,4	412,4	383,1	409,633	1,03	421,922
10:00-11:00	523,2	501,1	490,8	505,033	1,03	520,184
11:00-12:00	474,4	547,6	565,5	529,167	1,03	545,042
12:00-13:00	528,3	587,9	585,1	567,100	1,03	584,113
13:00-14:00	536,3	543,4	576	551,900	1,03	568,457
14:00-15:00	460,9	482,6	498,2	480,567	1,03	494,984
15:00-16:00	362,3	328,5	386,9	359,233	1,03	370,010

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

De la Tabla 32 se observa que los valores del mes de Junio superan la media y los meses de Mayo y Julio presenta una desviación del 5.2%, por lo cual estos datos de radiación son utilizados, comprobando que el déficit producido en estos meses puede ser absorbido por la batería de acumuladores.

3.6. Análisis de la carga

El análisis de la potencia consumida por la carga de la vivienda se realizará en las horas que el panel fotovoltaico convertirá energía solar en energía eléctrica (Ver Anexo B)

3.6.1. Análisis del promedio de datos por horas de la carga línea uno (L1)

El promedio para la línea uno (L1) se calculó tomando los valores de potencia consumida cada hora (Ver anexos B1 y B2), con el analizador de carga FLUKE 1735 las horas consideradas fueron de 08:00 a 16:00 tiempo en que los paneles pueden captar energía solar para transformarla en energía eléctrica.

Tabla 33: Potencia consumida vatios- hora (Wh) en función del tiempo 08:00 a 16:00 de la línea uno (L1)

HORA / FECHA	VIERNES 03-07-2015	SABADO 04-07-2015	DOMINGO 05-07-2015	LUNES 06-07-2015	MARTES 07-07-2015	MIERCOLES 08-07-2015	PROMEDIO [Wh]
08:00 - 09:00	32,08	113,000	113,917	35,500	66,083	56,750	69,555
09:00 - 10:00	38,27	148,750	42,667	122,417	59,083	60,833	78,670
10:00 - 11:00	61,70	144,167	176,083	77,750	55,333	31,000	91,006
11:00 - 12:00	62,83	144,17	64,58	65,17	56,500	40,667	72,320
12:00 - 13:00	40,78	161,833	122,167	65,167	109,333	63,333	93,769
13:00 - 14:00	122,68	48,333	75,667	39,667	72,000	95,333	75,613
14:00 - 15:00	52,44	39,667	74,333	63,333	31,833	92,500	59,018
15:00 - 16:00	53,98	63,750	65,583	66,417	56,667	56,500	60,483
PROMEDIO	58,095	107,959	91,875	66,928	63,354	62,115	75,054

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

En la Tabla 33 se puede observar que el consumo máximo de energía de la carga es de 12:00 a 13:00 superando en un 24,94% el valor promedio, para lo cual se tomará este valor como crítico a la hora de diseñar el sistema fotovoltaico.

3.6.2. Análisis del promedio de datos por horas de la carga línea dos (L2)

El promedio para la línea dos (L2) se calculó tomando los valores de potencia consumida cada hora (Ver anexos B3 y B4), con el analizador de carga FLUKE 1735 las horas consideradas fueron de 08:00 a 16:00 tiempo en que los paneles pueden captar energía solar para transformarla en energía eléctrica.

Tabla 34: Potencia consumida vatios- hora (Wh) en función del tiempo 08:00 a 16:00 de la línea dos (L2)

HORA / FECHA	VIERNES 03-07-2015	SABADO 04-07-2015	DOMINGO 05-07-2015	LUNES 06-07-2015	MARTES 07-07-2015	MIERCOLES 08-07-2015	PROMEDIO [Wh]
08:00 - 09:00	26,00	16,417	16,583	68,333	27,000	41,917	32,708
09:00 - 10:00	78,92	16,917	37,333	16,333	39,333	28,167	36,167
10:00 - 11:00	17,37	15,000	38,250	15,000	18,000	115,667	36,548
11:00 - 12:00	14,33	15,00	22,42	15,00	18,000	110,083	32,472
12:00 - 13:00	14,58	15,000	83,917	15,000	41,833	23,000	32,222
13:00 - 14:00	14,67	56,833	24,000	67,333	57,750	38,583	43,195
14:00 - 15:00	14,51	67,917	56,167	68,250	88,250	60,667	59,294
15:00 - 16:00	84,37	66,750	83,500	50,250	72,500	38,000	65,895
PROMEDIO	33,094	33,729	45,271	39,437	45,333	57,011	42,313

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

En la Tabla 34 se puede observar que el consumo máximo de energía de la carga es de 15:00 a 16:00 superando en un 55,73% el valor promedio, para lo cual se tomará este valor como crítico a la hora de diseñar y seleccionar los elementos del sistema fotovoltaico.

3.6.3. Análisis del promedio de datos por horas de la carga de la línea uno (L1) y línea dos (L2)

El promedio para las líneas uno y dos (L1-L2) se calculó tomando los valores de potencia consumida cada hora (Ver anexo B), con el analizador de carga FLUKE 1735 las horas consideradas fueron de 08:00 a 16:00 tiempo en que los paneles pueden captar energía solar para transformarla en energía eléctrica.

Tabla 35: Potencia consumida vatios- hora (Wh) en función del tiempo 08:00 a 16:00 de la línea uno (L1) y la línea dos (L2)

HORA / FECHA	VIERNES 03-07-2015	SABADO 04-07-2015	DOMINGO 05-07-2015	LUNES 06-07-2015	MARTES 07-07-2015	MIERCOLES 08-07-2015	PROMEDIO [Wh]
08:00 - 09:00	58,08	129,417	130,5	103,833	93,083	98,667	102,263
09:00 - 10:00	117,19	165,667	80	138,75	98,416	89	114,837
10:00 - 11:00	79,07	159,167	214,333	92,75	73,333	146,667	127,553
11:00 - 12:00	77,16	159,17	87	80,17	74,5	150,75	104,792
12:00 - 13:00	55,36	176,833	206,084	80,167	151,166	86,333	125,991
13:00 - 14:00	137,35	105,166	99,667	107	129,75	133,916	118,808
14:00 - 15:00	66,95	107,584	130,5	131,583	120,083	153,167	118,311
15:00 - 16:00	138,35	130,5	149,083	116,667	129,167	94,5	126,378
PROMEDIO	91,189	141,688	137,146	106,365	108,687	119,125	117,367

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

En la Tabla 35 se puede observar que el consumo máximo de energía de la carga es de 10:00 a 11:00 superando en un 8,67% el valor promedio, para lo cual se tomará este valor como crítico a la hora de diseñar y seleccionar los elementos del sistema fotovoltaico.

Encuestas y entrevistas

El barrio María de la ciudad de Latacunga cuenta con 5 viviendas con lo cual enmarca la población en estudio para la aplicación de la técnica de encuesta al 100%, la encuesta se enfocará a personas adultas cabezas de hogar y una entrevista no estructurada a el propietario de la vivienda y a un experto en el área de sistemas fotovoltaicos.

Encuesta a los moradores del barrio María de la ciudad de Latacunga.

Pregunta 1: ¿Cuántos miembros familiares viven en su casa?

Tabla 36: Tabulación del número de miembros por casa

Opciones	Frecuencia	Porcentaje
1 integrante	0	0%
2 integrantes	0	0%
3 integrantes	0	0%
4 integrantes	4	80%
5 integrantes	1	20%
Otro	0	0%
Total	5	100%

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Fuente: Jefes de Familia del Barrio María

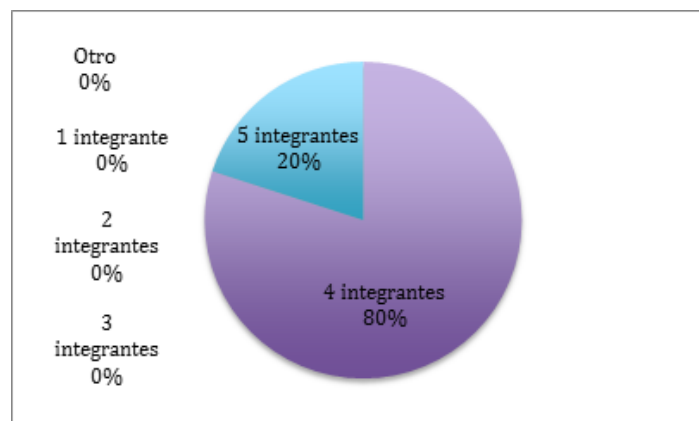


Figura 48: Tabulación del número de miembros por casa

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Fuente: Jefes de Familia del Barrio María

Análisis de resultados obtenidos en la Pregunta 1:

Se tiene como resultado que en cada vivienda o núcleo familiar residen algunos miembros es así que se tiene que el 80 % de los encuestados viven en un grupo de 4 personas por vivienda, el 20 % viven con 5 integrantes en su casa.

Pregunta 2: **¿Conoce usted acerca de las energías renovables?**

Tabla 37: Tabulación del conocimiento de energías renovables

Opciones	Frecuencia	Porcentaje
Si	5	100%
No	0	0%
Total	5	100%

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Fuente: Jefes de Familia del Barrio María

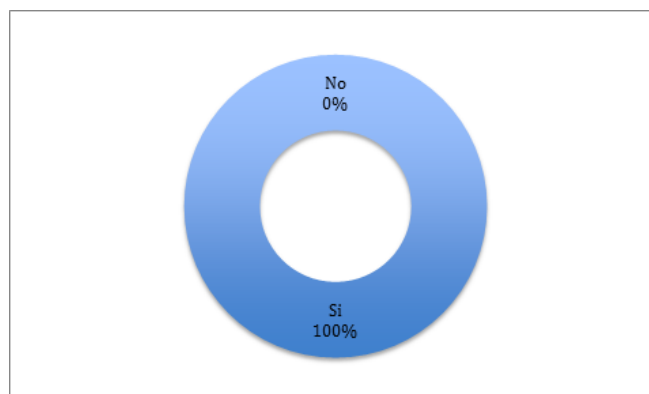


Figura 49: Tabulación del conocimiento de energías renovables

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Fuente: Jefes de Familia del Barrio María

Análisis de resultados obtenidos en la Pregunta 2:

Al realizar esta pregunta se detecta que los 5 jefes de familia (viviendas) conocen que acerca de las energías renovables, que son el 100% de la viviendas.

Pregunta 3: ¿Qué tipo de energía renovable conoce a parte de una central hidroeléctrica?

Tabla 38: Tabulación del tipo de energía renovable a parte de una central hidroeléctrica

Opciones	Frecuencia	Porcentaje
Energía solar	4	80%
Energía eólica	1	20%
Desconoce	0	0%
Total	5	100%

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Fuente: Jefes de Familia del Barrio María

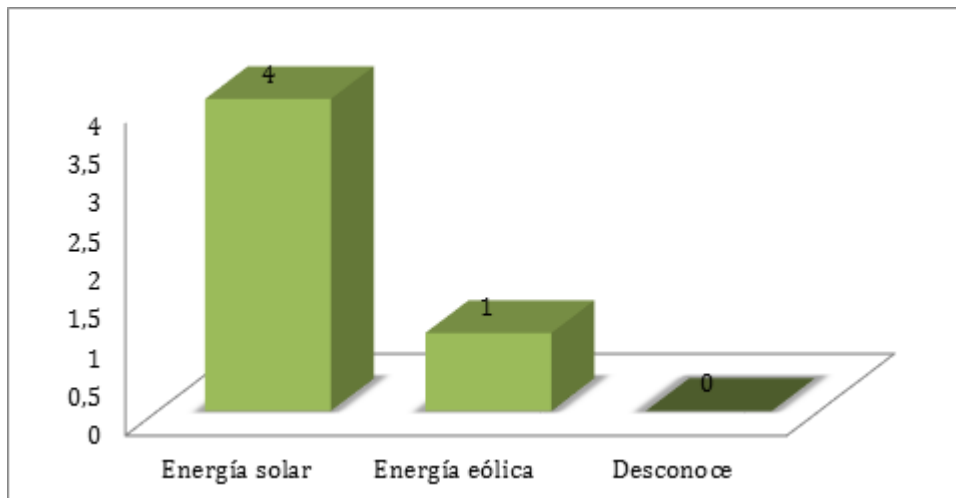


Figura 50: Tabulación del tipo de energía renovable a parte de una central hidroeléctrica

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Fuente: Jefes de Familia del Barrio María

Análisis de resultados obtenidos en la Pregunta 3:

Al realizar esta pregunta se detecta que de los 5 jefes de familia (viviendas) conocen que aparte de la energía renovable producida por una central hidráulica para producir energía eléctrica, existe energía solar que es un 80% y un 20% indica que conoce que existe energía eólica para producir energía eléctrica.

Pregunta 4: ¿Cuál es su consumo mensual en kWh de acuerdo a la planilla?

Tabla 39: Tabulación del consumo mensual en kWh

Opciones	Frecuencia	Porcentaje
60 – 90 kWh	0	0%
90 – 120 kWh	4	80%
120 – 150 kWh	1	20%
Otro	0	0%
Total	5	100%

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Fuente: Jefes de Familia del Barrio María

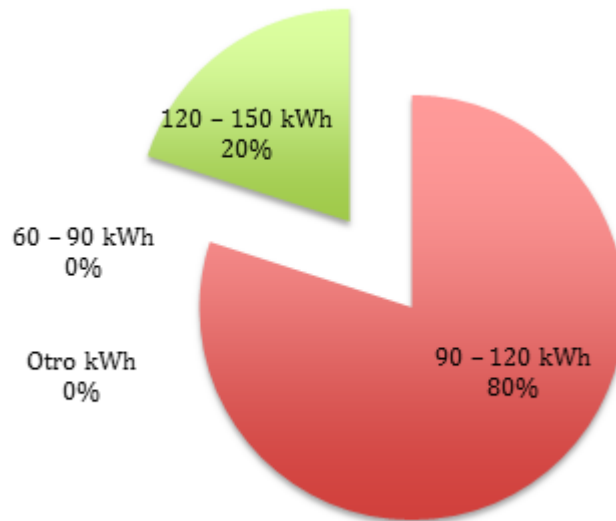


Figura 51: Tabulación del consumo mensual en kWh

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Fuente: Jefes de Familia del Barrio María

Análisis de resultados obtenidos en la Pregunta 4:

Se tiene como resultado que en cada vivienda o núcleo familiar consumen entre 90 a 120 kilovatios hora (kWh) mensualmente que representa el 80 % de los encuestados mientras que el 20 % consumen entre 120 a 150 kilovatios hora (kWh).

Pregunta 5: ¿Qué tipo de cocina utiliza para cocer los alimentos?

Tabla 40: Tabulación del tipo de cocina para cocinar los alimentos

Opciones	Frecuencia	Porcentaje
Cocina de inducción	0	0%
Cocina a gas	5	100%
Otro	0	0%
Total	5	100%

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Fuente: Jefes de Familia del Barrio María

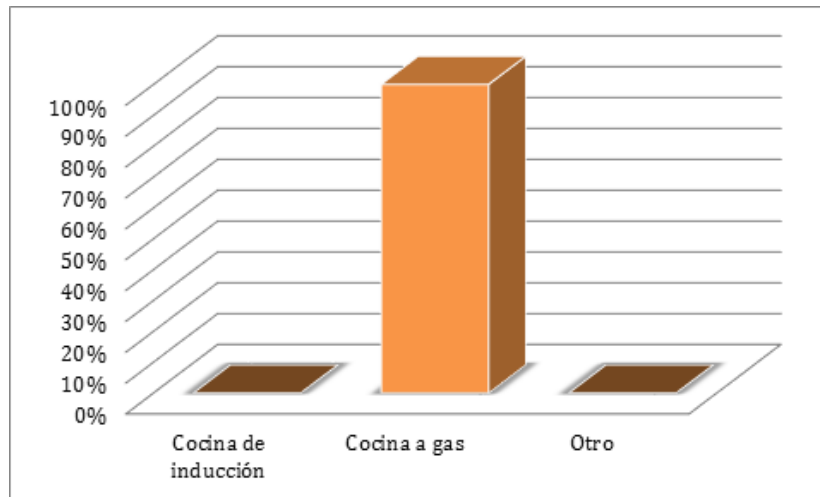


Figura 52: Tabulación del tipo de cocina para cocinar los alimentos

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Fuente: Jefes de Familia del Barrio María

Análisis de resultados obtenidos en la Pregunta 5:

Al realizar esta pregunta se detecta que los 5 jefes de familia (viviendas) utilizan el gas licuado de petróleo para la preparación de sus alimentos desayuno, almuerzo y merienda que son el 100% de la viviendas, además indican que utilizarán la cocina de inducción una vez que el precio de este deje de estar subsidiado y se demuestren los beneficios de está.

Pregunta 6: ¿Qué tipo de ducha utiliza para bañarse?

Tabla 41: Tabulación del tipo de cocina para cocinar los alimentos

Opciones	Frecuencia	Porcentaje
Ducha eléctrica	0	0%
Calefón	5	100%
Otro	0	0%
Total	5	100%

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Fuente: Jefes de Familia del Barrio María

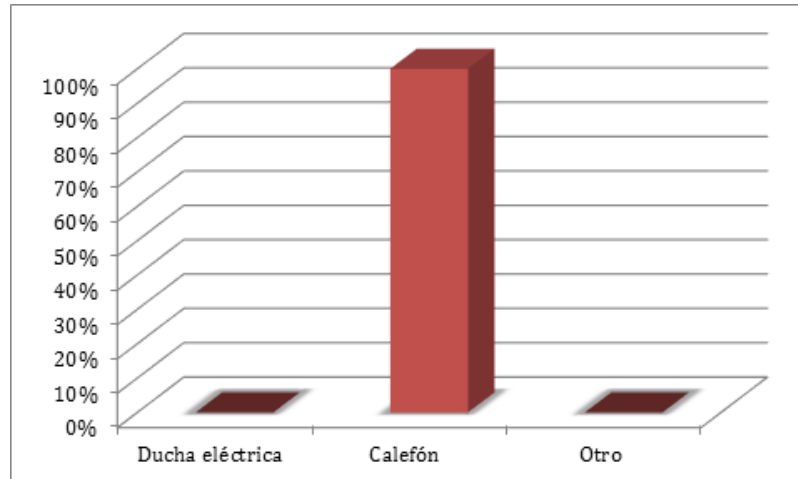


Figura 53: Tabulación del tipo de cocina para cocinar los alimentos

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Fuente: Jefes de Familia del Barrio María

Análisis de resultados obtenidos en la Pregunta 6:

Al realizar esta pregunta se detecta que los 5 jefes de familia (viviendas) utilizan el gas licuado de petróleo para bañarse que son el 100% de la viviendas, además indican que utilizarán ducha eléctrica u otro tipo de equipo como el calentador solar térmico una vez que el precio de este deje de estar subsidiado.

Pregunta 7: **¿Conoce acerca de la energía eléctrica producida por paneles solares?**

Tabla 42: Tabulación del conocimiento de energía eléctrica producida por paneles solares

Opciones	Frecuencia	Porcentaje
Si	4	80%
No	1	20%
Desconoce	0	0%
Total	5	100%

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)
Fuente: Jefes de Familia del Barrio María

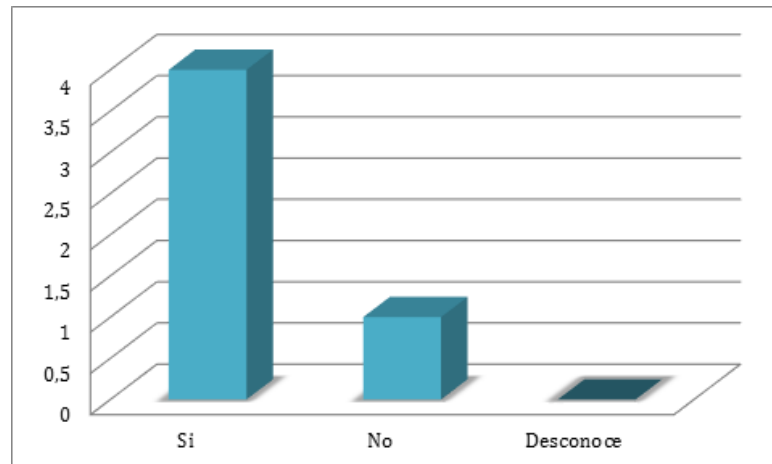


Figura 54: Tabulación del conocimiento de energía eléctrica producida por paneles

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Fuente: Jefes de Familia del Barrio María

Análisis de resultados obtenidos en la Pregunta 7:

Al realizar esta pregunta se detecta que de los 4 jefes de familia (viviendas) conocen que se puede producir energía eléctrica a partir de la energías solar que captan los paneles solares y representan el 80% mientras que un 20% desconoce que se puede producir energía eléctrica a partir de los paneles solares.

Pregunta 8: ¿Conoce los beneficios ambientales por el uso de sistemas fotovoltaicos para la producción de energía eléctrica?

Tabla 43: Tabulación del conocimiento de beneficios ambientales de sistemas fotovoltaicos

Opciones	Frecuencia	Porcentaje
Si	3	60%
No	1	20%
Desconoce	1	20%
Total	5	100%

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Fuente: Jefes de Familia del Barrio María

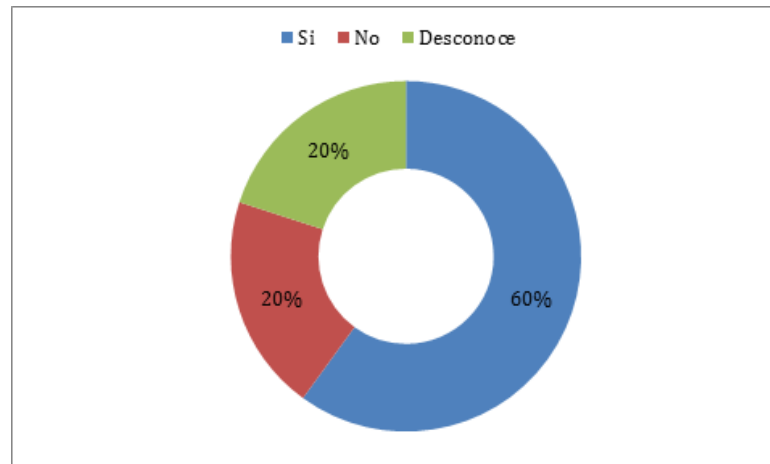


Figura 55: Tabulación del conocimiento de beneficios ambientales de sistemas

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Fuente: Jefes de Familia del Barrio María

Análisis de resultados obtenidos en la Pregunta 8:

Al realizar esta pregunta se detecta que de los 3 jefes de familia (viviendas) conocen que existen beneficios ambientales al utilizar paneles solares que ayudarán a mitigar el cambio climático, un 20% indica que no conoce los beneficios ambientales mientras que el 20% restante indica que desconoce sobre los paneles solares y por ende sus beneficios.

Pregunta 9: ¿Cuánto estaría dispuesto a gastar mensualmente por un sistema fotovoltaico en casa?

Tabla 44: Tabulación del costo que estaría dispuesto gastar mensualmente por un sistema fotovoltaico

Opciones	Frecuencia	Porcentaje
Entre \$ 10 a \$ 20 dólares	1	20%
Entre \$ 20 a \$ 50 dólares	3	60%
Entre \$ 50 a \$ 150 dólares	0	0%
Nada	1	20%
Total	5	100%

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Fuente: Jefes de Familia del Barrio María

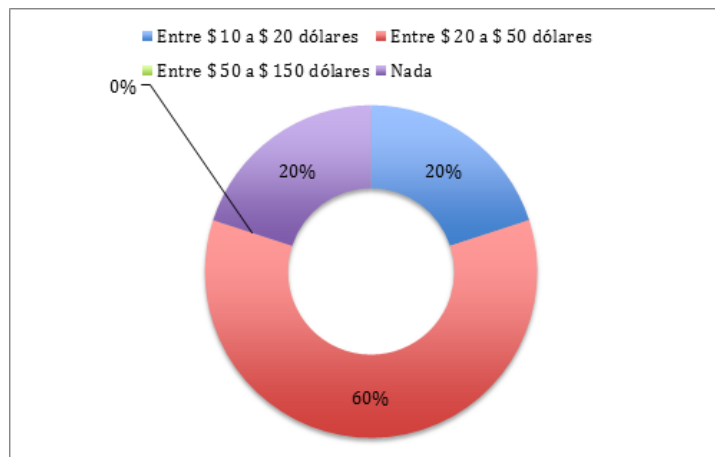


Figura 56: Tabulación del costo que estaría dispuesto gastar mensualmente por un sistema fotovoltaico

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Fuente: Jefes de Familia del Barrio María

Análisis de resultados obtenidos en la pregunta 9:

Al realizar esta pregunta se detecta 3 núcleos familiares (viviendas) que están dispuestos a utilizar paneles solares para la producción de energía eléctrica a partir de la energía solar y están dispuestos a gastar mensualmente entre 20 a 50 dólares mientras que un 20% están dispuestos a gastar entre 10 a 20 dólares.

Entrevista

Se realiza una entrevista no estructurada al propietario de la vivienda el Señor Jesús Salazar quien es el cabeza de familia y sustento del hogar.

El Sr. Jesús Salazar como propietario de la casa N°10 del Barrio María de la ciudad de Latacunga comenta que su hogar está conformado por 4 personas las cuales utilizan energía eléctrica para distintas actividades en el día, conoce que actualmente existen alternativas de generación de energía renovable a parte de la producida por las hidroeléctricas su consumo mensual varía relativamente entre los 80 a 100 kWh al mes, también comenta que en su hogar utiliza cocina a gas y ducha con calefón, las cuales consideraría en cambiarse a la cocina de inducción cuando el costo del gas sea el real libre de subsidio, además indica que conoce un poco sobre la producción de energía eléctrica a partir del sol conocimiento que lo adquirió por medio de documentales vistos en la televisión lo que más le interesa es que utilizando este tipo de tecnología se puede mejorar el medio ambiente por lo cual él está preocupado por el mundo que dejara a sus descendientes tanto hijos como nietos considera que si todos colaboramos con la tarea de mitigar los cambios climáticos se tendría un mundo con aire más puro finalmente menciona que él estaría dispuesto a invertir lo mismo que cancela por el TV cable alrededor de 20 dólares mensuales.

Se realiza una entrevista no estructurada al MSc. Diego Vaca quien es el jefe en las líneas de investigación de energía solar y sus aplicaciones técnico del Instituto Nacional de eficiencia energética y energías renovables en Ecuador (INER)

En la actualidad el recurso solar en el Ecuador no está siendo utilizado en toda su capacidad entre sus principales aplicaciones están los paneles fotovoltaicos para la producción de energía eléctrica y los calentadores solares térmicos para calentamiento de agua, en la actualidad la matriz energética se basa en plantas hidroeléctricas pero hay que tomar en cuenta que según estudios de la Organización

Latinoamericana de Energía (OLADE) en la región de América central la tecnología hidroeléctrica es una de las más vulnerables al cambio climático en el 2030 ya se sentirá este cambio aunque el Ecuador basa su reserva hidrológica entre un 10 a un 20% de márgenes de energía actualmente se está introduciendo la cocina de inducción que tiene una eficiencia de un 84% frente a la de gas licuado de petróleo (GLP) que es del 40% la cual tiene incentivos de subsidios de 80 kilovatio hora (kWh) al mes hasta el 2018 lo que no se ha tomado en cuenta que al cambiar la matriz energética se provocara picos de potencia en las redes es aquí donde los sistemas fotovoltaicos conectados a la red ayudaran a bajar la carga de la red y darán estabilidad a la misma de esta manera el Ecuador tiene incentivos como la regulación 004/11 de 40 centavos el kilovatio hora (kWh) en este tipos de sistemas hay que tomar en cuenta que para que sea sostenible y rentable en el tiempo deberá pasar al menos 15 años para recuperar su inversión, estos sistemas ayudarán a dejar la dependencia de centrales térmicas para mantener la red estable y ahorrando así millones al estado por dejar la dependencia de hidrocarburos para la producción de electricidad.

CAPÍTULO IV

4. PROPUESTA

4.1. Título de la propuesta

Diseño de un sistema fotovoltaico sincronizado a la red de la empresa eléctrica ELEPCO.SA, como fuente alternativa de energía para la casa N°10 del barrio María de la ciudad de Latacunga.

4.2. Justificación de la propuesta

Los países han sumado esfuerzos en el aprovechamiento de las energías renovables para la generación eléctrica, con el fin de dejar la dependencia de las centrales térmicas cuya energía primaria justamente son los derivados del petróleo y evidentemente también producen gases de efecto invernadero, dado la importancia de mantener siempre en firme el recurso de la energía eléctrica y disminuir la contaminación al ambiente por emisiones de CO₂ muchos países han optado por la utilización de generadores fotovoltaicos que aprovechan la energía solar como fuente primaria.

El Ecuador al encontrarse en la línea equinoccial de la Tierra puede aprovechar al máximo la energía solar, beneficiado directamente por la influencia de la irradiación solar toda la franja ecuatorial recibe la incidencia de los rayos del sol de forma perpendicular durante todo el año, la irradiación solar es prácticamente constante y de gran magnitud todo el tiempo, si bien se pueden definir dos estaciones climatológicas en el año; esto no implica que el ángulo de incidencia de la irradiación solar varíe, como es el caso de los países ubicados al norte o al sur del globo terráqueo y que presentan cuatro estaciones climáticas.

A lo largo de todo el año se puede encontrar días soleados indistintamente de la estación, la variación entre las dos estaciones está en las precipitaciones lluviosas, en verano los días soleados se presentan con gran cantidad de viento y en invierno los días soleados son seguidos por fuertes precipitaciones en horas de la tarde principalmente, las diferencias radican en la cercanía al sol en cada época del año en los meses de julio y agosto el planeta Tierra se encuentra en la posición más cercana al Sol dentro de su órbita (verano). En enero y febrero la Tierra se encuentra en el punto más distante al Sol dentro de su órbita (invierno).

Los datos de radiación solar tomados en la casa N°10 del barrio María de la ciudad de Latacunga superan el valor mínimo de 200 W/m^2 de 8:00 am a 16:00 pm lo cual se puede aprovechar para la generación eléctrica por energía solar fotovoltaica, como fuente alternativa de energía eléctrica, para la casa N°10 del barrio María, minimizando la dependencia de utilizar una única fuente de energía alterna, prescindiendo de una central de generación térmica de combustible fósil, contribuyendo con la búsqueda de nuevas formas de energía que reemplacen a las contaminantes, sin deteriorar el medio ambiente, afectar el ecosistema y cumpliendo con la reglamentación existente.

4.3. Objetivo de la propuesta

4.3.1. Objetivo general

Diseñar un sistema fotovoltaico sincronizado a la red de la empresa eléctrica ELEPCO.SA, como fuente alternativa de energía para la casa N°10 del barrio María de la ciudad de Latacunga.

4.3.2. Objetivos específicos

- Dimensionar el sistema fotovoltaico sincronizado conectado a la red.
- Diseñar la estructura de soporte del sistema fotovoltaico.
- Valorar económicamente y ambientalmente el sistema de generación de energía fotovoltaico.

4.4. Estructura de la propuesta

Se utilizará los resultados de la radiación promedio media de los meses de Mayo, Junio, Julio y el promedio de la carga obtenida en el Capítulo III para dimensionar y seleccionar los componentes principales del sistema fotovoltaico.

Se realizará un análisis de esfuerzos actuantes sobre la estructura para probar por medio de software SolidWorks su resistencia a dichos esfuerzos.

Por último se hará un análisis económico para comprobar la factibilidad de construcción en el país del sistema.

4.5. Desarrollo de la propuesta

4.5.1. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico sincronizado conectado a la red

Para el dimensionamiento es necesario contar con los datos de la irradiancia en el sitio y las curvas de P-V proporcionados por los fabricantes de módulos solares fotovoltaicos.

Se utilizará el módulo de marca ZYTECH tipo 230P (Ver Anexo G) su curva característica se muestra en el Anexo G1, se puede observar claramente la relación entre la potencia el voltaje y corriente para determinar el punto de máxima potencia, se procede a tabular los datos observados de radiación a fin de obtener la línea de tendencia y evaluar la máxima potencia que podría obtenerse del módulo fotovoltaico (Ver Figura 57).

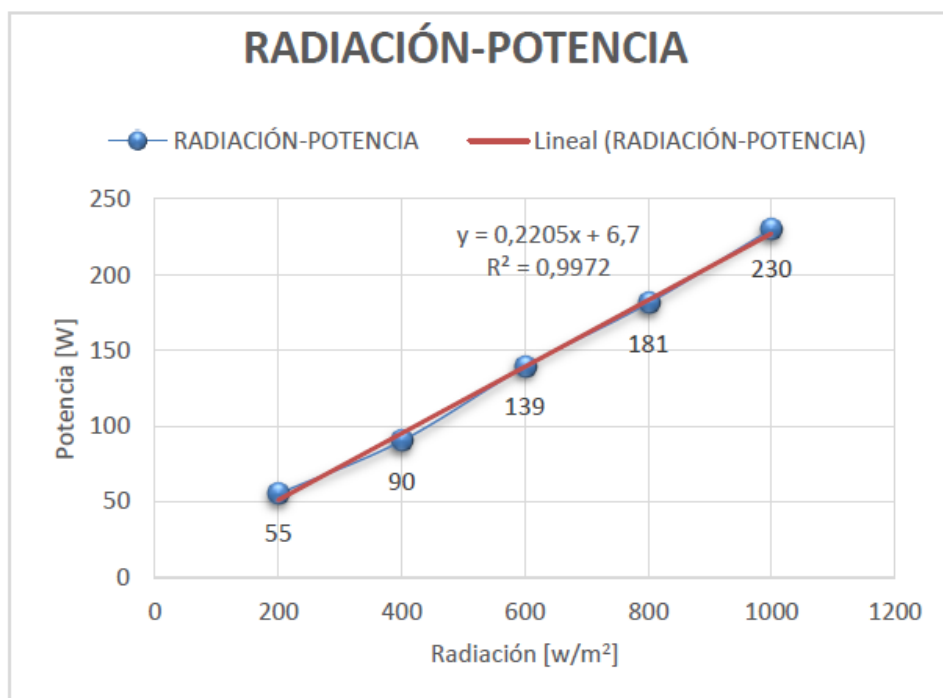


Figura 57: Tendencia de la máxima potencia con relación a la radiación
Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

La ecuación 6 generada usando el programa Microsoft Excel, representa la tendencia que siguen los valores representados en la Figura 48; de este modo se puede determinar la cantidad de energía a producir mediante el panel solar fotovoltaico (Ver Tabla 45).

$$y=0,205x+6,7 \quad (6)$$

Donde:

y = Potencia máxima Módulo fotovoltaico [Watt]

x= Radiación [W/m²]

Tabla 45: Potencias producida por un módulo solar ZYTECH tipo 230P

Hora	Radiación [W/m ²]	Potencia máxima Módulo fotovoltaico [Watt]
08:00-9:00	298,357	72,49
09:00-10:00	421,922	99,73
10:00-11:00	520,184	121,40
11:00-12:00	545,042	126,88
12:00-13:00	584,113	135,50
13:00-14:00	568,457	132,04
14:00-15:00	494,984	115,84
15:00-16:00	370,010	88,29
Total	3803,069	892,17

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

* Los valores de Radiación [W/m²] se toman de la Tabla 30 p. 103

Orientación de los paneles fotovoltaicos

Teniendo en cuenta que la trayectoria del Sol durante un día es de Este a Oeste, la trayectoria durante un año es de Norte a Sur como indica la Figura 58 se requiere que los paneles fijos se coloquen inclinados hacia el Sur como indica la Figura 59 y teniendo en cuenta que ángulo óptimo del panel debe ser 10° para garantizar el mejor aprovechamiento de la radiación y su limpieza, en Ecuador la inclinación de los paneles no debe ser mayor a 15°. (Perpiñán O., 2013)

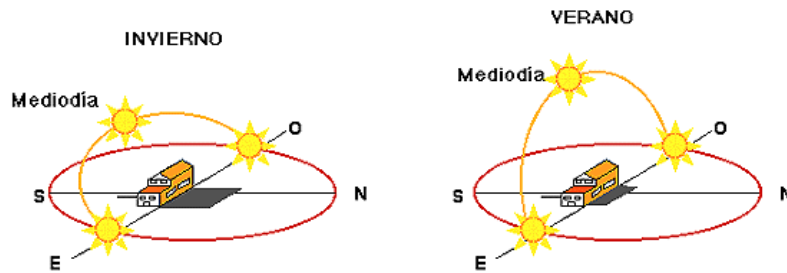


Figura 58: Movimiento aparente del sol en la bóveda celeste en función de la hora del día y la época del año

Fuente: Guía solar, 2012

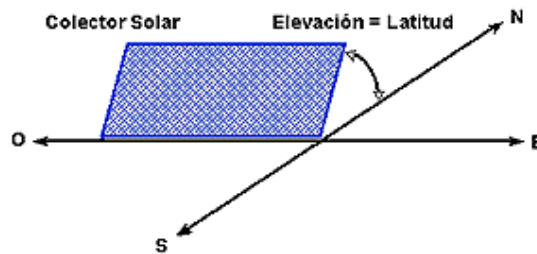


Figura 59: Orientación de una estructura fija para maximizar la captación de radiación solar a lo largo del año

Fuente: Guía solar, 2012

Según Norma Técnica Ecuatoriana NEC-11, Capítulo 14, tabla 14.B1.1 (Ver Tabla 13) se estandariza los valores de inclinación de paneles por lo cual se tomará una inclinación de 10° para los paneles, que contrasta con lo sugerido por Perpiñán O., 2013.

Inversor

Para elegir el inversor adecuado, se debe tomar en cuenta cuales son los niveles de tensión que se manejan tanto del lado de corriente continua como de alterna, la potencia mínima del inversor está condicionada por el rendimiento del mismo en función de la onda de salida, el rendimiento del inversor según el tipo de onda se detalla en la Tabla 46.

Tabla 46: Rendimiento del inversor según el tipo de onda

Tipo de Inversor		Rendimiento al 20% de la potencia nominal	Rendimiento a potencia nominal
Onda senoidal	$P_{NOM} < 500VA$	> 80%	> 70%
	$P_{NOM} > 500 VA$	> 85%	> 80%
Onda no senoidal		> 85%	> 80%

Fuente: Cuervo R., Veritas B., Méndez J., 2013

Se considera a los inversores de onda senoidal para sistemas fotovoltaicos, la potencia nominal del inversor está dada por la potencia de las cargas dividido para su rendimiento como se muestra en la ecuación (7) Cuervo R., Veritas B., Méndez J., 2013.

$$P_{NOM} = \frac{\text{Potencia cargas}}{\eta} \quad (7)$$

Donde:

P_{NOM} = Potencia nominal del inversor

Potencia cargas = 892,17 W (Tomado de la tabla 34)

η = Rendimiento (Ver Tabla 46)

$$P_{NOM} = \frac{892,17 \text{ W}}{0,85}$$

$$P_{NOM} = 1049,61 \text{ W}$$

Se compara la potencia nominal con la potencia disponible en el mercado y la mejor opción para uso en sistemas solares de pequeña y medianas dimensiones son los inversores ZLPOWERSTAR de onda sinusoidal pura con una potencia de 1000W que hacen gala de un alto rendimiento y cumplen con la potencia nominal del sistema.

Con un control optimizado y preciso del sistema y un algoritmo de seguimiento del punto de potencia máxima (MPPT), que se asegura que los módulos solares entreguen la máxima cantidad de energía a la red eléctrica.

Sus principales características son la Alta eficiencia, un diseño modular y compacto, amplia protección de los lados de CC y CA, y compensación del factor de potencia, Otra ventaja de este tipo de inversores es su bajo costo. (Ver Anexo H1)

Tabla 47: Características principales del inversor POWERSTAR LW 1000

Datos técnicos	
Potencia nominal	1000 W
Tensión de entrada nominal	230 Vac
Eficiencia (Modo Línea)	95%
Factor de Potencia	0 ~ 1.0
Nominal DC	12V/24V/48V Voltaje de entrada
Tensión de salida nominal (V)	120 ~ 230Vac
Rango de temperatura de funcionamiento	0 ° C to 40 ° C
Salida de onda de tensión	Forma de onda sinusoidal

Fuente: ZLPOWER Electronics Co., 2015

Se toma de la Tabla 47 una eficiencia del inversor de un 95%

Tabla 48: Potencia producida a un 95% de eficiencia del inversor POWERSTAR

Hora	Potencia máxima Módulo fotovoltaico [Watt]	Eficiencia inversor	Energía [Wh]
08:00-9:00	72,49	95%	68,86
09:00-10:00	99,73	95%	94,75
10:00-11:00	121,40	95%	115,33
11:00-12:00	126,88	95%	120,54
12:00-13:00	135,50	95%	128,72
13:00-14:00	132,04	95%	125,44
14:00-15:00	115,84	95%	110,05
15:00-16:00	88,29	95%	83,87

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Cálculo del número de módulos fotovoltaicos para la vivienda

Para determinar el número de módulos (Ver Tabla 49) se toma en cuenta el comportamiento del consumo máximo de potencia en la vivienda (Ver Anexo B5) y la generación del módulo fotovoltaico (Ver Tabla 48), no existe problema en el hecho de que el arreglo fotovoltaico no pueda abastecer toda la potencia de la carga dado que como es un sistema interconectado la empresa eléctrica automáticamente abastece la carga faltante.

Tabla 49: Número de módulos fotovoltaicos ZYTECH tipo 230P

Hora	Energía [Wh]	Potencia promedio consumida [Wh]	N° de módulos	N° de módulos aproximado
08:00-9:00	68,863	102,263	1,485	1
09:00-10:00	94,747	114,837	1,212	1
10:00-11:00	115,331	127,553	1,106	1
11:00-12:00	120,538	104,791	0,869	1
12:00-13:00	128,722	125,990	0,979	1
13:00-14:00	125,443	118,808	0,947	1
14:00-15:00	110,052	118,311	1,075	1
15:00-16:00	83,873	126,377	1,507	2
PROMEDIO	105,946	117,366		

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

De la Tabla 49 se determina que se puede implementar en la vivienda uno o dos módulos fotovoltaicos, se realizará el diseño para ambas alternativas lo cual permitirá determinar la viabilidad de cada diseño sus costos y beneficios.

Alternativa No 1.- Sistema fotovoltaico (Un módulo fotovoltaico) conectado a la red (SFCR) para cubrir la carga mínima instalada en la vivienda.

Comportamiento de la energía consumida y producida por un módulo fotovoltaico en el sitio de estudio

Una vez establecido el número de módulos se procede a determinar el aporte de energía que se tiene por parte del sistema solar fotovoltaico con un módulo hacia la red y el porcentaje con el que aporta en la reducción del consumo de energía eléctrica convencional. (Ver Tabla 50)

Tabla 50: Comparación entre energía consumida en la vivienda y generada acumulada (un módulo) por el sistema fotovoltaico

Hora	Energía Producida (un módulo) [Wh]	Energía promedio consumida [Wh]	Porcentaje disminuido de consumo	Energía acumulada producida (un módulo) [Wh]	Energía acumulada consumida [Wh]
08:00-9:00	68,863	102,263	67%	68,863	102,263
09:00-10:00	94,747	114,837	83%	163,610	217,100
10:00-11:00	115,331	127,553	90%	278,941	344,653
11:00-12:00	120,538	104,791	115%	399,479	449,445
12:00-13:00	128,722	125,990	102%	528,201	575,436
13:00-14:00	125,443	118,808	106%	653,643	694,244
14:00-15:00	110,052	118,311	93%	763,695	812,555
15:00-16:00	83,873	126,377	66%	847,568	938,933
TOTAL	847,568	938,933	90%		

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

En la Figura 60 se observa que la energía producida por el sistema solar fotovoltaico siempre se mantiene por debajo de la energía consumida por la carga, en estas condiciones se puede concluir que toda la energía que se produzca en el sistema solar fotovoltaico se consumirá en el hogar unifamiliar durante el periodo establecido.

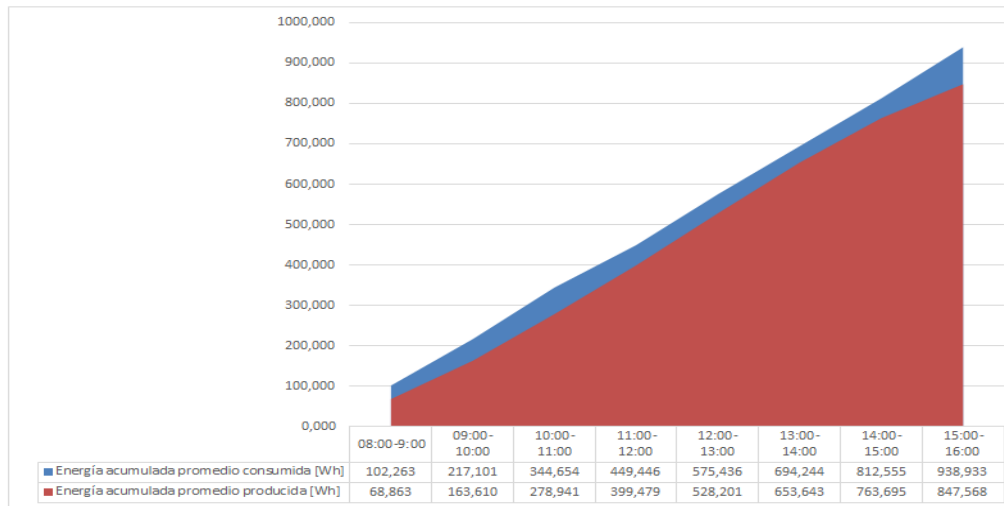


Figura 60: Comparación entre energía consumida en la vivienda y generada acumulada (un módulo) por el sistema fotovoltaico
Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Selección de los conductores para un módulo fotovoltaico

Selección del cable en corriente continua (CC), un módulo fotovoltaico

El cable se dimensiona en función de la corriente máxima de salida del arreglo fotovoltaico, por factor de seguridad se considera el 125 % de la intensidad máxima de salida del arreglo fotovoltaico que va a transportar la línea de corriente continua, ver ecuación (8) Harper E., 2005.

$$I_{\text{máx}} \text{ arreglo fotovoltaico} = I_{\text{mpp}} (\text{arreglo fotovoltaico}) * 1.25 \quad (8)$$

Donde:

$I_{\text{máx}}$ arreglo fotovoltaico = Corriente máxima que va a transportar la línea (A)

I_{mpp} (arreglo fotovoltaico) = Corriente máxima de todo el arreglo fotovoltaico (7,50A;

Ver Anexo G1)

Factor de seguridad =1,25

$$I_{\text{máx}} \text{ arreglo fotovoltaico} = 7,50 \text{ A} * 1,25$$

$$I_{\text{máx}} \text{ arreglo fotovoltaico} = 9,375 \text{ A}$$

El cable que se proyecta utilizar soporta en condiciones extremas 40 A, por lo tanto la corriente máxima está dentro de los rangos que soporta el cable por esto y por todas las prestaciones, mencionadas el cable tipo PV ZZ-F(AS) 2,5 mm²(Ver Anexo K1), es perfecto para la instalación fotovoltaica.

Calculo de la caída de tensión para cable en corriente continua (CC), un módulo fotovoltaico

Para el cálculo del porcentaje de caída de tensión, se considera el voltaje máximo del arreglo fotovoltaico y la caída de tensión (Ecuación 10), aplicando la ecuación, se obtendrá el porcentaje de caída de tensión del conexionado del arreglo fotovoltaico hasta su conexión con el inversor.

Primero se debe calcular la caída de tensión para lo cual se debe tomar en cuenta la resistividad del cable, la longitud de este desde el arreglo fotovoltaico hacia el inversor, la corriente máxima que puede entregar el arreglo fotovoltaico y la sección del cable como se indica en la ecuación (9) Harper E., 2005:

$$\Delta V = \frac{2 * \rho * L * I_{\text{máx arreglo fotovoltaico}}}{s} \quad (9)$$

Donde:

ρ = Resistividad del cobre en (0,0176 Ω mm²/m)

L= Longitud en (m) del arreglo fotovoltaico al inversor

$I_{\text{máx arreglo fotovoltaico}}$ = Corriente máxima del arreglo fotovoltaico en amperios (A)

s= sección en mm²

$$\Delta V = \frac{2(0,0176 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}})(5\text{m})(9,375 \text{ A})}{2,5 \text{ mm}^2}$$

$$\Delta V = 0,66 \text{ V}$$

Una vez se calculó la caída de tensión se procede a calcular la caída de tensión en porcentaje como expresa la ecuación (10) Harper E., 2005.

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_{mpp \text{ Arreglo}}} \quad (10)$$

Donde:

$\% \Delta V$ = Caída de tensión en porcentaje

ΔV = Caída de tensión (V)

$V_{mpp \text{ Arreglo}}$ = Voltaje máximo del arreglo fotovoltaico (30,66V; Ver Anexo G1)

$$\% \Delta V = \frac{0,66 \text{ V}}{30,66 \text{ V}}$$

$$\% \Delta V = 0,021\%$$

El cable que se utilizará desde el arreglo fotovoltaico al inversor, es PV ZZ-F 2,5 mm² (AS) (Ver Figura 61) de la marca TOPSOLAR (Anexo K1), debido a que la caída de tensión es despreciable para su instalación.



Figura 61: Cables tipo PV ZZ-F (AS)

Fuente: TOPCABLE, 2015

Estos cables soportan temperaturas extremas, humedad, acciones químicas, servicios móviles, todo ello garantizando las máximas prestaciones de seguridad en caso de incendio, la prestación más demandada para un cable fotovoltaico es la de ofrecer una vida útil de al menos 25 años de perfecta funcionalidad, en cualquier instalación fotovoltaica que esté correctamente diseñada y en adecuadas condiciones de uso y mantenimiento.

Selección del cable en corriente alterna (CA), un módulo fotovoltaico

Para la selección del cableado por criterio térmico se proyecta situar el inversor en el sistema fotovoltaico en el patio trasero de la vivienda, de donde saldrá la conexión hasta el tablero de distribución de la vivienda que se encuentra en la sala de la misma, el cable será instalado vía canaleta.

El valor de cálculo de la intensidad máxima en régimen permanente para el sistema se obtiene con la ecuación (11) Harper E., 2005.

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{P}{V} \quad (11)$$

Donde:

$I_{m\acute{a}x}$ = Intensidad máxima (A)

P = Potencia en vatios del panel (W)

V = Tensión en voltios de la red (120 V)

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{230 \text{ W}}{120 \text{ V}}$$

$$I_{m\acute{a}x} = 1,92 \text{ A}$$

El cable que se proyecta utilizar es el N° 14 AWG de la marca VIAKON HHW/XHHW-2 600V (ver Anexo L1) soporta en condiciones extremas 20 A, por lo tanto la corriente máxima está dentro de los rangos que soporta el cable por esto y por todas las prestaciones es perfecto para la instalación fotovoltaica.

Cálculo de la energía producida anualmente por un módulo fotovoltaico

La energía producida por el sistema fotovoltaico en un período anual puede ser estimada, de forma aproximada, con la ecuación (12) Perpiñán O., 2013.

Como se expresa en la ecuación (12) la potencia fotovoltaica instalada en la vivienda es de 0,230 kW, con una G_{efa} que es el resultado de las mediciones de radiación que se realizó en la vivienda, el rendimiento del sistema (PR) es producto del análisis de distintos sistemas fotovoltaicos.

El cálculo de la energía anual es importante, debido a que una vez calculada la energía producida se puede multiplicar por un valor monetario y con esto conocer el porcentaje de ahorro del sistema.

$$E_{ac} = P^* \frac{G_{efa}}{G_{stc}} (PR)(1 - FS) \quad (12)$$

Donde:

E_{ac} = Es la energía producida anual (kWh)

P^* = Potencia nominal del generador FV (W)

G_{efa} = Irradiación efectiva anual incidente en el plano del generador (kWh/m²)

G_{stc} = Irradiación en condiciones estándar de medida (1 kW/m² constante)

PR = Rendimiento del sistema o performance ratio (0.74)

FS = Factor de sombras (0,04)

$$E_{ac} = 0,230 \text{ kW} \frac{1615,84 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}}{1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}} (0,74)(1 - 0,04)$$

$$E_{ac} = 264,015 \text{ kWh Anual}$$

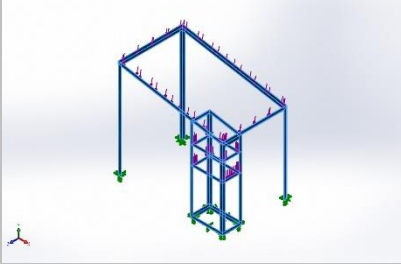
Diseño de la estructura de soporte del sistema fotovoltaico para un módulo fotovoltaico

La estructura de soporte, ancla el generador solar, proporciona la orientación y el ángulo de inclinación idóneo para el mejor aprovechamiento de la radiación. (Guía técnica de aplicación para instalaciones de energías renovables, 2014, p. 33)

Material

La estructura soporte de paneles de hierro tendrá un galvanizado mínimo de 100 micras las propiedades de este material se muestra en la Tabla 51. (Guía técnica de aplicación para instalaciones de energías renovables, 2014, p. 93)

Tabla 51: Acero galvanizado, estructura un módulo fotovoltaico

Referencia de modelo	Propiedades
	Nombre: Acero galvanizado
	Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal
	Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.
	Límite elástico: 2.03943e+008 N/m²
	Límite de tracción: 3.56901e+008 N/m²
	Módulo elástico: 2e+011 N/m²
	Coefficiente de Poisson: 0.29
	Densidad: 7870 kg/m³

Fuente: Informe Solidworks, 2015

Ángulo y dirección quedan determinados por:

Los paneles fijos inclinado hacia el Sur (Perpiñán O., 2013)

El ángulo óptimo del panel =10°, según Norma Técnica Ecuatoriana NEC-11, Capítulo 14, tabla 14.B1.1 (Ver Tabla 13, p.65)

Cargas

Las cargas a que estará sometida la estructura son las siguientes:

Peso del inversor	$W_{inv} = 49 \text{ N}$
Peso del panel solar	$W_{pan} = 49 \text{ N}$
Peso propio de la estructura	$W_{est} = 426,548 \text{ N}$

Análisis de esfuerzos, un módulo fotovoltaico

El análisis de esfuerzos de la estructura para el soporte de un módulo fotovoltaico se realiza con ayuda del método de elementos finitos con el programa CAE (Informe Solidworks, 2015), para lo cual se tomará las siguientes condiciones que se muestran en la Tabla 52:

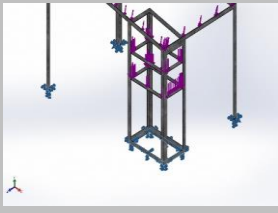
Tabla 52: Peso estructura, un módulo fotovoltaico
Peso de la estructura un módulo fotovoltaico

Masa	43,5253 kg
Peso	426,548 N
Volumen	0,00553054 m^3
Densidad	7870 kg/m^3

Fuente: Informe Solidworks, 2015

Sujeción de la estructura para un módulo fotovoltaico, como se detalla en la Tabla 53

Tabla 53: Sujeción de la estructura

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción	
Fijo-1		Entidades:	6 cara(s)
		Tipo:	Geometría fija

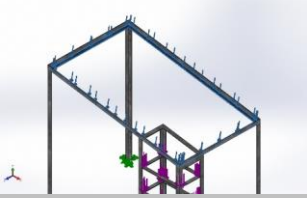
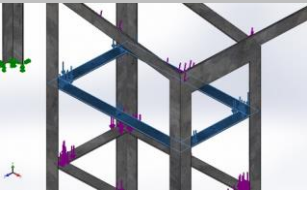
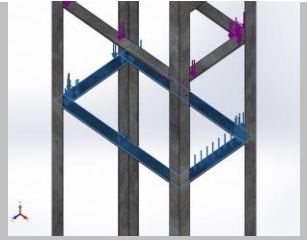
Fuerzas resultantes

Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	8.48996	391.239	0.285257	391.331
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Fuente: Informe Solidworks, 2015

Cargas de la estructura, un módulo fotovoltaico

Tabla 54: Cargas de la estructura, un módulo fotovoltaico

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga	
Fuerza Panel		Entidades:	1 cara(s)
		Tipo:	Aplicar fuerza normal
		Valor:	49 N
Fuerza Elementos		Entidades:	4 cara(s)
		Tipo:	Aplicar fuerza normal
		Valor:	49 N
Fuerza Inversor		Entidades:	3 cara(s)
		Tipo:	Aplicar fuerza normal
		Valor:	49 N

Fuente: Informe Solidworks, 2015

Fuerzas resultantes en la estructura, un módulo fotovoltaico

Tabla 55: Fuerzas resultantes, un módulo fotovoltaico

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	8,48996	391,239	0,285257	391,331

Fuente: Informe Solidworks, 2015

Resultados del estudio de la estructura para un módulo fotovoltaico

El resultado obtenido por Solid Works de la tensión de von Mises (Ver Figura 62), generó una tensión máxima de 26,92 MPas, que se encuentra dentro del límite elástico del material que es de 203,9 MPas

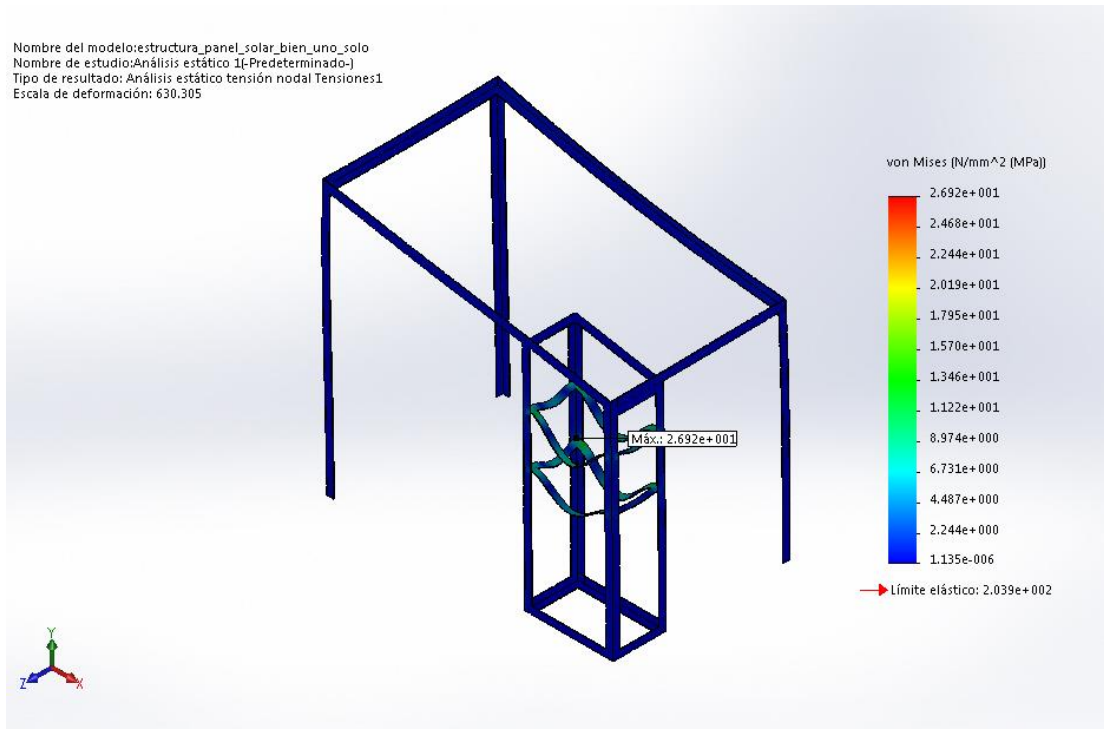


Figura 62: Tensión de von Mises, estructura de un módulo fotovoltaico
Fuente: Informe Solidworks, 2015

El resultado obtenido por Solid Works para el desplazamiento estático (Ver Figura 63), dio como resultado un máximo desplazamiento de 0.259 mm, a causa de las cargas que está expuesto. Este valor indica que existirá una pequeña deformación, que no afectará a la estructura.

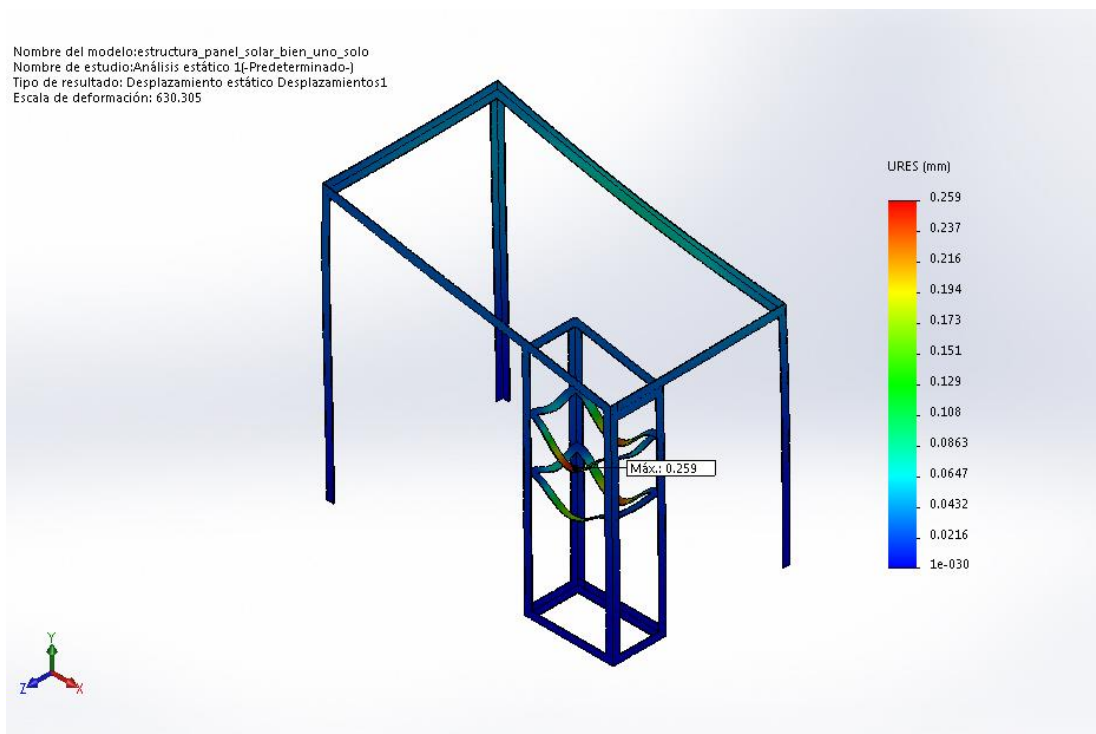


Figura 63: Desplazamiento estático, estructura de un módulo fotovoltaico
Fuente: Informe Solidworks, 2015

El resultado obtenido por Solid Works al estudio estático dio como resultado un factor de seguridad de 7,58 a lo largo de la estructura (Ver Figura 64), este es el punto más crítico y está sobre el factor de seguridad mínimo admitido que es de 2 para este tipo de estructuras.

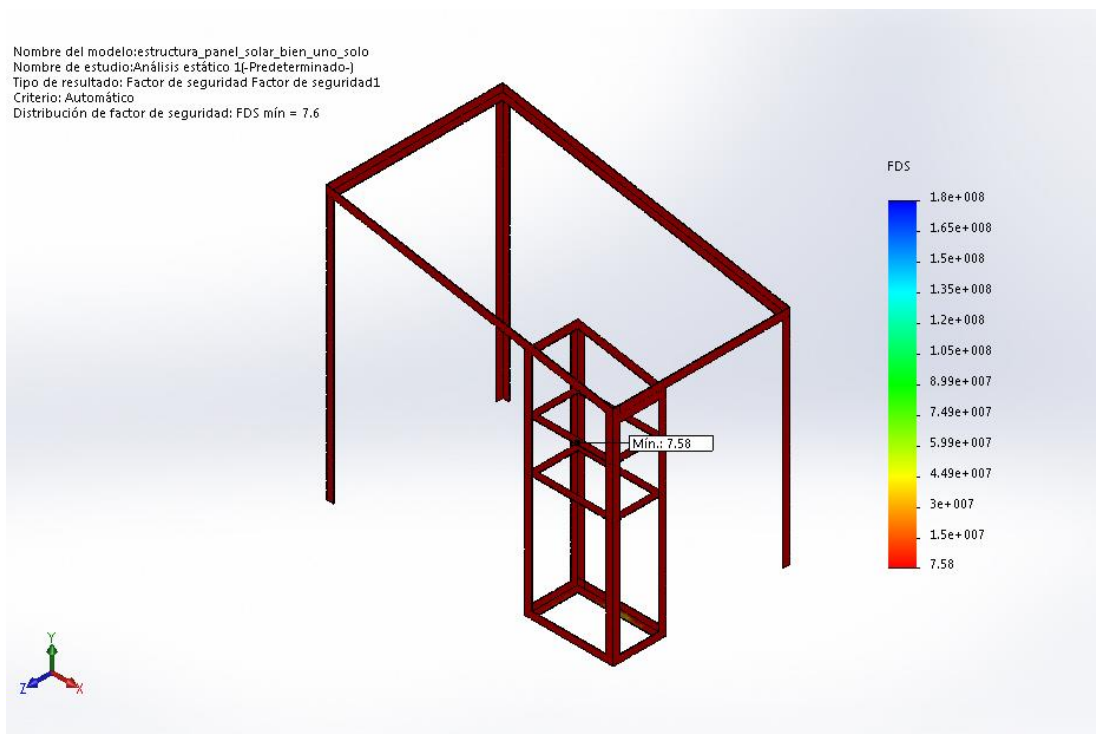


Figura 64: Factor de seguridad, estructura de un módulo fotovoltaico
Fuente: Informe Solidworks, 2015

Con los análisis realizados se concluyó que el material seleccionado es adecuado para la construcción de la estructura y cumple con los requerimientos que se necesita, los planos de la estructura para la implementación de un módulo fotovoltaico se encuentran en el Anexo N.

Mantenimiento del sistema, un módulo fotovoltaico

Los paneles fotovoltaicos requieren muy escaso mantenimiento, por su propia configuración, carente de partes móviles y con el circuito interior de las células y las soldaduras de conexión muy protegidas del ambiente exterior por capas de material protector. Al mismo tiempo, el control de calidad de los fabricantes es en general bueno y rara vez se presentan problemas por esta razón. (Guía técnica de aplicación para instalaciones de energías renovables, 2014, p. 68), en la Tabla 56 se muestra el mantenimiento preventivo de un módulo fotovoltaico.

Tabla 56: Cronograma de mantenimiento preventivo, un módulo fotovoltaico

Cronograma de mantenimiento preventivo, un módulo		
Maquinaria/Equipo	Actividad	Periodo
Panel solar ZYTECH tipo 230P	Limpieza del panel	Semanal
	Inspección visual de posibles degradaciones internas y de la estanqueidad del panel	Mensual
	Control de las características eléctricas del panel	Anual
Inversor POWERSTAR LW 1000	Control de las conexiones eléctricas del inversor	Mensual
	Control de las características eléctricas del inversor	Anual
Estructura	Control del estado físico de la estructura	Anual

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Valoración financiera de costos del proyecto para la implementación de un módulo fotovoltaico en el sistema

Factibilidad de proyecto, un módulo fotovoltaico

La factibilidad del proyecto para la implementación de un módulo fotovoltaico en el sistema dependerá del estudio y análisis de los siguientes parámetros:

Factor económico

La inflación, el Banco Central del Ecuador menciona, la inflación es medida estadísticamente a través del índice de precios al consumidor, a partir de una canasta de bienes y servicios demandados por los consumidores de estratos medios y bajos, establecida a través de una encuesta de hogares según el INEC (2010), el ingreso promedio para un “hogar de tipo urbano con ingreso medio” al cual pertenece la vivienda de estudio es de \$1046,3 y el valor del kilovatio hora (kWh) tomado como

referencia es de \$ 0,40 para el territorio continental en el Ecuador (CONELEC – 004/11).

Tabla 57: Inflación anual desde enero hasta agosto 2015

FECHA	VALOR
Agosto-31-2015	4.36%
Julio-31-2015	4.40%
Junio-30-2015	4.87 %
Mayo-31-2015	4.55 %
Abril-30-2015	4.32 %
Marzo-31-2015	3.76 %
Febrero-28-2015	4.05 %
Enero-31-2015	3.53 %

Fuente: Banco Central del Ecuador

Análisis: De ña Tabla 57 la inflación es una base a considerarse en el proyecto puesto que a medida que pasa el tiempo el precio tendrá una variación de acuerdo con la tabla del Banco Central del Ecuador se tomará como referencia el porcentaje 4,36%.

Tasa de interés activa

Es el porcentaje que las instituciones bancarias, de acuerdo con las condiciones de mercado y las disposiciones del Banco Central, cobran por los diferentes tipos de servicios de crédito a los usuarios de los mismos. Son activas porque son recursos a favor de la banca. (Ecuador, Superintendencia de Bancos, 2015)

Tabla 58: Tasa de interés activa

FECHA	VALOR
Agosto-31-2015	8.54 %
Julio-31-2015	8.60 %
Junio-30-2015	8.70 %
Mayo-31-2015	8.45 %
Abril-30-2015	8.09 %
Marzo-31-2015	7.31 %
Febrero-28-2015	7.41 %
Enero-31-2015	7.84 %

Fuente: Banco Central del Ecuador.

Análisis: De la Tabla 58 si se invierte el capital en una Institución financiera se podría cobrar una tasa aproximada del 8,54% anualmente del monto que se invirtiera en el caso que se deseara ahorrar.

Inversión inicial del proyecto, un módulo fotovoltaico

Para el análisis de la inversión necesaria de la implementación del proyecto será necesario realizar el estudio de los siguientes aspectos que se muestran en la Tabla 59:

Tabla 59: Aspectos generales, implementación de un módulo fotovoltaico

Cantidad kW anuales	264 KW
Precio	0,40 \$
Inflación anual	4,36 %
Recursos propios	1.418,75 \$
Tasa de crecimiento sueldos	4,12 %
Tasa activa	8,54 %

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Inversión de activos fijos

La inversión de activos fijos son los equipos, maquinarias que se van a utilizar para el desarrollo del proyecto en el caso del sistema fotovoltaico se va a hacer uso de los siguientes activos fijos, como se muestra en la Tabla 60.

Tabla 60: Inversión activos fijos, implementación de un módulo fotovoltaico

Detalle	Característica	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Maquinaria y herramientas			\$	\$
Panel solar	Monocristalino ZYTECH 230P	1	550,00	550,00
Inversor	Potencia de 1000 watt conexión a red eléctrica	1	450,00	450,00
Sistema de protección e implementos	Instalaciones	1	150,00	150,00
Total maquinaria y herramientas				1.150,00
Muebles y enseres				
Estructura	Acero Aluminio	1	200,00	200,00
Total muebles y enseres				200,00
Total activos fijos:				1.350,00

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Depreciación:

La depreciación es la pérdida de valor mediante transcurre el tiempo y la utilización de los activos fijos (Ver Tabla 61).

Tabla 61: Depreciación, implementación de un módulo fotovoltaico

Detalle	Costo total	Horas de vida útil	Horas utilizables	Depreciación por años expresada en dólares (\$)								Valor residual
				Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	
Maquinaria y herramientas	\$1.150,00	86400	2880	38,33	38,33	38,33	38,33	38,33	38,33	38,33	38,33	\$ 843,33
Muebles y enseres	\$ 200,00	86400	2880	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	\$ 146,67
Total activos fijos:	\$1.350,00	172800	5760	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	\$ 990,00

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Análisis: De la Tabla 61, en el caso del sistema para un módulo fotovoltaico se realizará la depreciación mediante el método de unidades producidas es decir se depreciará por las horas utilizadas de los equipos por horas de utilización.

Activos Intangibles

Son aquellos que se utilizará para la constitución de la empresa.

Tabla 62: Activos intangibles, implementación de un módulo fotovoltaico

Detalle	Costo total (\$)
Patentes \$	20,00
Total \$	20,00

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Análisis: De la Tabla 62, se patentará el proyecto de un sistema fotovoltaico que consta un solo módulo fotovoltaico

Amortización Activos Intangibles

La amortización es la pérdida de valor a medida que transcurre el tiempo.

Tabla 63: Amortización activos intangibles, implementación de un módulo fotovoltaico

Años de amortización	Amortización por año expresada en dólares							
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8
8	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50
8	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Análisis: De la Tabla 63 la amortización por año transcurrido desde la implementación del sistema fotovoltaico que consta de un módulo fotovoltaico es de \$2,50 dólares.

Gastos Operacionales

Tabla 64: Gastos operacionales, implementación de un módulo fotovoltaico

Gastos operacionales			
Concepto	Mensual	Año	Presupuesto anual
Sueldos y Salarios	\$ 48,75	1	\$ 48,75
Total gastos operacionales			\$ 48,75
	\$ 11,25	1	\$ 11,25
	\$ 11,71	2	\$ 11,71
	\$ 12,20	3	\$ 12,20
	\$ 12,70	4	\$ 12,70
Sueldos y Salarios	\$ 13,22	5	\$ 13,22
	\$ 13,77	6	\$ 13,77
	\$ 14,33	7	\$ 14,33
	\$ 14,92	8	\$ 14,92

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Análisis: De la Tabla 64 en el desarrollo del proyecto (Sistema fotovoltaico conectado a la red) se tendrá los siguientes gastos, como se observa en la Tabla 52 para el primer año serán de \$ 48,75 dólares este valor corresponde al pago de sueldo a un técnico que es de \$37,50 dólares el cual se encargará de la instalación de la maquinaria y a uno persona de mantenimiento que se le pagará \$ 11,25 dólares únicamente este pago se realizará en los días de implementación del proyecto, para el siguiente año se necesitará el servicio de la persona de mantenimiento al cuál se le pagará el valor de \$11,71 y continuará en este pago en los subsiguientes años.

Resumen de inversiones

Tabla 65: Inversiones, implementación de un módulo fotovoltaico

Resumen de inversiones	
Concepto	Rubro
Inversión de activos fijos	\$ 1.350,00
Inversión de activos diferidos e intangibles	\$ 20,00
Total gastos operacionales y no operacionales	\$ 48,75
Inversión total	\$ 1.418,75
Gastos operacionales	\$ 48,75
Gastos no operacionales	\$ -
Total gastos operacionales y no operacionales	\$ 48,75

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Análisis: En la Tabla 65 se detallan los gastos que se realizarán para la implementación del proyecto que en el primer año serán del valor de \$48,75 y la inversión total será de \$1418,75 dólares.

Resumen de ingresos y gastos

En la Tabla 66 se presentan los ingresos y gastos anuales, como se detalla a continuación:

Tabla 66: Resumen de ingresos y gastos, para la implementación de un módulo fotovoltaico

Resumen de ingresos								
AÑOS	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Ingresos								
Cantidad de kw	264	264	265	265	265	265	266	266
Precio por kw	\$ 0,40	\$ 0,42	\$ 0,44	\$ 0,45	\$ 0,47	\$ 0,50	\$ 0,52	\$ 0,54
Total ingreso	\$ 105,61	\$ 110,32	\$ 115,25	\$ 120,39	\$ 125,77	\$ 131,38	\$ 137,25	\$ 143,37
Resumen de gastos operacionales y no operacionales								
Concepto	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Sueldos y salarios personal administrativo	\$ 48,75	\$ 11,71	\$ 12,20	\$ 12,70	\$ 13,22	\$ 13,76	\$ 14,33	\$ 14,92
Depreciaciones	\$ 45,00	\$ 45,00	\$ 45,00	\$ 45,00	\$ 45,00	\$ 45,00	\$ 45,00	\$ 45,00
Amortizaciones	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50
Total gasto de operación	\$ 96,25	\$ 59,21	\$ 59,70	\$ 60,20	\$ 60,72	\$ 61,26	\$ 61,83	\$ 62,42

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Análisis: Como se puede observar los ingresos anuales para el primer año será de \$ 105,61 dólares y los gastos anuales de \$ 96,25 dólares.

Estado de resultados

Tabla 67: Estado de resultados, implementación de un módulo fotovoltaico

Concepto	AÑO	AÑO	AÑO	AÑO	AÑO	AÑO	AÑO	AÑO
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Ingresos operacionales								
Ventas	\$ 105,61	\$ 110,32	\$ 115,25	\$ 120,39	\$ 125,77	\$ 31,38	\$ 137,25	\$ 143,37
(-) Costo de ventas	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -			
(=) Utilidad bruta en ventas	\$ 105,61	\$ 110,32	\$ 115,25	\$ 120,39	\$ 125,77	\$ 131,38	\$ 137,25	\$ 143,37
(-) Gastos operacionales								
Sueldos y salarios personal administrativo	\$ 48,75	\$ 11,71	\$ 12,20	\$ 12,70	\$ 13,22	\$ 13,77	\$ 14,33	\$ -
Depreciaciones	\$ 45,00	\$ 45,00	\$ 45,00	\$ 45,00	\$ 45,00	\$ 45,00	\$ 45,00	\$ 45,00
Amortizaciones	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50
Total gasto operacional	\$ 96,25	\$ 59,21	\$ 59,70	\$ 60,20	\$ 60,72	\$ 61,27	\$ 61,83	\$ 47,50
(=) Resultado antes de impuestos	\$ 9,36	\$ 51,11	\$ 55,55	\$ 60,19	\$ 65,04	\$ 70,11	\$ 75,41	\$ 95,87
(-) 22% Impuesto a la renta	\$ 2,06	\$ 7,67	\$ 8,33	\$ 9,03	\$ 9,76	\$ 10,52	\$ 11,31	\$ 14,38
(=) Resultado del ejercicio	\$ 7,30	\$ 43,44	\$ 47,22	\$ 51,16	\$ 55,29	\$ 59,60	\$ 64,10	\$ 81,49

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Análisis: La Tabla 67 muestra la utilidad neta que se va a obtener el sistema fotovoltaico, para el primer año se obtendrá una utilidad de \$7,30 dólares

Flujo de fondos

Tabla 68: Flujo de fondos, implementación de un módulo fotovoltaico

Concepto	Año 0	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
(=) Resultado neto del ejercicio		\$ 7,30	\$ 43,44	\$ 47,22	\$ 51,16	\$ 55,29	\$ 59,60	\$ 64,10	\$ 81,49
(+) Depreciación		\$ 45,00	\$ 45,00	\$ 45,00	\$ 45,00	\$ 45,00	\$ 45,00	\$ 45,00	\$ 45,00
(+) Amortización		\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50
(+) Reservas		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
(-) Inversión en propiedad planta y equipo (activos fijos)	\$ 1.350,00								
(-) Inversión diferidos e intangibles	\$ 20,00								
(-) Efectivo y equivalentes al efectivo	\$ 48,75								
(+) Recuperación en inversión									\$ 990,00
(=) Flujo de fondos netos	\$ -1.418,75	\$ 54,80	\$ 90,94	\$ 94,72	\$ 98,66	\$ 102,79	\$ 107,10	\$ 111,60	\$ 1.118,99

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Análisis: La Tabla 68 muestra la rentabilidad del proyecto a partir del flujo de efectivos se podrá obtener el VAN, TIR, PAY BACK y costo Beneficio el cual será de utilidad para conocer si el proyecto es viable o no.

Valor actual neto (VAN)

Tabla 69: Valor actual neto (VAN) para la implementación de un módulo solar fotovoltaico

Tasa activa		8,54%								
Años	0	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Flujo netos de fondos en dólares	-1.418,75	54,80	90,94	94,72	98,66	102,79	107,10	111,60	1.118,99	
Valor actual neto (VAN)		\$ 27,73								

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Análisis: De la Tabla 69 el valor en el cual se basa la decisión de la inversión, en el momento actual si no se lo hace en este momento este valor crecerá en el transcurso de los años, con el cual no será el mismo siendo el valor obtenido \$ 27,73.

Tasa interna de retorno (TIR)

Tabla 70: Tasa interna de retorno (TIR) de la implementación de un módulo fotovoltaico

Tasa activa		8,54%								
Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
Flujo netos de fondos en dólares	-1.418,75	54,80	90,94	94,72	98,66	102,79	107,10	111,60	1.118,99	
Tasa interna de retorno (TIR)		8,95%								

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Análisis: De la Tabla 70 la ganancia que va a obtener, además con este indicador se puede decir si e negocio es rentable teniendo una tasa interna de retorno del \$ 8,95%

PAY BACK

Tabla 71: PAY BACK de la implementación de un módulo fotovoltaico

Inversión inicial	\$ 1.418,75	
Año	Flujo de fondos	Flujo de fondos acumulado
2015	\$ 54,80	\$ 54,80
2016	\$ 90,94	\$ 145,74
2017	\$ 94,72	\$ 240,46
2018	\$ 98,66	\$ 339,12
2019	\$ 102,79	\$ 441,91
2020	\$ 107,10	\$ 549,00
2021	\$ 111,60	\$ 660,60
2022	\$ 1.118,99	\$ 1.779,60

$\frac{\text{Inversión Inicial} * \text{N}^\circ \text{Periodos}}{\text{Flujo de Fondos Acumulado}}$	7,81	7	Años
$(7,81 - 7) * 12$	9,75	9	Meses
$(9,75-9)* 30$	22	22	Días

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Análisis: De la Tabla 71 el PAY BACK es el periodo de recuperación de la inversión en este caso será de 7 años 9 meses 22 días, es atractivo porque considerando la entrevista al experto y lo revisado en la bibliografía un sistema fotovoltaico tiene un tiempo de retorno de la inversión entre 15 a 20 años para que sea sostenible y rentable.

Costo Beneficio

Tabla 72: Costo beneficio de la implementación de un módulo fotovoltaico

Inversión inicial	\$ 1.418,75
Año	Flujo de fondos
2015	\$ 54,80
2016	\$ 90,94
2017	\$ 94,72
2018	\$ 98,66
2019	\$ 102,79
2020	\$ 107,10
2021	\$ 111,60
2022	\$ 1.118,99
Sumatoria total:	\$ 1.779,60
Costo beneficio	\$ 1,25

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Análisis: De la Tabla 72 la relación costo beneficio, es el dinero que se tiene para pagar por cada dólar la deuda en la Tabla 60 se puede observar que este es de \$1,25 dólares, lo que quiere decir que se tendrá 0,25 centavos adicionales por cada dólar de deuda.

Valoración de las toneladas de CO_2 emitidas al ambiente, un módulo fotovoltaico

La implementación del sistema fotovoltaico ayudará a reducir la contaminación en el medio ambiente, con beneficios tanto local como universal, para el bienestar de los seres vivos del planeta.

El sistema fotovoltaico producirá energía renovable que repercute en la disminución de las emisiones de CO_2 , por tanto la disminución de la contaminación atmosférica, mitigando el efecto invernadero y el cambio climático que de él se deriva, la instalación fotovoltaica conectada a la red (SFCR) no contamina química, electromagnética, ni acústicamente, siendo altamente recomendable para la conservación del medio ambiente, para esto se calcula el número de toneladas de CO_2 que serán disminuidas y dejadas de emitir al medio ambiente (Ver ecuación (13) UNFCCC/CCNUCC, 2012, p.20)

$$BE_y = EG_{PJ,y} * EF_{grid,CM,y} \quad (13)$$

Donde:

BE_y = Las emisiones de línea de base en el año y (tCO₂ / año)

$EG_{PJ,y}$ = Cantidad de generación neta de electricidad que se produce y transmite a la red como resultado de la implementación de la actividad del proyecto en el año (MWh / año, ver ecuación 14, p. 123)

$EF_{grid,CM,y}$ = Factor de emisión de CO₂ del margen para la generación de energía conectada a la red en el año (tCO₂ / MWh, SNI Ecuador, 2013, p. 21)

$$BE_y = 0,264 MWh * 0.6071t CO_2/MWh$$

$$BE_y = 0,16 tCO_2$$

Determinado las emisiones base por año se procede mediante la ecuación (14) (CONUEE, 2009); a determinar el consumo energético que las centrales que utilizan gas natural, carbono y diésel para generar ese nivel de emisión de CO₂.

$$E = FE * Cf \quad (14)$$

E = Emisiones de gas efecto invernadero = BE_y

Fe = Factor de emisión estándar (CO₂ g/kWh) ver la Tabla 97

Cf = Consumo del energético (Actividad) kWh

De la ecuación (14) se despeja el consumo energético (Actividad):

$$Cf = \frac{E}{FE} \quad (15)$$

Los factores de emisión del gas natural, carbono y diésel se detallan en la Tabla 73.

Tabla 73: Factor de emisión estándar (CO2 g/kWh), de gas natural, carbón, diésel

N°	Combustible	CO2 g/kWh
1	Gas natural	380
2	Carbón	840
3	Diésel	860

Fuente: SunEarthTool, 2009-2015

Para determinar el consumo del energético por cada actividad, primero se debe convertir de toneladas a gramos (1 toneladas = 1000000 g) Caudillo R. 2012, las emisiones de línea de base en el año, como se detalla en la ecuación (16) Rodríguez P., 2011, p.17.

$$e = u * fc \quad (16)$$

e = equivalencia de la actividad

u = unidad la actividad

fc = factor de conversión

$$E = 0.16 \frac{tCO2}{año} * \frac{1000000g}{1 t}$$

$$E = 160000 g CO2/año$$

Este valor se reemplaza en la ecuación (15), obteniéndose el consumo energético por actividad que se muestra en la Tabla 74.

Tabla 74: Consumo energético por actividad (kWh/año), de gas natural, carbón, diésel

N°	Combustible	kWh/año
1	Gas natural	421,05
2	Carbón	190,47
3	Diésel	186,04

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Obtenido el consumo energético del gas natural, carbón y diésel en kWh/año se procede a transformar de kWh a kcal (1kWh= 860 kcal, Rodríguez P., 2011, p.19.) para obtener el poder calorífico de cada uno de estos como se detalla en la ecuación (17) Rodríguez P., 2011, p.17.

$$e = u * fc \quad (17)$$

e = equivalencia de la actividad

u = unidad la actividad

fc = factor de conversión

Reemplazando los valores del gas natural en la ecuación (18) se obtiene:

$$Gas\ natural = 421,05 \frac{kWh}{año} * \frac{860kcal}{kWh}$$

$$Gas\ natural = 362103\ kcal/año$$

Reemplazando los valores del carbón en la ecuación (18) se obtiene:

$$Carbón = 190,47 \frac{kWh}{año} * \frac{860kcal}{kWh}$$

$$Carbón = 163842\ kcal/año$$

Reemplazando los valores del diésel en la ecuación (18) se obtiene:

$$Diésel = 186,04 \frac{kWh}{año} * \frac{860kcal}{kWh}$$

$$Diésel = 160000 \text{ kcal/año}$$

Los valores del poder calorífico del gas natural, carbón y diésel se muestran en la Tabla 75.

Tabla 75: Poder calorífico (kcal/año), de gas natural, carbón, diésel

N°	Combustible	kcal/año
1	Gas natural	362103
2	Carbón	163842
3	Diésel	159994,4

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Obtenido el poder calorífico (kcal/año) del gas natural se procede a determinar el volumen que fue necesario para producir este, se procede a transformar de kcal a unidades a m^3 , como se detalla en la ecuación (18) Rodríguez P., 2011, p.17.

$$e = u * fc \tag{18}$$

e = equivalencia de la actividad (gas natural)

u = unidad la actividad (gas natural)

fc = factor de conversión de kcal a m^3 , ($m^3 = 9300 \text{ kcal}$; Serrani H., 2012)

Reemplazando los valores del gas natural se obtiene:

$$Gas \text{ natural} = 362103 \frac{kcal}{año} * \frac{1m^3}{93 \text{ kcal}}$$

$$Gas \text{ natural} = 3893,58 \text{ m}^3/\text{año}$$

Para determinar el volumen de carbón que fue necesario para producir dicho poder calorífico, se procede a transformar de kcal a unidades a kg, como se detalla en la ecuación (19) Rodríguez P., 2011, p.17.

$$e = u * fc \quad (19)$$

e = equivalencia de la actividad (carbón)

u = unidad la actividad (carbón)

fc = factor de conversión de kcal a kg, ($1kg = 81,40$ kcal; Poder calorífico., 2015)

Reemplazando los valores del gas natural se obtiene:

$$\begin{aligned} \text{carbón} &= 163842 \frac{\text{kcal}}{\text{año}} * \frac{1\text{kg}}{81,40 \text{ kcal}} \\ \text{carbón} &= 2012,08 \text{ kg/año} \end{aligned}$$

Para determinar el volumen del diésel que fue necesario para producir dicho poder calorífico, primero se procede a determinar la masa de diesel, como se detalla en la ecuación (20) Rodríguez P., 2011, p.17.

$$e = u * fc \quad (20)$$

e = equivalencia de la actividad (diésel)

u = unidad la actividad (diésel)

fc = factor de conversión de kcal a g, ($g = 107$ kcal; Poder calorífico., 2015)

Reemplazando los valores del gas diésel se obtiene:

$$\begin{aligned} \text{Diésel} &= 159994,4 \frac{\text{kcal}}{\text{año}} * \frac{1\text{kg}}{107 \text{ kcal}} \\ \text{Diésel} &= 1495,27 \text{ kg/año} \end{aligned}$$

Determinada la masa de diésel se procede a determinar el volumen de este como se detalla en la ecuación (21) Rodríguez P., 2011, p.18.

$$v = \frac{m}{\rho} \quad (21)$$

Donde:

v = Volumen (Diésel)

M = masa (Diésel)

ρ = densidad (Diésel = 0,84 g/cm³, Melo E., 2013)

$$v = \frac{1495,27 \text{ kg/año}}{0,84 \text{ g/cm}^3} * \frac{1l}{1000 \text{ cm}^3} * \frac{1000g}{1kg}$$

$$v = 1780,08 \text{ litros/año de disel}$$

En la Tabla 76 se muestran los volúmenes de combustibles no renovables que se dejaría de utilizar.

Tabla 76: Volumen de gas natural, carbón, diésel

N°	Combustible	Volumen
1	Gas natural	3893,58 m ³ /año
2	Carbón	2012,0 kg/año
3	Diésel	1780,08 litros/año

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

De la Tabla 76 es evidente que en condiciones semejantes al dejar de emitir 0,16 tCO₂ / año por parte del sistema fotovoltaico, se dejaría de quemar 3893,58 m³/año de gas natural o 2012,0 kg/año de carbono o 1780,08 litros/año de diésel lo cual favorecerá a dejar la dependencia de combustibles fósiles y a mitigar el cambio climático.

Alternativa No 2.- Sistema fotovoltaico (Dos módulos fotovoltaicos) conectado a la red (SFCR) para cubrir la carga instalada en la vivienda.

Se determinará el aporte de energía que se tiene por parte del sistema solar fotovoltaico con dos módulos hacia la red y el porcentaje con el que aporta en la reducción del consumo de energía eléctrica convencional. (Ver Tabla 77)

Tabla 77: Comparación entre energía consumida en la vivienda y generada acumulada (dos módulos ZYTECH tipo 230P) por el sistema fotovoltaico

Hora	Energía producida por un módulo [Wh]	Energía producida por dos módulos [Wh]	Energía promedio consumida [Wh]	EXCEDENTE [Wh]
08:00-9:00	68,863	137,727	102,263	35,463
09:00-10:00	94,747	189,494	114,837	74,657
10:00-11:00	115,331	230,661	127,553	103,108
11:00-12:00	120,538	241,075	104,792	136,284
12:00-13:00	128,722	257,444	125,991	131,454
13:00-14:00	125,443	250,885	118,808	132,077
14:00-15:00	110,052	220,103	118,311	101,792
15:00-16:00	83,873	167,746	126,378	41,368
Total [Wh]	847,568	1695,136	938,933	756,203

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

En la Tabla 77 se observa que con la implementando dos módulos fotovoltaicos existe un excedente de 756,203 vatios por hora (Wh), los cuales se puede aprovechar almacenándolos en baterías para su posterior utilización.

En la Figura 65 se observa que para este tipo de sistema fotovoltaico se necesita dimensionar el acumulador (baterías) y el regulador de carga.

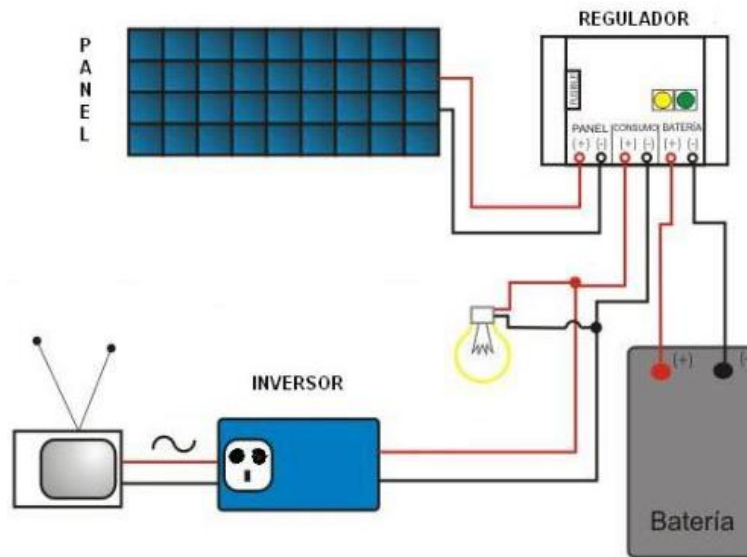


Figura 65: Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red con acumulador (batería)

Fuente: Antusol, 2010

Cálculo de la capacidad del acumulador (Baterías)

La batería es el almacén de la instalación fotovoltaica, por tanto la capacidad de carga quedará determinada por la ecuación (22) (CONELEC, 2008, p.9)

$$C. \text{ diaria de la corriente} = \frac{\text{Carga CC total diaria}}{\text{Tensión CC del sistema}} \quad (22)$$

Donde:

C. diaria de la corriente = Capacidad de carga de la corriente

Carga CC total diaria = Carga en corriente continua total diaria (756,203 Wh; ver Tabla 39)

Tensión CC del sistema = Tensión en corriente continua del sistema (12 Voltios, para potencias menores a 400W, Cuervo R., Veritas B., Méndez J., 2013, p. 151)

$$C. \text{ diaria de la corriente} = \frac{756,203 \text{ Wh}}{12 \text{ v}}$$

$$C. \text{ diaria de la corriente} = 63,01 \text{ Ah}$$

Una vez obtenida capacidad de carga de la corriente se debe multiplicar por el factor de seguridad, como se indica en la ecuación (23) CONELEC, 2008, p.9.

$$C. C. \text{ corregida} = C. \text{ diaria de la corriente} * FS \quad (23)$$

Donde:

C. C. corregida = Carga corriente corregida

C. diaria de la corriente = Carga en corriente continua total diaria

FS= Factor de seguridad (pérdidas del sistema) = 1,2

$$C. C. \text{ corregida} = 63.01 \text{ Ah} * 1,2 = 76,52 \text{ Ah}$$

Calculada la carga de corriente corregida se procede a calcular la capacidad corregida del banco de baterías, como se indica en la ecuación (24) CONELEC, 2008, p.9.

$$C. C. \text{ banco de baterías} = \frac{C.C.corregida}{P.D.} \quad (24)$$

Donde:

C. C. banco de baterías = Capacidad corregida banco de baterías

C. C. corregida = Carga corriente corregida

P.D. =Profundidad de descarga (menor de 1.00) = 0,6 CONELEC, 2008, p.9.

$$\text{Capacidad corregida banco de baterías} = \frac{76,52 \text{ Ah}}{0,6} = 126,03 \text{ Ah}$$

Con estos datos se selecciona la Batería ULTRACELL UCG150-12 GEL de ciclo profundo con las siguientes características (Ver Anexo I1), las características de esta se muestran en la Tabla 78:

Tabla 78: Características principales de la batería ULTRACELL UCG 150-12

Datos técnicos	
Nominal Voltaje	12 V
Capacidad nominal	150Ah
Máxima corriente de descarga	1000A (5s)
Factor de capacidad	20hr, 1.80V/cell, 25°C - 160.8 Ah/8.04A 10hr, 1.80V/cell, 25°C - 150.0 Ah/15.0A 5hr, 1.75V/cell, 25°C - 131.6 Ah/26.3A 3hr, 1.75V/cell, 25°C - 119.3 Ah/39.8A 1hr, 1.60V/cell, 25°C - 96.9 Ah/96.9A
Temperatura nominal de funcionamiento	25 ± 3 ° C
Tensión de salida nominal (V)	13.5V ~ 13.8V at 25°C (77°F)
Tiempo de vida a 20 ° C	15 años

Fuente: PROVIENTO, 2015

Arreglo de baterías, dos módulos fotovoltaicos

El arreglo de baterías se determina con la ecuación (25) CONELEC, 2008, p.9

$$A. \text{ de baterías en paralelo} = \frac{C.C.\text{banco de baterías}}{C.N.\text{de la batería}} \quad (25)$$

Donde:

A. de baterías en paralelo = Arreglo de baterías en paralelo

C.C. banco de baterías = Capacidad corregida banco de baterías

C. N. de la batería = Capacidad nominal de la batería

$$\text{Arreglo de baterías en paralelo} = \frac{126,03 \text{ Ah}}{150 \text{ Ah}}$$

$$\text{Arreglo de baterías en paralelo} = 0,84$$

De este cálculo se determina que se necesita 1 batería ULTRACELL UCG100-12 GEL para almacenar los 561,632 Wh.

Elección del regulador de carga

El regulador se selecciona de acuerdo a la máxima intensidad de línea que pueda manejar el sistema fotovoltaico, como se indica en la ecuación (26) (Cuervo R., Veritas B., Méndez J., 2013, p. 153)

$$I_{\text{máx generador}} > 1,25 I_{\text{máx carga}} \quad (26)$$

Donde:

$I_{\text{máx generador}}$ = Máxima intensidad soportada en la línea del generador

$I_{\text{máx carga}}$ = Intensidad máxima de carga

1,25 = Factor de seguridad

Se utiliza la ecuación (27) para determinar la máxima intensidad soportada en la línea del generador (Cuervo R., Veritas B., Méndez J., 2013, p. 153).

$$W = V C. C. * I \quad (27)$$

Donde:

W = Potencia que soportara la línea del generador (257,444 W; ver Tabla 62, p. 143)

V C. C. = Voltaje en corriente continua (12 Voltios, para potencias menores a 400W, Cuervo R., Veritas B., Méndez J., 2013, p. 151)

I= Intensidad de la línea (A)

De la ecuación (27) se despeja la intensidad para conocer que regulador es el más adecuado.

$$I = \frac{W}{V} = \frac{257,444 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 21,45 \text{ A}$$

La intensidad de la línea 21,45 A se reemplaza en la ecuación (26):

$$IL = 21,45 A * 1,25$$

$$IL = 26,81 A$$

Con estos datos se procede a elegir el regulador ProStar PS-30 comercial con las siguientes características que se muestran en la Tabla 79 (Ver Anexo J1):

Tabla 79: Regulador de carga ProStar PS-30

Datos técnicos	
Corriente solar especificada	30 A
Corriente de carga especificada	30 A
Tensión del sistema	12 V
Opción de medidor digital	Sí
Opción de tierra positiva	Sí

Fuente: ProStar, 2014

Una vez seleccionado los componentes se determinará el aporte de energía que se tiene por parte del acumulador (baterías) hacia la red y el porcentaje con el que aporta en la reducción del consumo de energía eléctrica convencional. (Ver Tabla 77; 756,203 Wh)

Tabla 80: Comparación entre energía acumulada por las baterías (dos módulos) y consumida en la vivienda

Hora	Energía acumulada [Wh]	Energía promedio consumida [Wh]	Energía restante acumulada [Wh]	Porcentaje disminuido de consumo
16:00 - 17:00	756,203	121,816	634,387	100%
17:00 - 18:00	634,387	112,739	521,647	100%
18:00 - 19:00	521,647	159,109	362,539	100%
19:00 - 20:00	362,539	215,411	147,128	100%
20:00 - 21:00	147,128	199,408	-52,280	74%

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

*Datos de la energía promedio consumida (Ver anexo B5)

En la Tabla 80 se puede observar que con la implementación de dos módulos se puede obtener energía para la vivienda de 16:00 a 20:00 al 100% y una reducción del 74% de 20:00 a 21:00.

Selección de los conductores para dos módulos fotovoltaicos

Cableado de corriente continua, dos módulos fotovoltaicos

Como se mencionó anteriormente los cables adecuados para el sistema solar fotovoltaico conectado a la red (SFCR) son los cables tipo PV ZZ-F (AS) de la marca TOPSOLAR.

Selección del cable en corriente continua (CC), dos módulos fotovoltaicos

El cable se dimensiona en función de la corriente máxima de salida del arreglo fotovoltaico, por factor de seguridad se considera el 125 % de la intensidad máxima de salida del arreglo fotovoltaico que va a transportar la línea de corriente continua, como se muestra en la ecuación (28), Harper E., 2005.

$$I_{\text{máx}} \text{ arreglo fotovoltaico} = I_{\text{mpp}} (\text{arreglo fotovoltaico}) * 1.25 \quad (28)$$

Donde:

$I_{\text{máx}}$ arreglo fotovoltaico = Corriente máxima que va a transportar la línea (A)

I_{mpp} (arreglo fotovoltaico) = Corriente máxima de todo el arreglo fotovoltaico (7,50;

Ver Anexo G1)

Factor de seguridad =1,25

$$I_{\text{máx}} \text{ arreglo fotovoltaico} = 15 \text{ A} * 1,25$$

$$I_{\text{máx}} \text{ arreglo fotovoltaico} = 18,75 \text{ A}$$

El cable que se proyecta utilizar soporta en condiciones extremas 40 A, por lo tanto la corriente máxima está dentro de los rangos que soporta el cable por esto y por todas las prestaciones, mencionadas el cable tipo PV ZZ-F(AS) 2,5 mm²(Ver Anexo K1), es perfecto para la instalación fotovoltaica.

Calculo de la caída de tensión para cable en corriente continua (CC), dos módulos fotovoltaicos

Para el cálculo del porcentaje de caída de tensión, se considera la ecuación (29) Harper E., 2005

Primero se debe calcular la caída de voltaje (ver la ecuación 9, ver p. 119):

$$\Delta V = \frac{2 * \rho * L * I_{\text{máx arreglo fotovoltaico}}}{s} \quad (29)$$

Donde:

ρ = Resistividad del cobre en (0,0176 Ω mm²/m)

L= Longitud en (m) del arreglo fotovoltaico al inversor

$I_{\text{máx arreglo fotovoltaico}}$ = Corriente máxima del arreglo fotovoltaico en amperios (A)

s= sección en mm²

$$\Delta V = \frac{2(0,0176 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}})(10\text{m})(18,75 \text{ A})}{2,5 \text{ mm}^2}$$

$$\Delta V = 2,64 \text{ V}$$

Una vez se calculó la caída de tensión se procede a calcular la caída de tensión en porcentaje como expresa la ecuación (30) Harper E., 2005.

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_{\text{mpp Arreglo}}} \quad (30)$$

Donde:

$\% \Delta V$ = Caída de tensión en porcentaje

ΔV = Caída de tensión (V)

$V_{\text{mpp Arreglo}}$ = Voltaje máximo del arreglo fotovoltaico (30,66V por dos módulos;

Ver Anexo G1)

$$\% \Delta V = \frac{2,64 \text{ V}}{61,32 \text{ V}}$$

$$\% \Delta V = 0,043\%$$

El cable que se utilizará desde el arreglo fotovoltaico al inversor, es PV ZZ-F 2,5 mm² (AS) de la marca TOPSOLAR (Anexo K1), debido a que la caída de tensión es despreciable para su instalación.

Selección del cable en corriente alterna (CA), un módulo fotovoltaico

Para la selección del cableado por criterio térmico se proyecta situar el inversor en el sistema fotovoltaico en el patio trasero de la vivienda, de donde saldrá la conexión hasta el tablero de distribución de la vivienda que se encuentra en la sala de la misma, el cable será instalado vía canaleta. (Ver la ecuación (31) Harper E., 2005.)

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{P}{V} \quad (31)$$

Donde:

$I_{m\acute{a}x}$ = Intensidad máxima (A)

P = Potencia en vatios del panel (W)

V = Tensión en voltios de la red (120 V)

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{460 \text{ W}}{120 \text{ V}}$$

$$I_{m\acute{a}x} = 2,83 \text{ A}$$

El cable que se proyecta utilizar es el N° 14 AWG de la marca VIAKON HHW/XHHW-2 600V (ver Anexo L1) soporta en condiciones extremas 20 A, por lo tanto la corriente máxima está dentro de los rangos que soporta el cable por esto y por todas las prestaciones es perfecto para la instalación fotovoltaica.

Cálculo de la energía producida anualmente por dos módulos fotovoltaicos

La energía producida por el sistema fotovoltaico en un período anual puede ser estimada, de forma aproximada, con la ecuación (32) Perpiñán O., 2013.

$$E_{ac} = P^* \frac{G_{efa}}{G_{stc}} (PR)(1 - FS) \quad (32)$$

Donde:

E_{ac} = Es la energía producida anual (kWh)

P^* = Potencia nominal del generador FV (W)

G_{efa} = Irradiación efectiva anual incidente en el plano del generador (kWh/m²)

G_{stc} = Irradiación en condiciones estándar de medida (1 kW/m² constante)

PR = Rendimiento del sistema o performance ratio (0.74)

FS = Factor de sombras (0,04)

$$E_{ac} = 0,460 \text{ kW} \frac{1615,84 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}}{1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}} (0.74)(1 - 0.04)$$

$$E_{ac} = 528,031 \text{ kWh Anual}$$

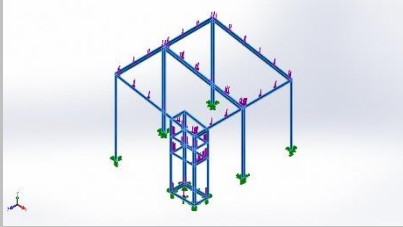
Diseño de la estructura de soporte para dos módulos fotovoltaicos

La estructura de soporte, ancla el generador solar, proporciona la orientación y el ángulo de inclinación idóneo para el mejor aprovechamiento de la radiación. (Guía técnica de aplicación para instalaciones de energías renovables, 2014, p. 33)

Material

La estructura soporte de paneles de hierro tendrá un galvanizado mínimo de 100 micras las propiedades de este material se muestra en la Tabla 66. (Guía técnica de aplicación para instalaciones de energías renovables, 2014, p. 93)

Tabla 81: Acero galvanizado, estructura un módulo fotovoltaico

Referencia de modelo	Propiedades
	Nombre: Acero galvanizado
	Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal
	Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.
	Límite elástico: 2.03943e+008 N/m²
	Límite de tracción: 3.56901e+008 N/m²
	Módulo elástico: 2e+011 N/m²
	Coefficiente de Poisson: 0.29
	Densidad: 7870 kg/m³

Fuente: Informe Solidworks, 2015

Ángulo y dirección quedan determinados por:

Los paneles fijos inclinado hacia el Sur (Perpiñán O., 2013)

El ángulo óptimo del panel =10°, según Norma Técnica Ecuatoriana NEC-11, Capítulo 14, tabla 14.B1.1 (Ver Tabla 13, p.66)

Cargas

Las cargas a que estará sometida la estructura son las siguientes:

Peso del inversor	$W_{inv} = 49 \text{ N}$
Peso del panel solar	$W_{pan} = 49 \text{ N}$
Peso de la batería	$W_{bat} = 98 \text{ N}$
Peso propio del regulador de carga	$W_{reg} = 9,8 \text{ N}$
Peso propio de la estructura	$W_{est} = 681,543 \text{ N}$

Análisis de esfuerzos, un módulo fotovoltaico

El análisis de esfuerzos de la estructura para el soporte de un módulo fotovoltaico se realiza con ayuda del método de elementos finitos con el programa CAE (Informe Solidworks, 2015), para lo cual se tomará las siguientes condiciones que se muestran en la Tabla 82:

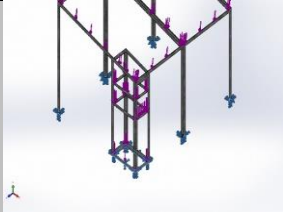
Tabla 82: Peso estructura, un módulo fotovoltaico
Peso de la estructura un módulo fotovoltaico

Masa	69,5452 kg
Peso	681,543 N
Volumen	0,00883676 m ³
Densidad	7870 kg/m ³

Fuente: Informe Solidworks, 2015

Sujeción de la estructura para dos módulos fotovoltaicos

Tabla 83: Sujeción de la estructura

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción	
Fijo-1		Entidades:	12 cara(s)
		Tipo:	Geometría fija

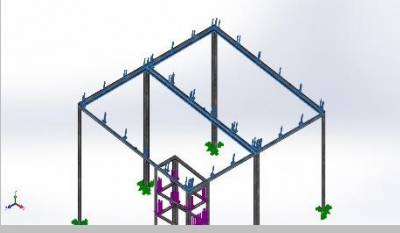
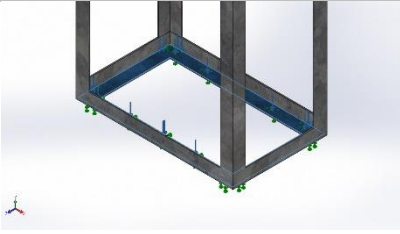
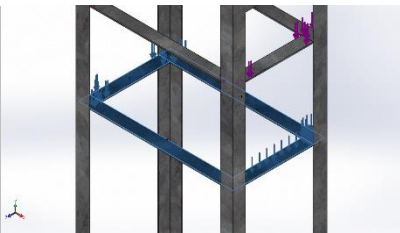
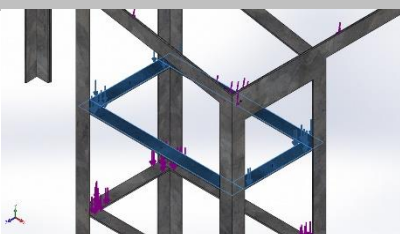
Fuerzas resultantes

Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	17.0546	380.696	0.0594542	381.078
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Fuente: Informe Solidworks, 2015

Cargas de la estructura, dos módulos fotovoltaicos

Tabla 84: Cargas de la estructura, un módulo fotovoltaico

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza Paneles		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 49 N
Fuerza Batería		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 98 N
Fuerza Inversor		Entidades: 3 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 49 N
Fuerza Regulador		Entidades: 4 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 9.8 N

Fuente: Informe Solidworks, 2015

Fuerzas resultantes en la estructura, un módulo fotovoltaico

Tabla 85: Fuerzas resultantes, un módulo fotovoltaico

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	17,0546	380,696	0,0594542	381,078

Fuente: Informe Solidworks, 2015

Resultados del estudio de la estructura para dos módulos fotovoltaicos

El resultado obtenido por Solid Works de la tensión de von Mises (Ver Figura 66), generó una tensión máxima de 49,20 MPas, que se encuentra dentro del límite elástico del material que es de 203,9 MPas

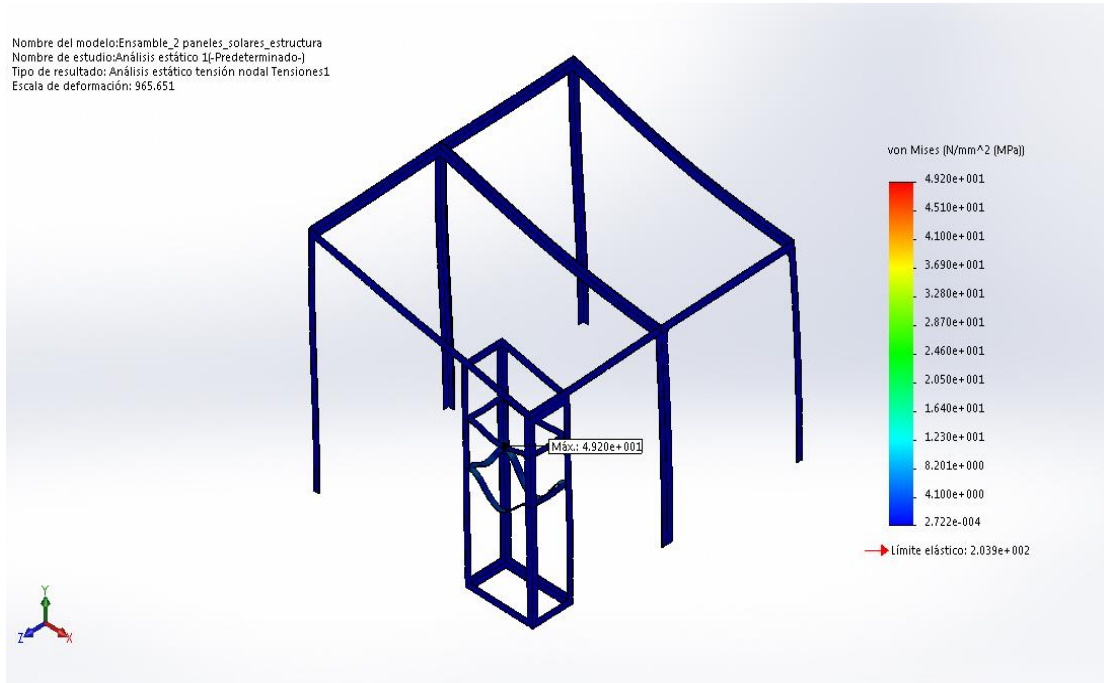


Figura 66: Tensión de von Mises, estructura de dos módulos fotovoltaicos
Fuente: Informe Solidworks, 2015

El resultado obtenido por Solid Works para el desplazamiento estático (Ver Figura 67), dio como resultado un máximo desplazamiento de 0.208 mm, a causa de las cargas que está expuesto. Este valor indica que existirá una pequeña deformación, que no afectará a la estructura.

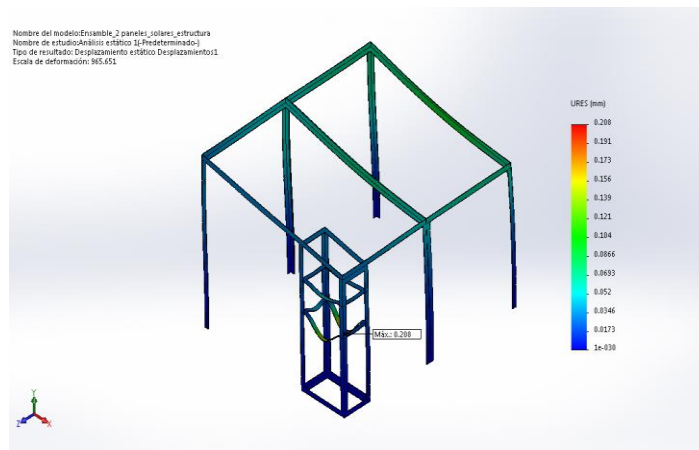


Figura 67: Desplazamiento estático, estructura de dos módulos fotovoltaicos
Fuente: Informe Solidworks, 2015

El resultado obtenido por Solid Works al estudio estático dio como resultado un factor de seguridad de 4,1 a lo largo de la estructura (Ver Figura 68), este es el punto más crítico y está sobre el factor de seguridad mínimo admitido que es de 2 para este tipo de estructuras.

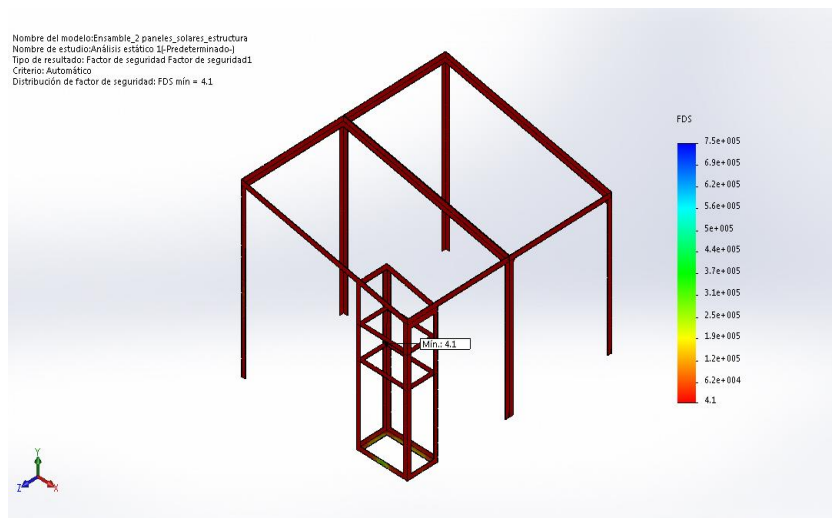


Figura 68: Factor de seguridad, estructura de dos módulos fotovoltaicos
Fuente: Informe Solidworks, 2015

Con los análisis realizados se concluyó que el material seleccionado es adecuado para la construcción de la estructura y cumple con los requerimientos que se necesita, los planos de la estructura para la implementación de dos módulos fotovoltaicos se encuentran en el Anexo O.

Mantenimiento del sistema, dos módulos fotovoltaicos

En la Tabla 86 se muestra el cronograma de mantenimiento preventivo para dos módulos fotovoltaicos.

Tabla 86: Cronograma de mantenimiento preventivo, dos módulos fotovoltaicos

Cronograma de mantenimiento preventivo, dos módulos		
Maquinaria/Equipo	Actividad	Periodo
Panel solar ZYTECH tipo 230P	Limpieza del panel	Semanal
	Inspección visual de posibles degradaciones internas y de la estanqueidad del panel	Mensual
	Control de las características eléctricas del panel	Anual
Inversor POWERSTAR LW 1000	Control de las conexiones eléctricas del inversor	Mensual
	Control de las características eléctricas del inversor	Anual
Regulador de carga ProStar PS-30	Control de las conexiones eléctricas del regulador	Mensual
	Control de las características eléctricas del regulador	Anual
Batería ULTRACELL UCG 150-12	Control de las características eléctricas de la batería	Anual
Estructura	Control del estado físico de la estructura	Anual

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Valoración financiera de costos del proyecto para la implementación de dos módulos fotovoltaicos en el sistema

Para el análisis de la inversión necesaria de la implementación de dos módulos fotovoltaicos al sistema es necesario realizar el estudio de los siguientes aspectos que se muestran en la Tabla 87:

Tabla 87: Aspectos generales, implementación de dos módulos fotovoltaicos

Cantidad kW anuales	528	KW
Precio	0,40	\$
Inflación anual	4,36	%
Recursos propios	3085,00	\$
Tasa de crecimiento sueldos	4,12	%
Tasa activa	8,54	%

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Inversión de activos fijos

Tabla 88: Inversión activos fijos, implementación de dos módulos fotovoltaicos

Detalle	Característica	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Maquinaria y herramientas			\$	\$
Panel solar	Monocristalino ZYTECH 230P	1	550,00	1100,00
Inversor	Conexión a red eléctrica	1	450,00	450,00
Sistema de Protección e implementos	Instalaciones	2	100,00	200,00
Regulador		1	280,00	280,00
Baterías	Larga duración	1	490,00	490,00
Total maquinaria y herramientas				2.520,00
Muebles y enseres				
Estructura	Acero Aluminio	1	225,00	450,00
Total muebles y enseres				450,00
Total activos fijos:				2.970,00

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Depreciación de los dos módulos fotovoltaicos:

Tabla 89: Depreciación, implementación de dos módulos fotovoltaicos

Detalle	Costo total	Horas de vida útil	Horas utilizables	Depreciación por años expresada en dólares (\$)								Valor residual	
				Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8		
Maquinaria y herramientas	\$ 2.520,00	86400	2880	84,00	84,00	84,00	84,00	84,00	84,00	84,00	84,00	84,00	1.848,00
Muebles y enseres	\$ 450,00	86400	2880	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	330,00
Total activos fijos:	\$ 2.970,00	172800	5760	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	2.178,00

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Análisis: De la Tabla 89 en el caso del sistema para un módulo fotovoltaico se realizará la depreciación mediante el método de unidades producidas, es decir se depreciará por las horas utilizadas de los equipos.

Activos Intangibles para los dos módulos fotovoltaicos

Tabla 90: Activos intangibles, implementación de dos módulos fotovoltaicos

Detalle	Costo total (\$)
Patentes \$	20,00
Total \$	20,00

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Análisis: Se patentará el proyecto de los dos módulos del sistema fotovoltaico.

Amortización Activos Intangibles para los dos módulos fotovoltaicos

Tabla 91: Amortización activos intangibles, implementación de dos módulos fotovoltaicos

Años de amortización	Amortización por año expresada en dólares							
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8
8	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50
8	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Análisis: De la Tabla 91 la amortización por año transcurrido desde la implementación del sistema fotovoltaico que consta de dos módulos fotovoltaicos es de \$2,50 dólares.

Gastos Operacionales para los dos módulos fotovoltaicos

Tabla 92: Gastos operacionales, implementación de dos módulos fotovoltaicos

Gastos operacionales				
Concepto	Mensual	Año	Presupuesto anual	
Sueldos y Salarios	\$ 95,00	1	\$ 95,00	
Total gastos operacionales			\$ 95,00	
	\$ 45,00	1	\$	45,00
	\$ 46,85	1	\$	46,85
	\$ 48,78	1	\$	48,78
	\$ 50,79	1	\$	50,79
Sueldos y Salarios	\$ 52,89	1	\$	52,89
	\$ 55,06	1	\$	55,06
	\$ 57,33	1	\$	57,33
	\$ 59,70	1	\$	59,70

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Análisis: En la Tabla 92 el desarrollo del proyecto (Sistema fotovoltaico conectado a la red, con dos módulos) se tendrá los siguientes gastos, como se observa en la Tabla 76 para el primer año serán de \$ 95 dólares este valor corresponde al pago de sueldo a un técnico que es de \$ 50 dólares el cual se encargará de la instalación de la maquinaria y a uno persona de mantenimiento que se le pagará \$ 45 dólares únicamente este pago se realizará en los días de implementación del proyecto, para el siguiente año se necesitará el servicio de la persona de mantenimiento al cuál se le pagará el valor de \$ 46,85 y continuará en este pago en los subsiguientes años.

Resumen de inversiones para los dos módulos fotovoltaicos

Tabla 93: Inversiones, implementación de dos módulos fotovoltaicos

Resumen de inversiones	
Concepto	Rubro
Inversión de activos fijos	\$ 2.970,00
Inversión de activos diferidos e intangibles	\$ 20,00
Total gastos operacionales y no operacionales	\$ 95
Inversión total	\$ 3.085,00
Gastos operacionales	\$ 95
Gastos no operacionales	\$ -
Total gastos operacionales y no operacionales	\$ 95

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Análisis: En la Tabla 93 se detallan los gastos que se realizarán para la implementación del proyecto que en el primer año serán del valor de \$ 95 y la inversión total será de \$ 3.085,00 dólares.

Resumen de ingresos y gastos para los dos módulos fotovoltaicos

En la Tabla 90 se presentan los ingresos y gastos anuales, como se detalla a continuación:

Tabla 94: Resumen de ingresos y gastos, implementación de dos módulos fotovoltaicos

Resumen de ingresos								
AÑOS	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Ingresos								
Cantidad de kw	528	529	529	530	530	531	531	532
Precio por kw	\$ 0,40	\$ 0,42	\$ 0,44	\$ 0,45	\$ 0,47	\$ 0,50	\$ 0,52	\$ 0,54
Total ingreso	\$ 211,21	\$ 220,64	\$ 230,49	\$ 240,78	\$ 251,53	\$ 262,76	\$ 274,49	\$ 286,75
Resumen de gastos operacionales y no operacionales								
Concepto	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Sueldos y salarios personal administrativo	\$ 95,00	\$ 46,85	\$ 48,78	\$ 50,79	\$ 52,88	\$ 55,06	\$ 57,33	\$ 59,69
Depreciaciones	\$ 99,00	\$ 99,00	\$ 99,00	\$ 99,00	\$ 99,00	\$ 99,00	\$ 99,00	\$ 99,00
Amortizaciones	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50
Total gasto de operación	\$ 196,50	\$ 148,35	\$ 150,28	\$ 152,29	\$ 154,38	\$ 156,56	\$ 158,83	\$ 161,19

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Análisis: Como se puede observar en la Tabla 94 los ingresos anuales para el primer año será de \$ 211,21 dólares y los gastos anuales de \$ 196,50 dólares.

Estado de resultados para los dos módulos fotovoltaicos

Tabla 95: Estado de resultados, implementación de dos módulos fotovoltaicos

Concepto	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Ingresos operacionales								
Ventas	\$ 95,00	\$ 46,85	\$ 48,78	\$ 50,79	\$ 52,89	\$ 55,06	\$ 57,33	\$ -
(-) Costo de ventas	\$ 99,00	\$ 99,00	\$ 99,00	\$ 99,00	\$ 99,00	\$ 99,00	\$ 99,00	\$ 99,00
(=) Utilidad bruta en ventas	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50
(-) Gastos operacionales								
Sueldos y salarios personal administrativo	\$ 14,71	\$ 72,29	\$ 80,21	\$ 88,49	\$ 97,15	\$ 106,20	\$ 115,66	\$ 185,25
Depreciaciones	\$ 3,24	\$ 10,84	\$ 12,03	\$ 13,27	\$ 14,57	\$ 15,93	\$ 17,35	\$ 27,79
Amortizaciones	\$ 11,48	\$ 61,45	\$ 68,18	\$ 75,22	\$ 82,57	\$ 90,27	\$ 98,31	\$ 157,46
Total gasto operacional	\$ 95,00	\$ 46,85	\$ 48,78	\$ 50,79	\$ 52,89	\$ 55,06	\$ 57,33	\$ -
(=) Resultado antes de impuestos	\$ 99,00	\$ 99,00	\$ 99,00	\$ 99,00	\$ 99,00	\$ 99,00	\$ 99,00	\$ 99,00
(-) 22% Impuesto a la renta	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50
(=) Resultado del ejercicio	\$ 196,50	\$ 148,35	\$ 150,28	\$ 152,29	\$ 154,39	\$ 156,56	\$ 158,83	\$ 101,50

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Análisis: La Tabla 95 muestra la utilidad neta que se va a obtener el sistema fotovoltaico, para el primer año se obtendrá una utilidad de \$11,48 dólares.

Flujo de fondos para los dos módulos fotovoltaicos

Tabla 96: Flujo de fondos, implementación de dos módulos fotovoltaicos

Concepto	Año 0	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
(=) Resultado neto del ejercicio		\$ 11,48	\$ 61,45	\$ 68,18	\$ 75,22	\$ 82,57	\$ 90,27	\$ 98,31	\$ 157,46
(+) Depreciación		\$ 99,00	\$ 99,00	\$ 99,00	\$ 99,00	\$ 99,00	\$ 99,00	\$ 99,00	\$ 99,00
(+) Amortización		\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50	\$ 2,50
(+) Reservas		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
(-) Inversión en propiedad planta y equipo (activos fijos)	\$ 2.970,00								
(-) Inversión diferidos e intangibles	\$ 20,00								
(-) Efectivo y equivalentes al efectivo	\$ 95,00								
(+) Recuperación en inversión									\$ 2.178,00
(=) Flujo de fondos netos	\$ -3.085,00	\$ 112,98	\$ 162,95	\$ 169,68	\$ 176,72	\$ 184,07	\$ 191,77	\$ 199,81	\$ 2.436,96

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Análisis: La Tabla 96 muestra la rentabilidad del proyecto a partir del flujo de efectivos se podrá obtener el VAN, TIR, PAY BACK y costo Beneficio el cual será de utilidad para conocer si el proyecto es viable o no.

Valor actual neto (VAN) para los dos módulos fotovoltaicos

Tabla 97: Valor actual neto (VAN) para la implementación de un módulo solar fotovoltaico

Tasa activa	8,54%								
Años	0	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Flujo netos de fondos en dólares	-3.085,00	112,98	162,95	169,68	176,72	184,07	191,77	199,81	2.436,96
Valor actual neto (VAN)	\$ 53,85								

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Análisis: En la Tabla 97 el valor en el cual se basa la decisión de la inversión, en el momento actual si no se lo hace en este momento este valor crecerá en el transcurso de los años, con el cual no será el mismo siendo el valor obtenido \$ 53,85.

Tasa interna de retorno (TIR) para los dos módulos fotovoltaicos

Tabla 98: Tasa interna de retorno (TIR) de la implementación de un módulo fotovoltaico

Tasa activa	8,54%								
Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Flujo netos de fondos en dólares	-3.085,00	112,98	162,95	169,68	176,72	184,07	191,77	199,81	2.436,96
Tasa interna de retorno (TIR)	9,07%								

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Análisis: De la Tabla 98 la ganancia que va a obtener, además con este indicador se puede decir si e negocio es rentable teniendo una tasa interna de retorno del \$ 9,07%.

PAY BACK para los dos módulos fotovoltaicos

Tabla 99: PAY BACK de la implementación de dos módulos fotovoltaicos

Inversión inicial		
		\$ 3.085,00
Año	Flujo de fondos	Flujo de fondos acumulado
2015	\$ 112,98	\$ 112,98
2016	\$ 162,95	\$ 275,92
2017	\$ 169,68	\$ 445,60
2018	\$ 176,72	\$ 622,31
2019	\$184,07	\$ 806,39
2020	\$ 191,77	\$ 998,15
2021	\$ 199,81	\$ 1.197,96
2022	\$ 2.436,96	\$ 3.634,92

$\frac{\text{Inversión Inicial} * \text{N}^\circ \text{Periodos}}{\text{Flujo de Fondos Acumulado}}$	7,55	7	Años
$(7,55-7) * 12$	6,64	6	Meses
$(6,64-6) * 30$	19	19	Días

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Análisis: De las Tabla 99 se considera que el PAY BACK es el periodo de recuperación de la inversión en este caso será de 7 años 6 meses 19 días, es atractivo porque considerando la entrevista al experto y lo revisado en la bibliografía un sistema fotovoltaico tiene un tiempo de retorno de la inversión entre 15 a 20 años para que sea sostenible y rentable.

Costo Beneficio para los dos módulos fotovoltaicos

Tabla 100: Costo beneficio de la implementación de dos módulos fotovoltaicos

Inversión inicial	\$ 3.085,00
Año	Flujo de fondos
2015	\$ 112,98
2016	\$ 162,95
2017	\$ 169,68
2018	\$ 176,72
2019	\$ 184,07
2020	\$ 191,77
2021	\$ 199,81
2022	\$ 2.436,96
Sumatoria total:	\$ 3.634,92
Costo beneficio	\$ 1,28

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Análisis: La Tabla 100 muestra la relación costo beneficio, es el dinero que se tiene para pagar por cada dólar la deuda en la Tabla 60 se puede observar que este es de \$1,28 dólares, lo que quiere decir que se tendrá 0,28 centavos adicionales por cada dólar de deuda.

Valoración de las toneladas de CO_2 emitidas al ambiente, dos módulos fotovoltaicos

La implementación del sistema fotovoltaico ayudará a reducir la contaminación en el medio ambiente, con beneficios tanto local como universal, para el bienestar de los seres vivos del planeta, el cálculo de emisiones dejadas de emitir al ambiente se muestra en la ecuación (33)

$$BE_y = EG_{PJ,y} * EF_{grid,CM,y} \quad (33)$$

Donde:

BE_y = Las emisiones de línea de base en el año (tCO₂ / año)

$EG_{PJ,y}$ = Cantidad de generación neta de electricidad que se produce y transmite a la red como resultado de la implementación de la actividad del proyecto en el año (MWh / año, ver E_{ac} , p. 133)

$EF_{grid,CM,y}$ = Factor de emisión de CO₂ del margen para la generación de energía conectada a la red en el año (tCO₂ / MWh, SNI Ecuador, 2013, p. 21)

$$BE_y = 0,528 \text{ MWh/año} * 0.6071 \text{ t CO}_2/\text{MWh}$$

$$BE_y = 0,32 \text{ tCO}_2 / \text{año}$$

Determinado las emisiones base por año se procede mediante la ecuación (34) (CONUEE, 2009); a determinar el consumo energético que las centrales que utilizan gas natural, carbono y diésel para generar ese nivel de emisión de CO₂.

$$E = FE * Cf \quad (34)$$

E = Emisiones de gas efecto invernadero = BE_y

Fe = Factor de emisión estándar (CO₂ g/kWh) ver la Tabla 101

Cf = Consumo del energético (Actividad) kWh

De la ecuación (34) se despeja el consumo energético (Actividad):

$$Cf = \frac{E}{FE} \quad (35)$$

Los factores de emisión del gas natural, carbono y diésel se detallan en la Tabla 101.

Tabla 101: Factor de emisión estándar (CO2 g/kWh), de gas natural, carbón, diésel

N°	Combustible	CO2 g/kWh
1	Gas natural	380
2	Carbón	840
3	Diésel	860

Fuente: SunEarthTool, 2009-2015

Para determinar el consumo del energético por cada actividad, primero se debe convertir de toneladas a gramos (1 toneladas = 1000000 g) Caudillo R. 2012, las emisiones de línea de base en el año, como se detalla en la ecuación (36) Rodríguez P., 2011, p.17.

$$e = u * fc \quad (36)$$

e = equivalencia de la actividad

u = unidad la actividad

fc = factor de conversión

$$E = 0.32 \frac{tCO2}{año} * \frac{1000000g}{1 t}$$

$$E = 320000 g CO2/año$$

Este valor se reemplaza en la ecuación (36), obteniéndose el consumo energético por actividad que se muestra en la Tabla 102.

Tabla 102: Consumo energético por actividad (kWh/año), de gas natural, carbón, diésel

N°	Combustible	kWh/año
1	Gas natural	842,11
2	Carbón	380,95
3	Diésel	372,09

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Obtenido el consumo energético del gas natural, carbón y diésel en kWh/año se procede a transformar de kWh a kcal (1kWh= 860 kcal, Rodríguez P., 2011, p.19.) para obtener el poder calorífico de cada uno de estos como se detalla en la ecuación (37) Rodríguez P., 2011, p.17.

$$e = u * fc \quad (37)$$

e = equivalencia de la actividad

u = unidad la actividad

fc = factor de conversión

Reemplazando los valores del gas natural en la ecuación (38) se obtiene:

$$Gas\ natural = 842,11 \frac{kWh}{año} * \frac{860kcal}{kWh}$$

$$Gas\ natural = 724210,53\ kcal/año$$

Reemplazando los valores del carbón en la ecuación (38) se obtiene:

$$Carbón = 380,95 \frac{kWh}{año} * \frac{860kcal}{kWh}$$

$$Carbón = 327619,05\ kcal/año$$

Reemplazando los valores del diésel en la ecuación (38) se obtiene:

$$Diésel = 372,09 \frac{kWh}{año} * \frac{860kcal}{kWh}$$

$$Diésel = 327619,05 \text{ kcal/año}$$

Los valores del poder calorífico del gas natural, carbón y diésel se muestran en la Tabla 103.

Tabla 103: Poder calorífico (kcal/año), de gas natural, carbón, diésel

N°	Combustible	kcal/año
1	Gas natural	724210,53
2	Carbón	327619,05
3	Diésel	320000,00

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

Obtenido el poder calorífico (kcal/año) del gas natural se procede a determinar el volumen que fue necesario para producir este, se procede a transformar de kcal a unidades a m^3 , como se detalla en la ecuación (38) Rodríguez P., 2011, p.17.

$$e = u * fc \tag{38}$$

e = equivalencia de la actividad (gas natural)

u = unidad la actividad (gas natural)

fc = factor de conversión de kcal a m^3 , ($m^3 = 9300 \text{ kcal}$; Serrani H., 2012)

Reemplazando los valores del gas natural se obtiene:

$$Gas \text{ natural} = 724210,53 \frac{kcal}{año} * \frac{1m^3}{93 \text{ kcal}}$$

$$Gas \text{ natural} = 7787,21 \text{ m}^3/\text{año}$$

Para determinar el volumen de carbón que fue necesario para producir dicho poder calorífico, se procede a transformar de kcal a unidades a kg, como se detalla en la ecuación (39) Rodríguez P., 2011, p.17.

$$e = u * fc \quad (39)$$

e = equivalencia de la actividad (carbón)

u = unidad la actividad (carbón)

fc = factor de conversión de kcal a kg, ($1kg = 81,40 \text{ kcal}$; Poder calorífico., 2015)

Reemplazando los valores del gas natural se obtiene:

$$\begin{aligned} \text{carbón} &= 327619,05 \frac{\text{kcal}}{\text{año}} * \frac{1\text{kg}}{81,40 \text{ kcal}} \\ \text{carbón} &= 4024,8 \text{ kg/año} \end{aligned}$$

Para determinar el volumen del diésel que fue necesario para producir dicho poder calorífico, primero se procede a determinar la masa de diésel, como se detalla en la ecuación (40) Rodríguez P., 2011, p.17.

$$e = u * fc \quad (40)$$

e = equivalencia de la actividad (diésel)

u = unidad la actividad (diésel)

fc = factor de conversión de kcal a g, ($g = 107 \text{ kcal}$; Poder calorífico., 2015)

Reemplazando los valores del gas diésel se obtiene:

$$\begin{aligned} \text{Diésel} &= 320000 \frac{\text{kcal}}{\text{año}} * \frac{1\text{kg}}{107 \text{ kcal}} \\ \text{Diésel} &= 2990,6 \text{ kg/año} \end{aligned}$$

Determinada la masa de diésel se procede a determinar el volumen de este como se detalla en la ecuación (41) Rodríguez P., 2011, p.18.

$$v = \frac{m}{\rho} \quad (41)$$

Donde:

v = Volumen (Diésel)

M = masa (Diésel)

ρ = densidad (Diésel = 0,84 g/cm³, Melo E., 2013)

$$v = \frac{2990,6 \text{ kg/año}}{0,84 \text{ g/cm}^3} * \frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ cm}^3} * \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}}$$

$$v = 3560,03 \text{ litros/año de disel}$$

En la Tabla 104 se muestran los volúmenes de combustibles no renovables que se dejaría de utilizar.

Tabla 104: Volumen de gas natural, carbón, diésel

N°	Combustible	Volumen
1	Gas natural	7787,21 m ³ /año
2	Carbón	4024,8 kg/año
3	Diésel	3560,03 litros/año

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

De la Tabla 104 es evidente que en condiciones semejantes al dejar de emitir 0,32 tCO₂ /año por parte del sistema fotovoltaico, se dejaría de quemar 7787,21 m³/año de gas natural o 4024,8 kg/año de carbono o 3560,03 litros/año de diésel lo cual favorecerá a dejar la dependencia de combustibles fósiles y a mitigar el cambio climático.

Análisis de las dos alternativas

En la Tabla 105 se muestran los aspectos comparativos entre los dos escenarios planteados se tomara en cuenta la inversión inicial, el tiempo que transcurre hasta recuperar la inversión, el costo beneficio por cada dólar de deuda y la producción de kilovatios (kW) al mes y la valoración de las toneladas de CO₂ que se dejaran de emitir al ambiente al ser implementados estos sistemas para determinar que alternativa es la mejor para la presente investigación.

Tabla 105: Ventajas y desventajas de las dos alternativas

	Ventajas	Desventajas
Alternativa 1	<ul style="list-style-type: none"> • Costo inicial de inversión \$ 1.350,00 	<ul style="list-style-type: none"> • Producción de 264 kW al mes • Recuperación de la inversión 7 años 9 meses 22 días • El costo beneficio que se tendrá por cada dólar de deuda es de \$ 0,25 centavos de dólar • Menor reducción de contaminación en el medio ambiente 0,16 <i>tCO2</i>
Alternativa 2	<ul style="list-style-type: none"> • Producción de 528 kW al mes • Recuperación de la inversión 7 años 6 meses 19 días • El costo beneficio que se tendrá por cada dólar de deuda es de \$ 0,28 centavos de dólar • Mayor reducción de contaminación en el medio ambiente 0,32 <i>tCO2</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo inicial de inversión de \$ 2.970,00

Elaborado por: Salazar Achig Edgar Roberto (2015)

CONCLUSIONES GENERALES

A partir de la revisión del estado del arte y el análisis de la bibliografía disponible se pudo constatar los avances en cuanto a las mejoras alcanzadas para los varios elementos de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red, la importancia que esto conlleva en la disminución de la demanda energética, reducción de la contaminación ambiental lo que ayuda a conservar la capa de ozono al evitar emanar CO_2 .

Al evaluar el potencial de radiación solar y carga para el diseño del sistema fotovoltaico se determinó un potencial solar de 3803,069 vatios por metro cuadrado diario (W/m^2) y la demanda de potencia predominante de 117,366 vatios hora (Wh), en el área delimitada por la casa N°10 del barrio María de la ciudad de Latacunga, permitiendo con ello diseñar un sistema fotovoltaico que proporcionara 568 kilovatios (kW) mensuales de energía eléctrica limpia para consumo de la misma.

Al monitorear la radiación solar se determinó que entre las 08:00 am a 16:00 pm se supera el mínimo de radiación solar de $200 W/m^2$ necesarios para generación de energía eléctrica superando a medio día en un 192,05% este valor , generando 135,50 vatios por hora (Wh) por un panel fotovoltaico de tipo monocristalino tipo ZYTECH 230P

Para el diseño del sistema fotovoltaico conectado a la red se determinó que con la implementación de dos paneles fotovoltaicos de tipo monocristalino tipo ZYTECH 230P se podrá suministrar en promedio el 100% de la demanda de energía de la carga del “hogar unifamiliar de tipo medio del sector urbano” de 08:00 am a 16:00 pm (las 8 horas aprovechables de energía solar) mas 4 horas que se aprovecharan del acumulador (batería ULTRACELL UCG 150-12) 16:00 pm a 20:00 pm horas y un 74% de 20:00 a 21:00 horas , lo cual reducirá los costos de facturación por parte de la

empresa eléctrica hasta en un 50% lo que significará un ahorro sustancial en la planilla de luz para la familia.

La valoración económica para la implementación del sistema fotovoltaico es de \$ 2.970,00; el sistema incluye un panel solar monocristalino ZYTECH 230P, un regulador de carga, un inversor, una batería y la estructura de soporte. Considerando que de acuerdo a datos del INEC (2010), el ingreso promedio para un “hogar unifamiliar de tipo urbano con ingreso medio” es de \$1046,3 y el gasto promedio es de \$943,20: además un 60% de los encuestados indicó que estaría dispuesto a gastar mensualmente entre 20 a 50 dólares mientras un 20 % de 10 a 20 dólares.

El estudio se alinea al proyecto de estado del Buen vivir 2020, en el objetivo 11 lo que hace referencia a incrementar la participación de las energías renovables, para ello se desarrolló un sistema fotovoltaico como fuente de energía alternativa a partir de la caracterización de la radiación solar y la demanda de potencia de la vivienda, validado por su pre factibilidad, permitiendo aprovechar el potencial energético, así como la reducción del impacto medio ambiental negativo en la zona de estudio.

RECOMENDACIONES GENERALES

Fomentar el uso de los sistemas fotovoltaicos para la disminución de energía eléctrica para de esta manera contribuir a la reducción de la contaminación ambiental.

Analizar la posibilidad de utilizar los valores de radiación solar para diseñar sistemas solares térmicos para calentamiento de agua en hogares residenciales.

Realizar el monitoreo de radiación solar en ciudades similares como Ambato y Riobamba para la caracterización de sistemas fotovoltaicos en estas.

Realizar el diseño y el análisis económico de sistemas fotovoltaicos con otros tipos de características.

Realizar un estudio económico sobre el uso de sistemas fotovoltaicos tomando una población más grande.

Es importante reducir el crecimiento de la demanda de energía eléctrica que sigue siendo un problema para el país a nivel residencial con la sustitución de la energía convencional por sistemas amigables para el ambiente, es apenas un pequeño aporte, por lo que es necesario realizar esfuerzos a nivel de todas las energías renovables aprovechables en la zona y en todos sectores de la economía para lograr de manera efectiva disminuir los consumos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

- Ávila O., García A. y Plaza J. 2014. Fuentes de Energías Alternas. 1^{ra} Edición. México. Lexington, KY
- Carta J., Calero R., Colmenar A., Castro M., Collado E. 2013. Centrales de Energías Renovables. 2^{da} Edición. Madrid. Pearson
- Casa et al., 2012. Insatlaciones singulares en viviendas y edificios. 1^{ra} Edición. Barcelona. Marcombo
- Castells E., 2012. Energías Renovables. 1^{ra} Edición. Madrid. Ediciones Díaz de Santos
- Cruz J., Cruz F., 2010. Guia de manteniemento en instalaciones fotovoltaicas. 1^{ra} Edición. Barcelona. Ediciones Experiencia, S.L.
- Cuervo R., Veritas B., Méndez J., 2013. Energía solar fotovoltaica, 7^a Edición, Madrid. Fundación Confemetal FC
- Frers C. 2009. Una solución a la dependencia energética 1^{ra} Edición. Argentina. El Cid Editor
- Gonzáles J. 2009. Energías Renovables. 1^{ra} Edición, Barcelona. Reverté
- Harper E., 2005. El ABC de las Instalaciones Electricas Industriales. 1^{ra} Edición, Mexico D.F. LIMUSA.SA
- Meléndez S. 2011. Arquitectura Sustentable. 1^{ra} Edición. México. Trillas
- Obregoso, C., & Arivilca, R. 2010. Energía Solar Fotovoltaica Manual técnico para instalaciones fotovoltaicas. 1^{ra} Edición, España. Green Energy Cobsultoria y Servicios SRL
- Rodríguez P. 2011. Física, factores de conversión. 1^{ra} Edición, Ecuador. Encuadernación Gomez.
-
- Tobajas M. 2011. Instalaciones solares fotovoltaicas. 1^{ra} Edición, España. Cano Pina
- Viejo M. 2010. Energías Eléctricas y Renovables. 4^{ta} Edición, México. Limusa

LINKOGRAFÍA

- AEMeT (2011). Agencia estatal de meteorología, España. Recuperado el 26 de Noviembre de 2015, de http://www.aemet.es/documentos/es/eltiempo/observacion/radiacion/Radiacion_Solar.pdf
- Antusol (2010). Energía solar fotovoltaica. Recuperado el 01 de Septiembre de 2015, de <http://antusol.webcindario.com/sistemafotovoltaico.html>
- APOGEE INSTRUMENTS (2015). Recuperado el 15 de Enero de 2015, de <http://www.apogeeinstruments.co.uk/applications-and-uses-of-pyranometers/>
- Blázquez, J. y Martín-Moreno, (2009). Tendencias globales del consumo de energía y sus implicaciones sobre las emisiones de efecto invernadero. Revista Ambienta. nº 86, marzo 2009, Recuperado el 31 de Enero de 2015, de <http://www.revistaambienta.es>
- Caudillo R. (2012). Física sistema internacional de unidades. Recuperado el 21 de Noviembre, de <http://ricardi.webcindario.com/fisica/materia.htm>
- CEMAER (2014). Centros de estudio en medio ambiente y energías renovables. Recuperado el 17 de Julio de 2015, de <http://www.cemaer.org/tipos-de-sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica/>
- CONELEC (2008). Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica. Recuperado el 19 de Junio de 2015, de http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf
- CONELEC – 003/11 (2011). Consejo Nacional de Electricidad, ente regulador y de control del sector eléctrico ecuatoriano, Determinación de la metodología para el cálculo del plazo y de los precios referenciales de los proyectos de generación y autogeneración. Recuperado el 21 de Julio de 2015, de www.conelec.gob.ec/normativa/CONELEC-003-11%20Plazos.doc
- CONELEC - 004/11 (2011). Consejo Nacional de Electricidad, ente regulador y de control del sector eléctrico ecuatoriano, Tratamiento para la energía producida con recursos energéticos renovables no convencionales. Recuperado el 21 de Julio de 2015, de http://www.conelec.gob.ec/normativa/CONELEC_004_11_ERNC.pdf
- CONELEC – 009/08 (2008). Registro de generadores menores a 1 MW. Recuperado el 19 de Noviembre de 2015, de http://www.conelec.gob.ec/normativa/002_13%20Mayores%20a%201%20MW.pdf
- Comisión Europea (2012 Junio 12). Recuperado el 1 de Febrero de 2015, de http://europa.eu/rapid/press-release_IP-12-571_es.htm

- CONUEE, 2009. Metodologías para la cuantificación de emisiones de gases de efecto Invernadero y de consumos energéticos evitados por el aprovechamiento sustentable de la Energía. Recuperado el 23 de Noviembre de 2015, de http://www.conuee.gob.mx/work/files/metod_gei_cons_evit.pdf
- Cruz Roja (2012). Trazado de mapas de riesgo feriado. Recuperado el 20 de Mayo de 2015, de <http://www.testigomovil.com/la-cruz-roja-traza-su-mapa-para-el-feriado/>
- Domínguez, H. (2012). Diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el cobaev 35 Xalapa. Recuperado el 04 de Abril de 2015, de <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/31561/1/dominguezgonzalezhector.pdf>
- EcoPotencia (2010). Energía eléctrica ecológica. Recuperado el 26 de Mayo de 2015, de <http://www.ecopotencia.com/incidencia.html>
- Eras, A. (2012). Estudio energético del sistema eléctrico en Ecuador. Impulso a la Energía Solar Fotovoltaica. Recuperado el 4 de Mayo de 2015, de <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/1036>
- Fascículo Nacional resultado de censos, INEC (2010). Recuperado el 19 de Noviembre de 2015, de http://www.inec.gob.ec/cpv/descargables/fasciculo_nacional_final.pdf
- FLUKE 173.5 (2015). Registrador Trifásico. Recuperado el 21 de Julio de 2015, de <http://www.fluke.com/fluke/eces/medidores-de-calidad-de-la-energia-electrica/logging-power-meters/fluke-1735.htm?pid=56028>
- FLUKE 1735 (2006). Manual de usuario Rev.1, 4/06 (Spanish) © Fluke Corporation.
- Google Maps (2014). Mapa localización. Recuperado el 25 de Mayo de 2015, de <https://www.google.es/maps/place/Unidad+Educativa+Hermano+Miguel,+Calle+Clemnte+Yerovi,+Latacunga,+Ecuador/@-0.9209961,-78.62355,18z/data=!4m2!3m1!1s0x91d4604e066f9f0b:0x8297f9d598d722978.62355,18z/data=!4m2!3m1!1s0x91d4604e066f9f0b:0x8297f9d598d7229>
- Guemisa (2012). Recuperado el 26 de Noviembre de 2015, de <http://www.guemisa.com/articul/pdf/especs.pdf>
- Guia técnica de aplicación para instalaciones de energías renovables (2014). Instalaciones fotovoltaicas, recuperado el 28 de Julio de 2015, de http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf
- HyperPhysics, Georgia State University (2000). Radicación d eun cuerpo negro. Recuperado el 5 de Junio de 2015, de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/bbcon.html#c1>
- IDAE (2011-2020). Instituto para la difrensificación y ahorro de energía . Plan de energías renovables. Recuperado el 19 de Noviembre de 2015, de

- http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_11227_per_2011-2020_def_93c624ab.pdf
- INAMHI (2011). Boletín climatológico anual. Recuperado el 6 de Mayo de 2015, de http://186.42.174.231/meteorologia/banual/2011/boletin_anual_2011.pdf
 - INEC (2010). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Recuperado el 26 de Mayo de 2015, de http://www.inec.gob.ec/Enighur_/Analisis_ENIGHUR%202011-2012_rev.pdf
 - INEC (2010). Censo Cotopaxi población y vivienda. Recuperado el 25 de Noviembre de 2015, de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/cotopaxi.pdf>
 - La Hora (2013). Proyecto Francisco Vergara, director ejecutivo de Conelec, firmó el permiso para la ejecución del proyecto fotovoltaico conjuntamente con la empresa inversionista. Recuperado el 20 de Junio de 2015, de <http://www.lahora.com.ec/index.php/movil/noticia/1101454859>
 - Martínez J., Almansa C. y Perno A., (2009). Energía eléctrica procedente de fuentes renovables: Percepción social y disposición al pago. Recuperado el 05 de Febrero de 2015, de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3739211>
 - Melo E. (2013). Investigación experimental de la prestaciones de un motor monocilíndrico usando combustible diesel. Recuperado el 24 de Noviembre de 2015, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012013000100002
 - MC-15 (2011). Mandato constituyente No. 15 del Ecuador. Recuperado el 20 de Noviembre de 2015, de <http://auditoria-tributaria.webnode.es/products/mandato-15/>
 - MEER (2014). Ministerio de electricidad y energía renovable. Recuperado el 16 de Julio de 2015, de <http://www.energia.gob.ec/electrificacion-rural-con-energias-renovables/>
 - Mundo solar (2015). Cuanto dura un panel solar. Recuperado el 17 de Julio de 2015, de <http://www.dforcesolar.com/energia-solar/cuanto-dura-un-panel-solar/>
 - NEC-11 (06 de Abril de 2011). Energías Renovables. Recuperado el 14 de Enero de 2015, de <http://www.cimeg.org.ec/normasnec/NEC2011-CAP.14-ENERGIAS%20RENOVABLES-021412.pdf>
 - Perpiñán O. (2013). Energía Solar Fotovoltaica, Versión 1.6, España. Creative Commons. Recuperado el 02 de Septiembre de 2015, de https://procomun.files.wordpress.com/2010/02/esf_operpinandic2013.pdf
 - Plan Nacional de Desarrollo para el Buen Vivir (2013-2017). Recuperado el 14 de Enero de 2015, de <http://www.buenvivir.gob.ec/objetivo-11.-asegurar-la-soberania-y-eficiencia-de-los-sectores-estrategicos-para-la-transformacion-industrial-y-tecnologica#tabs1>

- Portal de turismo Latacunga (2015). Información básica de Latacunga. Recuperado el 5 de Mayo de 2015, de <http://www.vivelatacunga.com/info-basica/>
- ProStar (2014). Manual de operadores de contralador solar. Recuperado el 01 de Septiembre de 2015, de http://www.morningstarcorp.com/wp-content/uploads/2014/02/PS2.IOM_Manual.Spanish.ES_.pdf
- ProViento S.A., Sensores meteorológicos (2015). Recuperado el 25 de Noviembre de 2015, de <http://www.proviento.com.ec/sensoresclimaticos.html>
- Proyecto de ordenanza catón Latacunga (2015). Plan de desarrollo y Ordenamiento territorial del cantón Latcunga. Recuperado el 19 de Noviembre de 2015, de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusordenanza/0560000380001_PROYECTO%20ORDENANZA%20REFORMATORIA%20A%20LA%20ORDENANZA%20DE%20PDyOT%20LATACUNGA%201_20-04-2015_16-03-38.pdf
- Poder calorífico (2015). El poder calorífico de los combustibles. Recuperado el 24 de Noviembre de 2015, de <http://www.escuelapedia.com/el-poder-calorifico-de-los-combustibles/>
- RENOVAENERGIA (2015). Soluciones energéticas renovables. Recuperado el 15 de julio de 2015, de http://www.renova-energia.com/energia_renovable/energia_solar_fotovoltaica.html
- Romero V. (2010). Termodinámica del Cuerpo Negro y la Ley de Stefan-Boltzmann. Recuperado el 17 de Julio de 2015, de <http://www.fisica.unam.mx/personales/romero/2010/Cuerpo-Negro.pdf>
- Santa S. y Torres J. (2014). Diseño de una instalación fotovoltaica autónoma para la finca mis delirio en Pereira – Colombia. Recuperado el 20 de Septiembre de 2015, de <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/13683/TFM-Sergio%20Santa%20Garcia.pdf?sequence=1>
- Serrani H. (2012). El gas natural. Recuperado el 24 de Noviembre de 2015, de <http://www.serraniylanergia.com>
- Sitiosolar (2013). Portal de energias renovables. Recuperado el 02 de Septiembre de 2015, de <http://www.sitiosolar.com/el-autoconsumo-fotovoltaico-inyectado-a-red/>
- SIN Ecuador (2013). Factor de emisión de CO_2 del sistema nacional interconectado Ecuador. Recuperado el 05 de Septiembre de 2015, de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/03/Factor-de-emisi%C3%B3n-2013-PUBLICADO.pdf>
- SolidWorks (2015). Programa de diseño asistido por computadora para modelado mecánico. Recuperado el 06 de Septiembre, de <http://www.solidworks.es/sw/products/simulation/motion-analysis.htm>

- SunEarthTool, (2009-2015). Emisiones de CO2. Recuperado el 22 de Noviembre de 2015, de <http://www.sunearthtools.com/es/tools/CO2-emissions-calculator.php>
- Telégrafo (2013). Planta de energía solar beneficia a 2 mil familias. Recuperado el 22 de Junio de 2015, de <http://www.telegrafo.com.ec/economia/item/planta-de-energia-solar-beneficia-a-2-mil-familias.html>
- Terra andina Ecuador (2015). Clima de la region andina del Ecuador. Recuperado el 10 de Mayo de 2015, de <http://www.ecuador-viaje.com/ecuador/clima.html>
- TOPSOLAR (2015). Cables para instalaciones solares fotovoltaicas. Recuperado el 03 de Septiembre de 2015, de http://www.puntosolar.cl/fichasTecnicas/Cable_solar_fotovoltaico/Cable-solar-fotovoltaico-TopSolar_ZZ-F%28AS%29.pdf
- UNFCCC/CCNUCC (2012). PROJECT DESIGN DOCUMENT (PDD). Recuperado el 05 de Septiembre de 2015, de <https://cdm.unfccc.int/filestorage/2/7/FRY7B23HZAOCQMTXPVKSIGLEU86W1.pdf/FRY7B23H.pdf?t=UUt8bnU0MzhtfDBSSqm1PyaE5O2Qro3aUyKj>
- UTC (2015). Universidad Tecnica de Cotopaxi, vinculación con la sociedad. Recuperado el 25 de Noviembre de 2015, de <http://www.utc.edu.ec/vinculacion>
- VIAKON (2015). Cables para la construcción. Recuperado el 04 de Septiembre de 2015, de <http://www.viakon.com/pdf/categorias/24.pdf>
- ZLPOWER Electronics Co (2015). Inversor, onda sinusoidal pura inversor, cargador de 6000W de potencia máxima 18000W (Inversor LW1000-LW6000). Recuperado el 25 de Agosto de 2015, de http://es.made-in-china.com/co_zlpower/product_Inversor-Pure-Sine-Wave-Inverter-Charger-6000W-Peak-Power-18000W-Inversor-LW1000-LW6000-_heosohieg.html

ANEXOS

ANEXO A ANALIZADOR DE REDES FLUKE 1735

ANEXO B DATOS TOMADOS VATIOS-HORA [Wh] CON EL ANALIZADOR DE REDES

ANEXO C PIRANÓMETRO APOGEE MP -200

ANEXO D DATOS TOMADOS VATIOS POR METRO CUADRADO [W/m²] CON EL PIRANÓMETRO APOGEE MP- 200_1404 MES DE MAYO

ANEXO E DATOS TOMADOS VATIOS POR METRO CUADRADO [W/m²] CON EL PIRANÓMETRO APOGEE MP- 200_1404 MES DE JUNIO

ANEXO F DATOS TOMADOS VATIOS POR METRO CUADRADO [W/m²] CON EL PIRANÓMETRO APOGEE MP- 200_1404 MES DE JULIO

ANEXO G MÓDULO FOTOVOLTAICO

ANEXO H INVERSOR ZLPOWERSTAR

ANEXO I BATERÍA ULTRACELL UCG150-12 GEL

ANEXO J REGULADOR PROSTAR PS-30

ANEXO K CABLE TIPO PV ZZ-F(AS)

ANEXO L CABLE CORRIENTE ALTERNA HHW/XHHW-2 600V

ANEXO M LICENCIA SOLIDWORKS

ANEXO N ESTRUCTURA UN MÓDULO FOTOVOLTAICO

ANEXO O ESTRUCTURA DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

ANEXO P PLANO DE LA CASA N°10

ANEXO Q CARTA DE ACEPTACIÓN DEL PROPIETARIO DE LA VIVIENDA

ANEXO R VALIDACIÓN DE TRES (3) EXPERTOS PROPUESTA E INSTRUMENTOS