



Universidad Técnica de Cotopaxi

DIRECCIÓN DE POSGRADO

Proyecto de Investigación y Desarrollo en opción al Grado Académico de
Magister en
GESTIÓN DE ENERGÍAS

TEMA:

Evaluación del potencial solar fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi. Propuesta del diseño de un sistema fotovoltaico autosustentable.

Autor:

MOSQUERA Palacios, Osmar Fabián

Tutor:

Ing. PhD. LAURENCIO Alfonso, Héctor Luis

LATACUNGA – ECUADOR

Julio - 2017



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: **Mosquera Palacios Osmar Fabián**, con el título de tesis: **EVALUACIÓN DEL POTENCIAL SOLAR FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA UNIDAD EDUCATIVA “JUAN ABEL ECHEVERRÍA”, DE LA CIUDAD DE LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI. PROPUESTA DEL DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTOSUSTENTABLE**, 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, julio del 2017

Para constancia firman:

MSc. MANUEL ANGEL LEÓN SEGOVIA
PRESIDENTE
CI.: 050204135-3

MSc. EDWIN MARCELO LEMA GUAMÁN
MIEMBRO
CI.: 030224135-1

PhD. JUAN JOSÉ LA CALLE DOMÍNGUEZ
MIEMBRO
CI.: 175660422-7

PhD. JUAN MATO TAMAYO
OPONENTE
CI.: 175694428-4



CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Programa de Maestría en Gestión de Energías, cohorte 2014, nombrado por el Honorable Consejo de Posgrados de la UTC.

CERTIFICO:

Que he analizado el Proyecto de tesis de grado con el título de **“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL SOLAR FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA UNIDAD EDUCATIVA “JUAN ABEL ECHEVERRÍA”, DE LA CIUDAD DE LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI. PROPUESTA DEL DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTOSUSTENTABLE”**, presentado por Mosquera Palacios Osmar Fabián, con cédula de ciudadanía N° 040129981-3, como requisito previo para la aprobación y el desarrollo de la investigación para optar el grado de Magister en Gestión de Energías.

Sugiero su aprobación y permita continuar con los trámites correspondientes.

Latacunga, julio del 2017

PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso
CI.: 1712813
TUTOR

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA DE LA TESIS

El presente proyecto de investigación, es de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor con el tema: “Evaluación del potencial solar fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi. Propuesta del diseño de un sistema fotovoltaico autosustentable”; previo a la obtención del título **Magister en Gestión de Energías**, en tal sentido, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo, interpretación de datos y la elaboración de las conclusiones, dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

En tal virtud, declaro que el contenido de redacción, conclusiones, efectos legales y académicos que se describen en el trabajo de investigación propuesto; son de mi exclusiva responsabilidad, en honor a la verdad que exige el valor y la ética profesionales.

Latacunga, julio del 2017



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

Osmar Fabián Mosquera Palacios
C.I.: 040129981-3

AGRADECIMIENTOS

A Dios, y a mi madre la Santísima Virgen de la Caridad, que me han permitido continuar con mi preparación académica, con el fiel propósito de servir de esta manera al desarrollo de mi país y comunidad.

Mis notas de eterna gratitud para:

Mi familia, que de manera incondicional me apoyaron en este largo camino que al final llega a buen término, en especial a mi mamita Bertha Germania Palacios Herrería, artífice de este sueño cumplido y pilar fundamental de mi vida.

Mis padres, hermanas, esposa e hijos.

Al rector de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, MSc. Willian Changotasig y personal docente, por haberme permitido realizar mi investigación y a su vez brindarme las facilidades para su oportuna realización.

Mi tutor el Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso PhD., por haberme guiado con profesionalismo en mi proyecto de investigación, con ética, calidez y calidad.

Osmar Fabián Mosquera Palacios

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo investigativo a:

Mi familia; Germania Palacios Herrería y Martha Palacios Herrería mis madres, Wiston Mosquera mi padre, mis hermanas Lucymar Mosquera y Cristina Sandoval, a mi esposa María José Álvarez Mise y a mis hijos Mayerly y Jetsemael Mosquera; y a cada uno de mis allegados que me brindaron su apoyo en esta etapa preparatoria.

La unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, personal administrativo y docente.

Mis maestros de maestría, que gracias a sus conocimientos forjaron un pensamiento que va desde lo científico a lo crítico y plantea en las exigencias del mundo moderno, las pautas necesarias, a miras de realizar investigaciones que den una pronta respuesta a las vicisitudes de nuestro entorno.

Osmar Fabián Mosquera Palacios

ÍNDICE

AVAL DEL TRIBUNAL DE GRADO	ii
CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DEL TUTOR.....	iii
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA DE LA TESIS	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIA.....	vi
ÍNDICE	vii
LISTA DE TABLAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	1
Situación problemática	2
Justificación de la investigación	3
Objeto y problema de la investigación.....	5
Campo de acción y objetivo general de la investigación	6
Hipótesis de investigación y desarrollo de la investigación	6
Sistema de objetivos específicos.....	6
Sistema de tareas señalando los métodos, procedimientos y técnicas que concretan las acciones en cada tarea.....	7
Visión epistemológica de la investigación.....	8
Capítulo 1: Marco contextual y teórico	10
1.1. Caracterización del objeto de estudio	10
1.2. Antecedentes del estudio.....	10
1.3. Sector energético a nivel mundial.....	11
1.4. Energías renovables	12
1.5. Energía solar	13
1.5.1. Energía solar fotovoltaica	13
1.5.2. Situación de la energía solar en el mundo	14
1.5.3. Situación actual de la energía solar en el Ecuador.....	15
1.6. Coordenadas y movimientos de la Tierra	15
1.6.1. Latitud (ϕ)	16
1.6.2. Longitud (L).....	16

1.7. Coordenadas solares.....	16
1.8. Orientación del generador fotovoltaico	17
1.9. Radiación solar.....	18
1.9.1. Factor AM (Masa de aire).....	18
1.9.2. Tipos de radiación solar sobre una superficie.....	19
1.10. Los sistemas fotovoltaicos	20
1.10.1. Clasificación de las instalaciones solares fotovoltaicas.....	21
1.10.2. Módulos fotovoltaicos	22
1.10.3. Regulador de carga (Controlador de carga).....	23
1.10.4. Baterías o acumuladores	24
1.10.5. Inversor de voltaje.....	26
1.11. Aparatos de maniobra y protección en un sistema fotovoltaico autónomo	27
1.11.1. Protección contra sobreintensidades	28
1.11.2. Protección contra sobretensiones	29
1.11.3. Aislamiento y puesta a tierra.....	29
1.11.4. Protección del inversor y los circuitos de utilización	29
1.12. Estructuras soporte.....	30
1.12.1. Tipos de estructuras soporte.....	30
1.13. Fundamentación de la Investigación.....	30
1.14. Determinación de variables.....	31
1.14.1. Operacionalización de las variables.....	31
Capítulo 2: Metodología.....	33
2.1. Paradigmas o enfoques epistemológicos (cualitativo-cuantitativo).....	33
2.2. Tipos de Investigación	33
2.2.1. Investigación de campo.....	33
2.2.2. Investigación bibliográfica-documental.....	34
2.3. Métodos de la Investigación	34
2.4. Técnicas e instrumentos de la investigación.....	35
2.5. Nivel de investigación.....	40
2.6. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico autónomo	40
2.6.1. Cálculo del consumo diario total de energía eléctrica	40
2.6.2. Elección del tipo de sistema.....	41
2.6.3. Cálculo del ángulo óptimo de inclinación de los paneles	41
2.6.4. Dimensionamiento del generador fotovoltaico	42

2.6.5. Dimensionamiento del sistema de acumulación (Baterías)	45
2.6.6. Dimensionamiento del regulador de carga	47
2.6.7. Dimensionamiento del inversor DC/AC.....	48
2.7. Dimensionado de los conductores eléctricos del sistema fotovoltaico.....	48
Capítulo 3: Resultados de la investigación	50
3.1. Ubicación y descripción de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”	50
3.2. Estimación de consumo de energía eléctrica	51
3.3. Parámetros del dimensionado del sistema fotovoltaico autónomo de la unidad educativa	57
3.3.1. Consumo diario total de energía eléctrica.....	58
3.3.2. Recurso solar de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”	58
3.3.3. Elección del tipo de sistema.....	64
3.3.4. Ángulo óptimo de inclinación de los paneles	64
3.3.5. Dimensionamiento del generador fotovoltaico	65
3.3.6. Dimensionamiento del sistema de acumulación (Baterías)	67
3.3.7. Dimensionamiento del regulador de carga	67
3.3.8. Dimensionamiento del inversor DC/AC.....	68
3.4. Arreglo de los Reguladores de carga e Inversores/Cargadores	68
3.4.1. Arreglo de los Reguladores de carga	69
3.4.2. Arreglo de los inversores/cargadores.....	69
3.5. Orientación de los módulos fotovoltaicos en el edificio.....	70
3.6. Distancia óptima entre filas de cada arreglo	71
3.7. Dimensionado de los conductores eléctricos del sistema fotovoltaico.....	73
3.8. Equipos de maniobra y protecciones del sistema fotovoltaico autónomo	75
3.9. Estructuras soporte.....	76
Capítulo 4: Propuesta	77
4.1. Título.....	77
4.2. Justificación	77
4.3. Objetivos	77
4.3.1. Objetivo General	77
4.3.2. Objetivos Específicos:	78
4.4. Estructura de la propuesta.....	78
4.5. Desarrollo de la propuesta	79
4.6. Evaluación socioeconómica-ambiental de la propuesta	87

4.6.1. Cálculo del Valor Actual Neto (VAN)	89
4.6.2. Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR).....	90
CONCLUSIONES.....	93
RECOMENDACIONES	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
ANEXOS.....	97

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1. Inclinaciones óptimas en función del periodo de máxima captación.	18
Tabla 1.2. Diferencias entre los tipos de paneles solares.....	23
Tabla 1.3. Características de los principales tipos de baterías.	25
Tabla 1.4. Baterías utilizadas en instalaciones solares.	26
Tabla 1.5. Clasificación de los riesgos eléctricos.	28
Tabla 1.6. Variable independiente: Potencial solar fotovoltaico.	32
Tabla 1.7. Variable dependiente: Generación de energía eléctrica.....	32
Tabla 2.1. Técnicas e instrumentos.....	35
Tabla 2.2. Características técnicas del módulo fotovoltaico policristalino.	37
Tabla 3.1. Consumo eléctrico facturado del año 2016-2017 y promedio estimado diario.	52
Tabla 3.2. Estimación del consumo diario de energía eléctrica.....	54
Tabla 3.3. Radiación solar directa tomada con el prototipo fotovoltaico.	59
Tabla 3.4. Promedio de radiación directa de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”. ...	60
Tabla 3.5. Promedio mensual de la radiación que incide sobre una superficie inclinada apuntada hacia el ecuador $kW \cdot h/m^2 \cdot día$	62
Tabla 3.6. Promedio de radiación global de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.	63
Tabla 3.7. Relaciones del consumo sobre la radiación global ET/Gd de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”	64
Tabla 3.8. Caída de tensión y sección del cable a utilizar en el sistema fotovoltaico.	74
Tabla 3.9. Secciones calculadas y secciones comerciales por tramo del sistema fotovoltaico.	75
Tabla 4.1. Datos característicos del módulo fotovoltaico CanadianSolar.	80
Tabla 4.2. Datos característicos de la batería monoblock de ciclo profundo Trojan.....	81
Tabla 4.3. Datos característicos del regulador de carga Victron Energy.	82
Tabla 4.4. Datos característicos del Inversor/cargador de Victron Energy.	82
Tabla 4.5. Presupuesto total del sistema fotovoltaico autónomo.....	87
Tabla 4.6. Interpretación del VAN.	90
Tabla 4.7. Estimación del VAN & TIR respecto al flujo de caja que tendrá el sistema fotovoltaico.	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Clasificación de las tecnologías según el tipo de sector de energías renovables. .	12
Figura 1.2. Espectro electromagnético de la radiación solar extra-atmosférica y en la superficie terrestre.	18
Figura 1.3. Masa de aire (AM) para diferentes ángulos cenitales.	19
Figura 1.4. Tipos de radiación sobre una superficie.	20
Figura 1.5. Esquema de un sistema fotovoltaico.	21
Figura 1.6. Principales características de todo panel solar y esquema típico de construcción.	22
Figura 1.7. Esquema de conexión del regulador en la instalación fotovoltaica.	24
Figura 1.8. Conexión de un inversor-regulador en una instalación autónoma a 12 V. Además de convertir DC en AC, puede cargar las baterías del sistema.	27
Figura 2.1. Unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.	34
Figura 2.2. Diagrama de flujo del dimensionamiento sistema fotovoltaico autónomo.	35
Figura 2.3. Prototipo para mediciones de radiación y orientación fotovoltaica.	37
Figura 2.4. Multímetro y termómetro.	38
Figura 2.5. Software de estudio, diseño, cálculo y simulación de sistemas fotovoltaicos, PVsyst 5.0.	39
Figura 2.6. Software de simulación de circuitos y solares, PSIM 9.0.	40
Figura 3.1. Ubicación de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.	50
Figura 3.2. Medidor de energía eléctrico de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.	52
Figura 3.3. Histórico del consumo mensual de energía eléctrica de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, año 2016-2017.	53
Figura 3.4. Promedio diario del consumo de energía eléctrica de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, año 2016-2017.	53
Figura 3.5. Diagrama de Pareto de los consumidores diarios de energía eléctrica de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.	57
Figura 3.6. Diagrama de Pareto de los consumidores diarios de energía eléctrica de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.	59
Figura 3.7. Trayectoria solar de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.	60
Figura 3.8. Radiación directa mensual diaria del año 2016-2017, tomada con el prototipo fotovoltaico a escala de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.	61
Figura 3.9. Error de la radiación solar directa experimental vs datos de la NASA.	63

Figura 3.10. Orientación del sistema fotovoltaico.....	70
Figura 3.11. Distancia entre módulos fotovoltaicos para evitar pérdidas por sombreado.	71
Figura 3.12. Simulación de la distancia óptima entre filas módulos fotovoltaicos sin sombreado.	72
Figura 3.13. Diagrama del factor de sombreado de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.	73
Figura 4.1. Curvas características módulos fotovoltaicos CS6U-330P, CanadianSolar.....	81
Figura 4.2. Distancias de separación entre módulos fotovoltaicos del edificio A, de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.	83
Figura 4.3. Distancias de separación entre módulos fotovoltaicos del edificio B, de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.	84
Figura 4.4. Equipos que integran el sistema fotovoltaico autónomo de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.....	85
Figura 4.5. Curva del VAN & TIR, con relación al tipo de interés.	91

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

TEMA: “Evaluación del potencial solar fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi. Propuesta del diseño de un sistema fotovoltaico autosustentable”.

Autor: Osmar Fabián Mosquera Palacios

Tutor: Ing. PhD. Laurencio Alfonso Héctor Luis

RESUMEN

La investigación nace del elevado consumo de energía eléctrica que tiene la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi; debido al crecimiento de los procesos inherentes a las actividades académicas. Como una respuesta a la problemática, se considera a la energía solar como la alternativa más idónea en el abastecimiento energético. En base a la energía solar, se estructuraron los fundamentos del marco contextual y teórico; que presenta la situación mundial y del Ecuador, los tipos de radiación, los sistemas fotovoltaicos y clasificación de las instalaciones, su estructura, aplicación y tecnología. La metodología utilizada fue la investigación científica experimental de campo en donde se estima la energía eléctrica que demanda la institución; y se evalúa y mide el potencial solar fotovoltaico “in situ” a través de un prototipo fotovoltaico a escala, que fueron analizados con el modelo hipotético-deductivo y el método analítico-sintético (diagrama de flujos), a través del uso de los softwares (PVsyst, PSIM y Autocad) y el programa Excel para el registro, cálculo y simulación. Los resultados del diseño obtenidos nos dieron de demanda una potencia instalada de $64,15 \text{ kW}$ a un nivel de voltaje 120 VAC y de $1,25 \text{ W}$ a 220 VAC , el promedio de energía eléctrica diaria total requerida es de $72,11 \text{ kW} \cdot \text{h/día}$, la incidencia solar del mes más crítico es de $3,9 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^2$ y el ángulo de inclinación de mayor captación de 10° . El sistema fotovoltaico autónomo propuesto está compuesto por 76 módulos fotovoltaicos de 330 W , 74 baterías de $225 \text{ A} \cdot \text{h}$ a 24 VDC , 11 reguladores de carga de $2,4 \text{ kW}$, 85 A a 24 VDC y 7 inversores/cargadores de 10 kW de potencia, 24 VDC de entrada y 120 VAC a 60 Hz , que tiene impacto socioeconómico, técnico y ambiental.

Palabras claves: energía solar, consumo de energía eléctrica, potencial solar fotovoltaico, prototipo fotovoltaico, sistemas fotovoltaicos autónomos.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
POSTGRADUATE UNIT
MASTERS IN ENERGY MANAGEMENT

THEME: “Evaluation of the solar thermal potential for the generation of electric energy in the educational unit “Juan Abel Echeverría”, from Latacunga city, Cotopaxi province. Proposal of the design of a self-sustaining photovoltaic system”.

Author: Osmar Fabián Mosquera Palacios

Tutor: Ing. Laurencio Alfonso Héctor Luis, PhD.

ABSTRACT

The research is born of the high consumption of electric power that has the educational unit "Juan Abel Echeverría", from Latacunga city, Cotopaxi province; due to the growth of the processes inherent in academic activities. As a response to the problem, solar energy is considered as the most suitable alternative in the energy supply. Based on solar energy, the basics of contextual and theoretical framework were structured; Which presents the world and Ecuador situation, types of radiation, photovoltaic systems and classification of facilities, their structure, application and technology. The methodology used was the field experimental scientific research where the electrical energy demanded by the institution is estimated; and the solar thermal potential "in situ" is evaluated and measured through a photovoltaic prototype at scale, which were analyzed with the hypothetico-deductive model and the analytical-synthetic method (flow diagram), using software's (PVsyst, PSIM and Autocad) and Excel software for registration, calculation and simulation. The obtained design results gave us an installed power of 64.15 kW at a voltage level of 120 VAC and of 1.25 W at 220 VAC, the average daily electrical energy required is 72.11 kW · h/day, the solar incidence of the most critical month is 3.9 kW · h/m² and the angle of inclination with the highest uptake of 10 °. The proposed autonomous photovoltaic system consists of 76 photovoltaic modules of 330 W, 74 batteries of 225 A · h at 24 VDC, 11 load regulators of 2,4 kW, 85 A at 24 VDC and 7 inverters/chargers of 10 kW of power, 24 VDC input and 120 VAC at 60 Hz, which has socio-economic, technical and environmental impact.

Keywords: solar energy, electric energy consumption, solar thermal potential, photovoltaic prototype, autonomous photovoltaic systems.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el consumo de energía eléctrica se ha incrementado a un ritmo superior al crecimiento económico, ya que supe las necesidades del aparato productivo, porque está relacionado con mayores niveles de vida y propósitos no materializados. Esta realidad pone de manifiesto el requerimiento permanente de la energía eléctrica en todos los procesos tanto del hogar como los relacionados a la industria, que movilizan el ritmo social en que nos desarrollamos.

El sector eléctrico en nuestro país se basa en gran medida en el empleo de las fuentes térmicas, seguido por la generación hidráulica. Debido a este ritmo de crecimiento se deben tomar una serie de acciones que impidan aumentar el índice físico del consumo energético, y para esto resulta imprescindible identificar y explotar todas las reservas de eficiencia de energía, que tenemos como medios renovables.

El propósito fundamental de la investigación, está enmarcada en una respuesta acertada y oportuna al elevado consumo eléctrico de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi; utilizando a la gestión energética de manera integral en la optimización y aprovechamiento del recurso solar, por cuanto se efectua la evaluación del potencial solar fotovoltaico a fin de determinar cuanta energía proveniente del Sol se puede emplear en la generación de energía eléctrica.

El desarrollo analítico del objeto de estudio se basa en las siguientes categorías:

En el primer capítulo, se describen las bases teóricas-científicas relacionadas con la energía solar, su estructura, composición, aprovechamiento, ventajas e inconvenientes, tecnología y aplicación en la generación de energía eléctrica y sus factores técnicos.

En el segundo capítulo, se muestran los modelos metodológicos de la investigación enfocados en el método hipotético-deductivo y del método analítico-sintético (diagrama de flujos), las técnicas e instrumentos, el nivel de la investigación, los programas, softwares y ecuaciones de cálculo a emplearse en el desarrollo científico.

En el tercer capítulo, se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de los métodos, herramientas y técnicas de investigación; de forma analítica e interpretativa de los parámetros técnicos obtenidos sobre la generación solar fotovoltaica.

En el cuarto capítulo, se indica de forma conexa el diseño propuesto del sistema fotovoltaico autónomo de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, tecnología que se emplea, así como el impacto socioeconómico y ambiental, que hace eficiente el abastecimiento de la energía eléctrica, con sus regímenes de operación, seguridad, funcionamiento, aceptación y viabilidad.

Finalmente, se destacan las principales conclusiones y recomendaciones que se ha llegado luego del proceso exploratorio de investigación.

Situación problémica

El tema del ahorro y uso eficiente de la energía, bajo el concepto de eficiencia energética, es un recurso que adquiere vigencia a raíz de los problemas del calentamiento global (generando consigo como consecuencia la contaminación ambiental de los gases de efecto invernadero), cuyo objeto se enmarca en el planteamiento de soluciones y aplicación de medidas factibles frente al deterioro ambiental del planeta (Domínguez, 2012, p. 13).

En el ámbito de la eficiencia energética, la energía eléctrica, representa uno de los principales recursos, necesarios en el proceso del desarrollo y tecnificación de los pueblos, que influye directamente en la calidad de vida del hombre y su aumento en el consumo, resultado del incremento en el proceso de la industrialización, del aumento poblacional y de la demanda generalizada por más comodidades y mayor tecnificación en los diferentes sectores, donde el uso de la energía eléctrica se hace cada vez mayor (Domínguez, 2012, p. 13).

La ubicación geográfica del Ecuador es el factor que determina los niveles radiación solar que recibimos sean elevados. Al encontrarnos cerca de la línea Equinoccial estamos más próximos al sol y los rayos caen perpendicularmente. Sin embargo, no existe el aprovechamiento de la energía radiante por medio de los sistemas fotovoltaicos, por cuanto se está perdiendo una importante fuente de energía renovable (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables [INER], 2016, p. 2).

Al estar en la mitad del mundo, el potencial de aprovechamiento de la energía solar en nuestro país se vuelve gigantesco; y su uso extensivo ayudaría a alcanzar una independencia energética de largo plazo. Esto significa, que se debería empezar con la cuantificación de este recurso, antes de proponer un proyecto de investigación e inversión que beneficie al Ecuador (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables [INER], 2016, p. 2).

El tema de generación de energía solar, es sólo una fracción del complejo problema del consumo energía eléctrica, en el cual se plantea la búsqueda de soluciones que puedan existir para corregir este inconveniente energético y evitar daños al ambiente (...), (Domínguez, 2012, p. 13-14).

La investigación nace de la necesidad que tiene la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, en la aplicación de criterios y procedimientos actualizados de eficiencia energética, con la que se logre reducir los costos de instalación, operación y mantenimiento de los componentes del sistema eléctrico. El elevado consumo de energía eléctrica registrado en los últimos tiempos, ha repercutido directamente en la erogación económica del presupuesto educativo, así como en la contaminación del entorno. La utilización de la energía solar fotovoltaica, se plantea como la alternativa más adecuada a la hora de contar con un ahorro eléctrico sustancial; y dar una alternativa limpia que brinde seguridad y confiabilidad.

Justificación de la investigación

El sector eléctrico experimentó el mayor incremento anual de la historia en términos de capacidad, con un crecimiento significativo en todas las regiones. La energía eólica y la solar fotovoltaica, tuvieron records adicionales por segundo año consecutivo, representando alrededor del 77% de las nuevas instalaciones, mientras que la energía hidroeléctrica representó la mayor parte del resto. Actualmente, el mundo entero suma más capacidad de electricidad renovable al año que la capacidad (neta) de todos los combustibles fósiles combinados. A finales del 2015, la capacidad de energía renovable era suficiente para abastecer aproximadamente el 23,7% de la electricidad mundial, en conjunto con la energía hidráulica, que proporciona alrededor del 16,6% (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century [REN21], 2016, p. 7).

Hay países europeos, en donde existen tecnologías fotovoltaicas muy difundidas, aceptadas y aplicadas, estos sistemas satisfacen las necesidades básicas de electricidad de las familias, ya que este tipo de energía suministra un mejor servicio aparte de ser más ecológica y económica. Las ventajas de estos sistemas radican en su simplicidad, ya que por lo general son sistemas sencillos y modulares, se instalan fácilmente, pueden ampliar el sistema, la reparación, cambio de componentes y económico; por ser sistemas adaptables a la mayoría de comunidades y a sus necesidades, siempre y cuando haya luz solar. Considerando que no se emiten gases que contribuyan al efecto invernadero o humos tóxicos; la energía solo se produce donde se la necesita, haciendo que el costo de esta tecnología sea bajo, en relación a las tecnologías convencionales (Domínguez, 2012, p. 18).

El pueblo ecuatoriano, el 28 de septiembre de 2008, aprobó la nueva Constitución de la República del Ecuador, que en el artículo 313 y siguientes, establece 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 (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable [MEER] & Consejo Nacional de Electricidad [CONELEC], 2012, p. 2).

De la misma forma, en las etapas previas al desarrollo de los emprendimientos energéticos debe haber la más amplia participación ciudadana, con particular énfasis en la opinión sobre los estudios de impacto ambiental de los proyectos de producción y transporte de electricidad, cuya infraestructura debe ser concebida de forma que los servicios que proveen, cumplan con los niveles de calidad, confiabilidad y seguridad que, según norma, se establezcan para todas las regiones del Ecuador (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable [MEER] & Consejo Nacional de Electricidad [CONELEC], 2012, p. 2).

La incrementación de la cobertura nacional del servicio de energía eléctrica, constituye la punta de lanza de una estrategia integral, ya que, junto al servicio de electricidad, se propicia la inclusión de los servicios de salud (implementación de dispensarios médicos), educación (implementación de escuelas), acceso a tecnologías de la información (Internet), desarrollo de pequeños negocios y micro empresas, entre otras (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable [MEER] & Consejo Nacional de Electricidad [CONELEC], 2012, p. 3).

Es importante resaltar que para que el sistema eléctrico alcance los niveles de calidad y seguridad requeridos en el abastecimiento, se hace imprescindible el desarrollo paralelo de las etapas de generación, transmisión y distribución. El Plan Maestro 2012-2021, está basado en el concepto de desarrollo sostenible, que parte de la definición de una política sectorial, para luego establecer estrategias, que permitan a las empresas e instituciones involucradas, elaborar sus planes y finalmente contribuir al desarrollo del sector (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable [MEER] & Consejo Nacional de Electricidad [CONELEC], 2012, p. 7).

Todo esto nos invita a reflexionar y pensar en la necesidad de no malgastar este recurso, ni los que lo hacen posible. En vista de esto el gobierno y algunas empresas particulares están emprendiendo planes, programas económicos y energéticos, con la finalidad de aumentar las reservas existentes y disminuir la utilización desproporcionada de la energía eléctrica, mediante el uso de la energía solar fotovoltaica, que se enmarca dentro de los lineamientos de integración de un sistema fotovoltaico eficiente en la unidad la unidad educativa "Juan Abel Echeverría", de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi. Con el objeto de llegar a formular una evaluación y presentar soluciones, se valora la situación energética del entorno de la institución, mediante el estudio experimental de campo con el propósito de poseer la información general sobre la capacidad de generación, que permita seleccionar el sistema fotovoltaico autónomo. La viabilidad de la investigación está en la proyección que brinda la energía solar fotovoltaica en el mundo, que además comparada con las fuentes no renovables, las ventajas son claras: no contamina, no tiene partes móviles que analizar y no requiere de mucho mantenimiento, por lo que la selección de este sistema, tendrá un impacto de gran relevancia en la disminución del consumo de energía eléctrica sin limitaciones en su uso y aplicación, ya que la institución podrá generar su propia energía de forma segura y económica, permitiéndole a largo plazo ampliar la capacidad instalada, si así lo requiere.

Objeto y problema de la investigación

La investigación nace del elevado consumo de energía eléctrica que tiene la unidad educativa "Juan Abel Echeverría", de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi, que se ha generado por el crecimiento de los procesos inherentes de las actividades académicas y que repercuten directamente al sistema eléctrico instalado, por esto los mecanismos estratégicos hacen que nos proyectemos sobre el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica que se tiene en la zona en la que se encuentra la institución.

✓ **Formulación del problema de la investigación**

¿Cómo incide la evaluación del potencial solar fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi?

Campo de acción y objetivo general de la investigación

✓ **Campo de acción**

La generación de energía eléctrica con la utilización de un sistema fotovoltaico.

✓ **Objetivo General**

Evaluar el potencial solar fotovoltaico, a partir del estudio experimental de campo de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi; que permita cubrir la demanda de consumo de energía eléctrica de manera sustentable socioeconómica y ambientalmente, con el dimensionamiento del sistema de generación fotovoltaico autónomo.

Hipótesis de investigación y desarrollo de la investigación

El estudio experimental de campo permitirá tener datos confiables y válidos del potencial solar fotovoltaico, necesarios en la selección adecuada del sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi; capaz de cubrir los requerimientos de consumo energético.

Sistema de objetivos específicos

- ✓ Establecer los referentes teóricos que sirvan de base a la investigación.
- ✓ Estudiar el potencial solar fotovoltaico, que posee el área comprendida de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, así como la demanda y el consumo de energía eléctrica.
- ✓ Analizar los datos obtenidos mediante la utilización de las herramientas de cálculo y diseño, a fin de establecer una adecuada optimización y eficiencia del recurso solar fotovoltaico.

- ✓ Confirmar la factibilidad técnica y económica que se obtendrá a partir de la adecuada selección del sistema fotovoltaico para la institución educativa.

Sistema de tareas señalando los métodos, procedimientos y técnicas que concretan las acciones en cada tarea

✓ Métodos de la Investigación

De acuerdo con el tipo de investigación efectuada en el trabajo investigativo, se han tomado en cuenta las siguientes categorías metodológicas, que se detallan a continuación:

- 1. Método científico:** está basado en lo empírico sujeto a los principios específicos de las pruebas del razonamiento, que surgen del problema existente sobre la eficiencia energética y entorno al cual se genera la hipótesis de investigación que es susceptible de comprobación científica, con el fin de llegar a su resolución con una propuesta concreta.
- 2. Método hipotético-deductivo:** este método presenta los conceptos, principios, reglas, definiciones, afirmaciones, fórmulas, a partir del cual se analiza, sintetiza, compara, generaliza y se demuestra la hipótesis de la investigación referentes a la evaluación del potencial solar fotovoltaico para generar energía eléctrica.
- 3. Método Analítico-sintético:** consiste en la separación de un todo en sus partes, para observar su naturaleza u origen; este método permite investigar de una forma individual cada uno de los elementos del sistema de generación eléctrica fotovoltaica, y así tener una relación total para poder sacar conclusiones detalladas de este hecho.

✓ Tipos de Investigación

Los tipos de investigación ayudaron en consecución de los objetivos planteados en el estudio, por esto que se utilizaron la investigación de campo y la bibliográfica o documental:

- 1. Investigación de campo:** fue efectuada en la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, con el propósito de describir, interpretar, explicar las causas y efectos de las necesidades existentes, mediante las mediciones de radiación solar y consumo eléctrico.

2. Investigación bibliográfica: fue estructurada a través de los libros, revistas, artículos científicos, tesis, páginas web, softwares, entre otros; sobre el origen, medición, funcionamiento de la energía solar fotovoltaica, y las tecnologías de captación y operación de los sistemas fotovoltaicos autónomos, para conceptualizar y obtener criterios diversos que ayudaron a sustentar la hipótesis.

✓ **Técnicas e Instrumentos de la Investigación**

La utilización de las diversas técnicas e instrumentos nos permite obtener datos específicos de gran importancia para la resolución del problema y las que se utilizaron fueron:

- 1. La lectura científica:** con la que se establecieron las valoraciones de carácter científico a cerca de la información bibliográfica recopilada.
- 2. La observación:** está direccionada con la recolección de información de manera cuidadosa, exhaustiva y exacta de la fenomenología de la investigación.
- 3. La medición:** que a través del empleo de los métodos, dispositivos y herramientas se obtienen los parámetros del potencial solar fotovoltaico y los datos eléctricos de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.
- 4. Los softwares:** que sirvieron para registrar, estimar, calcular y hacer proyecciones de los datos obtenidos de las mediciones (simulaciones).

Visión epistemológica de la investigación

✓ **Paradigmas o enfoques epistemológicos (cualitativo-cuantitativo)**

El paradigma de esta investigación, es tanto del tipo cuantitativa como cualitativa, ya que pretende examinar los datos de manera numérica a través de fórmulas para calcular las mediciones de radiación solar, consumo y demanda de energía eléctrica, comparación de tarifas locales y tecnología actual; y además emplear métodos de recolección de datos con el propósito de explorar las relaciones sociales, ambientales y económicas.

✓ **Nivel de investigación**

Está estructurada en la exploración y descripción del sistema fotovoltaico autónomo de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, relacionando las variables de modo que se analicen los hechos técnicamente, con el empleo de las herramientas e instrumentos apropiados, y que fundamenten las estrategias empleadas de forma explicativa.

✓ **Alcance de la investigación**

El alcance de la investigación, está dirigido al diseño de un sistema fotovoltaico capaz de generar energía eléctrica limpia; para el abastecimiento de los procesos que se tiene en la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi, y que a nivel técnico asegure el correcto funcionamiento, confiabilidad, seguridad y rendimiento del consumo energético que se refleje en un beneficio económico financiero y ambiental.

Capítulo 1: Marco contextual y teórico

En este capítulo se investigan y estudian los conceptos básicos de los diferentes factores que se involucran en el aprovechamiento de la energía solar para la generación de energía eléctrica; se analizará el funcionamiento de sus componentes y el trabajo de un sistema fotovoltaico, que serán la base teórica elemental en el diseño que se propone efectuar.

1.1. Caracterización del objeto de estudio

El objeto de estudio de la presente investigación es la evaluación sistemática y analítica de la energía solar que tiene la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, ubicada en el barrio San Felipe, de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi; con el propósito de aprovechar este tipo de energía para generar energía eléctrica, que sea capaz de abastecer a los procesos académicos de una manera limpia, amigable con el ambiente y económicamente factible. Los datos medibles darán una respuesta concreta a los desafíos y requerimientos que se plantean en situ, de modo que se pueda establecer la más apropiada selección tecnológica que satisfaga las necesidades técnicas, sociales y financieras.

1.2. Antecedentes del estudio

Durante los últimos años se han realizado importantes investigaciones sobre el uso razonable y técnico de la energía solar, y su aplicación en sistemas fotovoltaicos, los estudios que efectuados a nivel local son los que se mencionan a continuación:

En la investigación: Estudio y diseño de paneles solares para el abastecimiento de energía eléctrica en el instituto tecnológico superior “Ramón Barba Naranjo”, se manifiesta que el proyecto tiene como finalidad primordial el diseñar un sistema eléctrico fotovoltaico. Los beneficiarios serán los estudiantes y las futuras promociones que se educarán en el instituto tecnológico superior “Ramón Barba Naranjo”. Se analizaron las formas de aprovechamiento de la radiación solar para la producción de electricidad, determinando la radiación solar promedio en Cotopaxi; y la importancia de la energía fotovoltaica, así como los elementos que conforman una instalación fotovoltaica. La propuesta del sistema de energía solar está relacionada con cálculos y la selección de los equipos adecuados en el abastecimiento de

energía eléctrica y también con el debido presupuesto requerido del sistema fotovoltaico (Aimacaña, 2015, p. 3).

En la investigación: Diseño de un sistema solar fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica en el nuevo campus de la Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga, se manifiesta que el proyecto tiene como finalidad el diseño de prefactibilidad de un sistema solar fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica al nuevo campus de la universidad ESPE-L, y servir como un sistema de emergencia en caso de un corte de energía eléctrica. Por cuanto se realizó un estudio del recurso solar (radiación solar) por el lapso de un año, una vez finalizado el estudio se procedió a realizar la estimación de la demanda máxima, energía consumida y energía generada por el sistema fotovoltaico. El dimensionamiento está dividido en dos grupos de 250 kW de generación para el bloque de aulas A, B y 250 kW para el bloque de aulas C, D, que se conectan en paralelo (Mesias, 2014, p. 16).

1.3. Sector energético a nivel mundial

El 2015 fue un año notable para la energía renovable, pues contó con las mayores incorporaciones de capacidad mundial vistas hasta la fecha. Sin embargo, los desafíos persisten, sobre todo más allá del sector eléctrico. (...)

Los eventos del año culminaron en diciembre, durante la 21^a Conferencia de las Partes (COP21) en París, Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (UNFCCC por sus siglas en inglés), donde 195 países acordaron limitar el calentamiento global muy por debajo de los 2 grados centígrados. La gran mayoría de países se comprometieron a incrementar el uso de la energía renovable y la eficiencia energética a través de las contribuciones previstas y determinadas a nivel nacional (INDCs, por sus siglas en inglés). De los 189 países que presentaron sus propuestas INDCs, 147 mencionaron las energías renovables, y 167 señalaron la eficiencia energética; asimismo, algunos países se responsabilizaron a reformar sus subsidios a los combustibles fósiles. (...)

Durante el 2015, se añadió un estimado de 147 gigavatios (*GW*) de capacidad de energía renovable, el mayor incremento anual jamás registrado; la capacidad calorífica renovable aumentó en alrededor de 38 gigavatios-térmicos (*GWt*); y la producción total de biocombustibles continuó al alza. En el anexo 1, se pueden ver los indicadores de energía renovables, obtenidos durante el año 2015 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century [REN21], 2016, p. 6).

1.4. Energías renovables

Son las que tienen la condición de renovación continua e inagotable. Con la limitación de las emisiones contaminantes consecuencia de la combustión de derivados del petróleo y el carbón, y el incremento de las instalaciones de origen renovable, se espera conseguir frenar el deterioro medioambiental (Perales, 2012, p. 20).

Atendiendo al tipo de energías renovables, las tecnologías renovables se han clasificado en 11 sectores distintos y 22 sistemas de energías renovables, que se las puede apreciar en la figura 1.1.

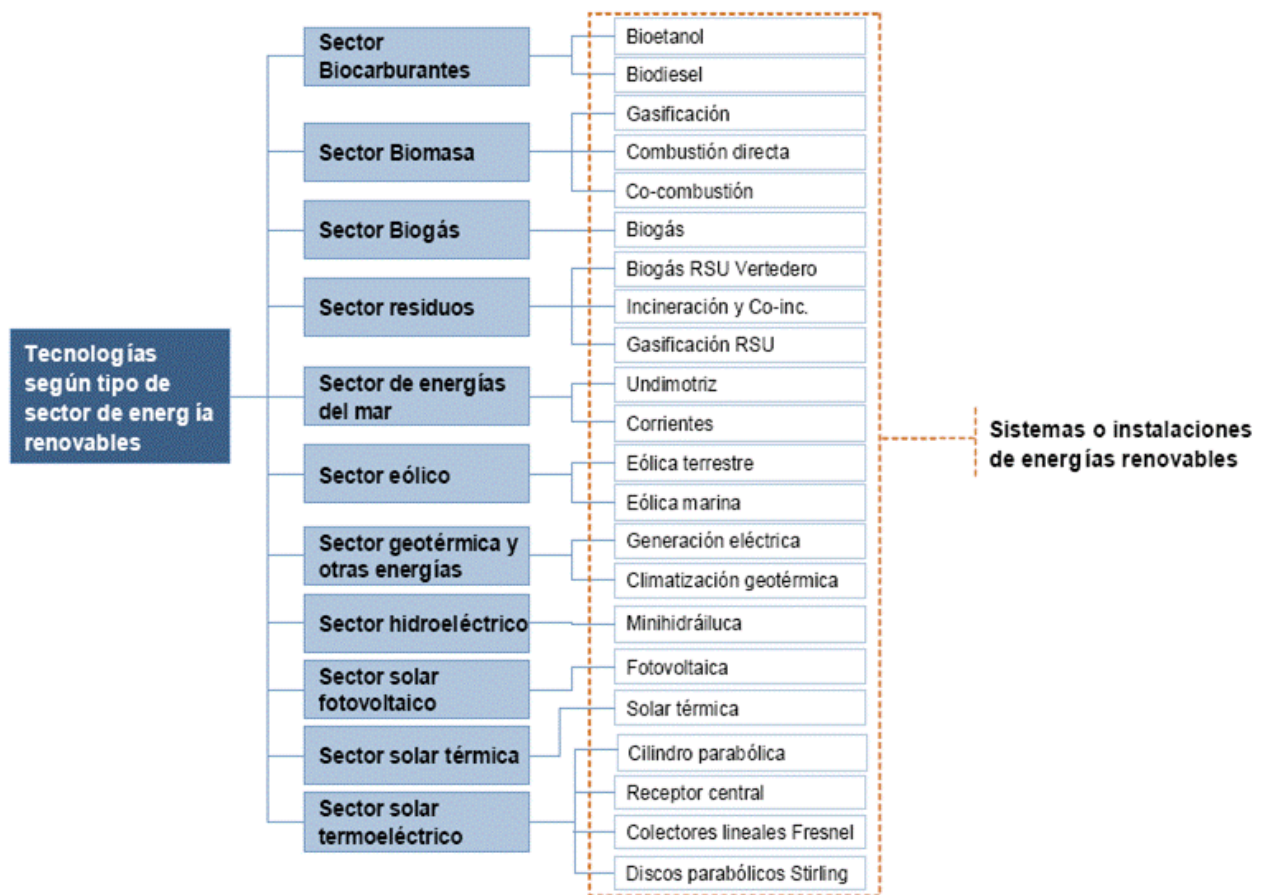


Figura 1.1. Clasificación de las tecnologías según el tipo de sector de energías renovables.

Fuente: Índice Plan de Acción Nacional de Energías Renovables 2011-2020, IDAE.

1.5. Energía solar

Es la energía radiante producida en el Sol, como resultado de reacciones nucleares de fusión que llegan a la Tierra a través del espacio en paquetes de energía llamados **fotones (luz)**, que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestre.

Sin la presencia del Sol no existiría vida en la tierra. El planeta sería demasiado frío, no crecerían las plantas ni habría vida alguna, excepto algunas bacterias. Todos nuestros recursos energéticos provienen indirectamente del Sol. Los combustibles fósiles son plantas y árboles muy antiguos, que crecieron gracias a la luz solar y han sido comprimidos durante millones de años. La energía eólica e hidráulica es generada mediante procesos conducidos por el Sol. La madera para combustible es obtenida de los árboles, los cuales no podrían crecer sin luz solar (Orbegozo & Arivilca, 2010, p. 11).

1.5.1. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es la fuente de energía que produce electricidad de origen renovable, obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica. Necesita sistemas de captación y almacenamiento y aprovecha la radiación del sol de varias maneras diferentes:

- ✓ **Utilización directa:** mediante la incorporación de acristalamientos y otros elementos arquitectónicos con elevada masa y capacidad de absorción de energía térmica, es la llamada energía solar térmica pasiva.
- ✓ **Transformación en calor:** es la llamada energía solar térmica, que consiste en el aprovechamiento de la radiación que proviene de sol para calentar fluidos que circulan por el interior de captadores térmicos. Este fluido se puede destinar para el agua caliente sanitaria (ACS), dar apoyo a la calefacción para atemperar piscinas, entre otras (Cuervo & Méndez, 2007, p. 27).
- ✓ **Transformación en electricidad:** es la llamada energía solar fotovoltaica que permite transformar en electricidad la radiación solar por medio de células fotovoltaicas integrantes de módulos solares. Esta electricidad se puede utilizar de manera directa, se puede almacenar en acumuladores para un uso posterior, e incluso se puede introducir en la red de distribución eléctrica.

Ventajas:

- ✓ Escaso impacto ambiental.
- ✓ No produce residuos perjudiciales para el medio ambiente.
- ✓ Distribuida por todo el mundo.
- ✓ No tiene más costes una vez instalada que el mantenimiento el cual es sencillo.
- ✓ No hay dependencia de las compañías suministradoras.

Inconvenientes:

- ✓ Se precisan sistemas de acumulación (baterías) que contienen agentes químicos peligrosos. Los depósitos de agua caliente deben protegerse contra la legionela.
- ✓ Puede afectar a los ecosistemas por la extensión ocupada por los paneles en caso de grandes instalaciones.
- ✓ Impacto visual negativo si no se cuida la integración de los módulos solares en el entorno (Cuervo & Méndez, 2007, p. 28).

1.5.2. Situación de la energía solar en el mundo

La situación de la energía solar en el mundo está relacionada a la adopción de políticas que mejoren la tecnología de generación eléctrica utilizando la energía solar, que contribuyen a un ambiente libre de contaminación. (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century [REN21], 2016, p. 10).

1.5.2.1. Energía solar fotovoltaica

El mercado de la energía solar fotovoltaica se incrementó un 25% con respecto al 2014, rompiendo un récord de 50 *GW* y aumentando el total mundial a 227 *GW* (ver anexo 3). La capacidad mundial de energía solar fotovoltaica en el mercado anual del 2015 fue 10 veces mayor a la de hace una década. Una vez más, China, Japón y Estados Unidos reportaron la mayor parte en la capacidad añadida; sin embargo, los mercados emergentes en todos los continentes contribuyeron de manera significativa al crecimiento mundial, impulsados en gran medida por el aumento de la competitividad de los costos de energía solar fotovoltaica (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century [REN21], 2016, p. 10-11).

En los últimos años, la recuperación de la industria se fortaleció aún más debido a la aparición de nuevos mercados y a la fuerte demanda mundial. Aunque en América Latina se presenció una baja demanda, como es el caso de Ecuador que tiene apenas el 14% de energía

fotovoltaica instalada con un 36,06 *GWh* de consumo eléctrico (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century [REN21], 2016, p. 11).

1.5.3. Situación actual de la energía solar en el Ecuador

El Ecuador posee niveles de radiación solar elevados, que se han venido incrementando en los últimos años; pero la participación de esta fuente para cubrir la demanda energética nacional es mínima, por lo que el país está perdiendo la oportunidad de convertir a la energía solar en la tercera fuente de energía, luego del petróleo y la hidroelectricidad.

Al estar en la mitad del mundo, el potencial de aprovechamiento de la energía solar en nuestro país posee niveles significativos; y su uso extensivo ayudaría a alcanzar una independencia energética de largo plazo. (...) En ciudades de mayor altitud, como Quito y Riobamba, la radiación supera los 19 puntos y en la ciudad de Latacunga este valor está en el rango de más de 14 puntos. En este contexto, el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER) está dando los primeros pasos para evaluar el recurso solar y utilizar esta información como base para futuros proyectos (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, [INER], 2016, p. 2).

En ese sentido, la necesidad de contar con un documento técnico que cumpla con esta exigencia a fin de impulsar el uso masivo de la energía solar como fuente energética es lo que ha motivado al Consejo Nacional de Electricidad, CONELEC, a presentar el “Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica” (ver anexo 4), el cual ha sido elaborado por la Corporación para la Investigación Energética, CIE (Consejo Nacional de Electricidad, [CONELEC], 2008, p. 4).

1.6. Coordenadas y movimientos de la Tierra

Mediante las coordenadas geográficas, latitud y longitud (ver anexo 8), podemos definir con precisión una posición cualquiera de la superficie terrestre. Se expresan en grados sexagesimales y se dan con referencia al ecuador y al meridiano de Greenwich.

El ecuador es la circunferencia definida sobre la superficie terrestre por un plano perpendicular al eje de rotación de la Tierra que la divide en dos partes, el hemisferio norte y el hemisferio sur.

El meridiano de Greenwich es la semicircunferencia imaginaria que une los polos y pasa por Greenwich (distrito de Londres donde estaba el Greenwich Royal Observatory).

Las circunferencias definidas sobre la superficie terrestre por planos perpendiculares al eje de rotación de la Tierra y por tanto paralelas al ecuador se denominan paralelos. Las semicircunferencias definidas por los círculos máximos de la esfera terrestre que pasan por los polos se denominan meridianos (Castejón & Santamaría, 2016, p. 8).

1.6.1. Latitud (ϕ)

La latitud (ϕ), es la distancia angular que existe entre un punto cualquiera de la superficie terrestre y el ecuador, medida sobre el meridiano que pasa por dicho punto.

La latitud del ecuador es, por definición, de 0° . Todos los puntos ubicados sobre el mismo paralelo tienen la misma latitud (Castejón & Santamaría, 2016, p. 8).

1.6.2. Longitud (L)

La longitud (L), es la distancia angular que existe entre un punto cualquiera de la superficie terrestre y el meridiano de Greenwich, medida sobre el paralelo que pasa por dicho punto. El meridiano de Greenwich divide a la Tierra en dos hemisferios llamados Este (oriental) y Oeste (occidental). Al meridiano de Greenwich, por el ser el meridiano de referencia, le corresponde la longitud cero. También se denomina meridiano cero o meridiano base.

La longitud se mide de 0° a 180° y se define como positiva hacia el Oeste (hemisferio occidental) y negativa hacia el Este (hemisferio oriental), (Castejón & Santamaría, 2016, p. 9).

1.7. Coordenadas solares

Para situar la posición del Sol en el cielo se utiliza el concepto de esfera celeste, que es una esfera imaginaria de radio arbitrario, centrada en el observador, sobre la que se proyecta la posición del Sol (ver anexo 9). Cada punto de esta esfera celeste es una dirección en el cielo vista desde la tierra.

Este sistema de representación muestra las posiciones del Sol como si tuviera un movimiento aparente alrededor de la Tierra siguiendo una trayectoria dentro del plano de la eclíptica que forma un ángulo de $23,45$ grados con el ecuador de la esfera celeste. El Sol recorre la eclíptica una vez al año y la esfera celeste gira una vez al día en torno a la tierra.

En el sistema de coordenadas de la esfera celeste, que es similar al usado para definir la longitud y latitud terrestres, se especifica la posición del sol mediante dos ángulos que se denominan elevación y acimut (ver anexo 9), (Castejón & Santamaría, 2016, p. 10).

1.8. Orientación del generador fotovoltaico

Una vez descritas las coordenadas que nos permiten situar el Sol en el cielo, hay que situar la superficie del generador fotovoltaico de manera que reciba la mayor cantidad posible de energía solar. Esto depende de:

- ✓ La orientación de la superficie del generador fotovoltaico.
- ✓ El tiempo que se va a usar a lo largo del año: anual, estacional, etc.
- ✓ La aplicación que va a tener: autónomo, conectado a la red, etc.

La orientación de un generador fotovoltaico se define mediante coordenadas angulares, similares a las utilizadas para definir la posición del Sol:

- ✓ **Ángulo de acimut (α):** ángulo que forma la proyección sobre el plano horizontal de la perpendicular a la superficie del generador y la dirección Sur (ver anexo 6). Vale 0° si coincide con la orientación Sur, es positivo hacia el Oeste y negativo hacia el Este. Si coincide con el Este su valor es -90° y si coincide con el Oeste su valor es $+90^\circ$.
- ✓ **Ángulo de inclinación (β):** ángulo que forma la superficie del generador con el plano horizontal (figura 1.12). Su valor es 0° si el módulo se coloca horizontal y 90° si se coloca vertical (Castejón & Santamaría, 2016, p. 12).

Para determinar la inclinación óptima de una superficie fija se usa una fórmula basada en análisis estadísticos de radiación solar anual sobre superficies con diferentes inclinaciones situadas en lugares de diferentes latitudes, que proporciona la inclinación óptima en función de la latitud del lugar y es válida para aplicaciones de utilización anual que busquen la máxima captación de energía solar a lo largo del año.

En la práctica también se utilizan expresiones, basadas en la experiencia y la observación, que proporcionan la inclinación óptima en función del periodo de tiempo y el uso que se le va a dar al generador fotovoltaico (ver tabla 1.1), (Castejón & Santamaría, 2016, p. 13).

Tabla 1.1. Inclinaciones óptimas en función del periodo de máxima captación.

Tipo de instalación	Uso	Máxima captación de energía	Inclinación óptima
Conectadas a la red	Anual	Anual	$\beta_{opt} = \phi - 10$
Bombeo de agua	Anual	Verano	$\beta_{opt} = \phi - 20$
Autónomas de consumo anual constante	Anual	Periodo de menor radiación (por ejemplo, invierno)	$\beta_{opt} = \phi + 10$

Fuente: Castejón & Santamaría, 2016; elaborada por Osmar Mosquera Palacios.

1.9. Radiación solar

El Sol genera energía mediante reacciones nucleares de fusión que se producen en su núcleo. Esta energía recibe el nombre de radiación solar, se transmite en forma de radiación electromagnética y alcanza la atmósfera terrestre en forma de conjunto de radiaciones o espectro electromagnético con longitudes de onda que van de $0,15 \mu m$ a $4 \mu m$ aproximadamente (ver figura 1.2), (Castejón & Santamaría, 2016, p. 14).

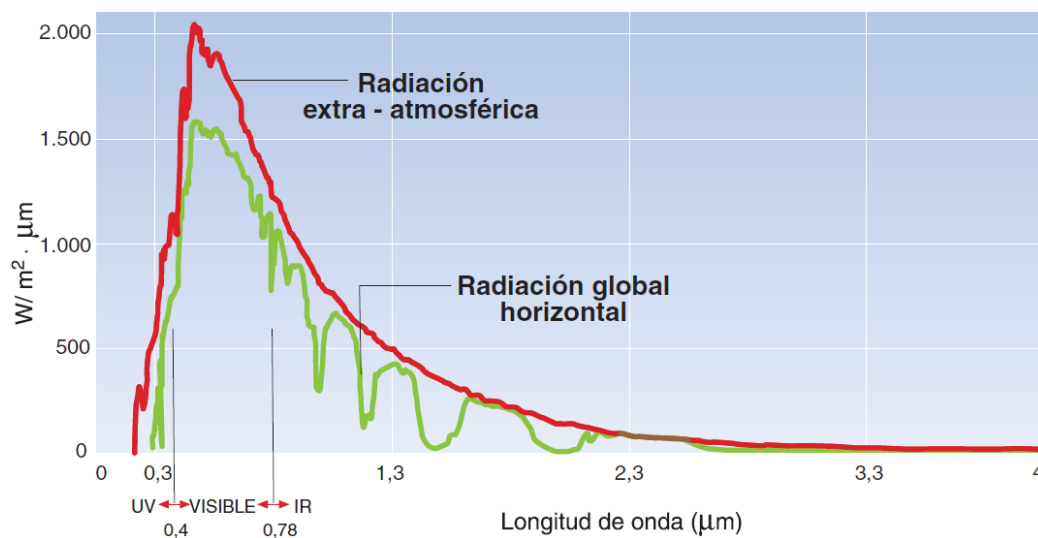


Figura 1.2. Espectro electromagnético de la radiación solar extra-atmosférica y en la superficie terrestre.

Fuente: Castejón & Santamaría, 2016.

1.9.1. Factor AM (Masa de aire)

La posición relativa del Sol con respecto a un punto de la superficie terrestre determina el valor de la masa de aire que debe atravesar la radiación solar. Cuando la altura del Sol es de 90° , se considera una masa de aire de valor 1 (*AM 1*, ver figura 1.3). La masa de aire o factor de masa de aire define cuántas veces mayor es la trayectoria que debe recorrer la radiación

solar a través de la atmósfera con respecto a la trayectoria mínima. Cuando el Sol se encuentra cercano a la vertical, la masa de aire se puede calcular en función de la altura solar. En caso de que la altura solar sea menor de unos 30° se debe tener en cuenta, además, la curvatura de la Tierra y la refracción del aire (Mateo, 2016, p. 40).

Cuando se especifica la potencia máxima de un módulo fotovoltaico en sus hojas de datos se indica para un valor de AM 1,5 que corresponde a un ángulo cenital θ_{zs} de $48,2^\circ$ (ver figura 1.3), (Castejón & Santamaría, 2016, p. 15).

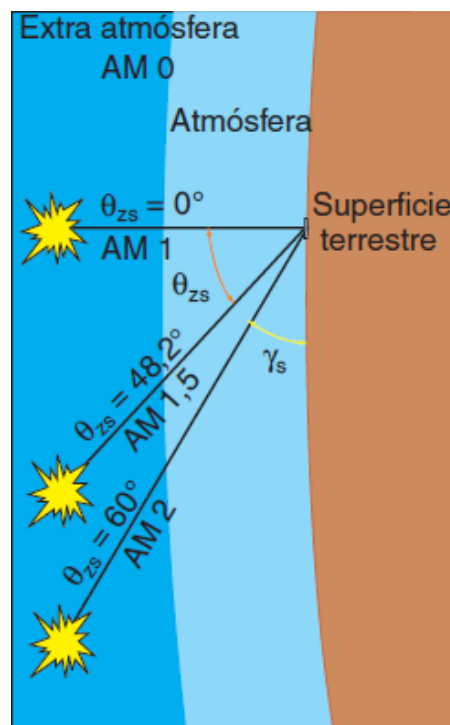


Figura 1.3. Masa de aire (AM) para diferentes ángulos cenitales.

Fuente: Castejón & Santamaría, 2016.

1.9.2. Tipos de radiación solar sobre una superficie

La radiación solar sobre la superficie terrestre tiene variaciones temporales, siendo unas aleatorias, como la nubosidad, y otras previsible, como son los cambios estacionales o el día y la noche, provocadas por los movimientos de la Tierra.

Para facilitar su estudio, la radiación solar sobre un receptor se clasifica en tres componentes: directa, difusa y reflejada o de albedo (ver figura 1.4).

✓ **Radiación directa:** la forman los rayos recibidos directamente del Sol.

- ✓ **Radiación difusa:** procedente de toda la bóveda del cielo, excluyendo el disco solar, la forman los rayos dispersados por la atmósfera en dirección al receptor (por ejemplo, en un día completamente nublado toda la radiación recibida es difusa).
- ✓ **Radiación reflejada o de albedo:** reflejada por la superficie terrestre hacia el receptor. Depende directamente de la naturaleza de las montañas, lagos, edificios, etc. que rodean al receptor.

La suma de todas las radiaciones descritas recibe el nombre de **radiación global** que es la radiación solar total que recibe la superficie de un receptor y por lo tanto la que nos interesa conocer y cuantificar (Castejón & Santamaría, 2016, p. 15).

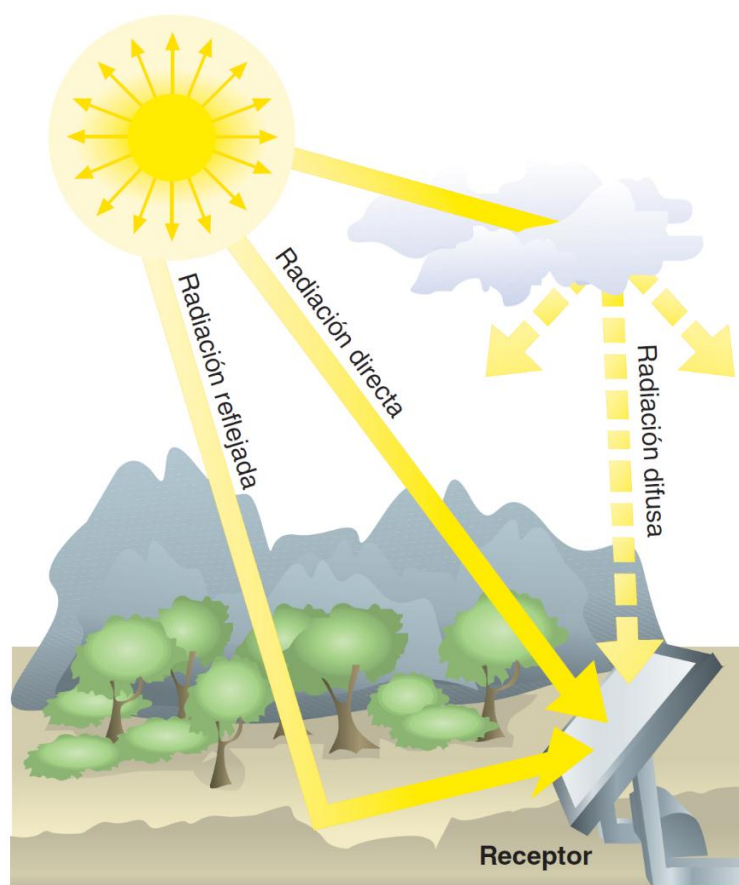


Figura 1.4. Tipos de radiación sobre una superficie.

Fuente: Castejón & Santamaría, 2016.

1.10. Los sistemas fotovoltaicos

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de equipos construidos e integrados especialmente para realizar cuatro funciones fundamentales:

- ✓ Transformar directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica.

- ✓ Almacenar adecuadamente la energía eléctrica generada.
- ✓ Proveer adecuadamente la energía producida (el consumo) y almacenada.
- ✓ Utilizar eficientemente la energía producida y almacenada.

En el mismo orden antes mencionado, los componentes fotovoltaicos (ver figura 1.5), encargados de realizar las funciones respectivas son:

1. El módulo o panel fotovoltaico.
2. El regulador de carga.
3. Las baterías o acumuladores
4. El inversor.
5. Las cargas de aplicación (el consumo), (Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central [FOCER], 2008, p. 6).

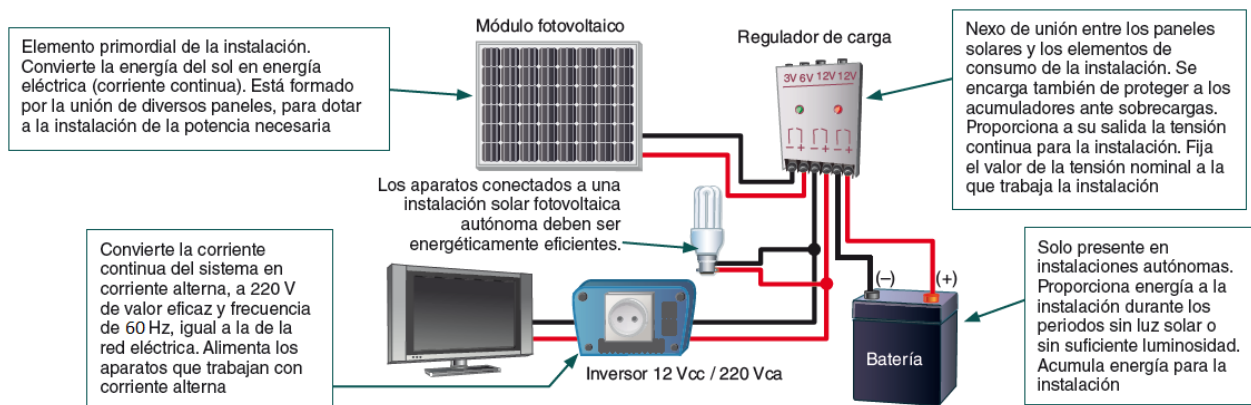


Figura 1.5. Esquema de un sistema fotovoltaico.

Fuente: Díaz & Carmona, 2010.

1.10.1. Clasificación de las instalaciones solares fotovoltaicas

La clasificación de las instalaciones solares fotovoltaicas (ISF) la podemos realizar en función de la aplicación a la que están destinadas. Así, distinguiremos entre aplicaciones autónomas y aplicaciones conectadas a la red.

Aplicaciones autónomas: Producen electricidad sin ningún tipo de conexión con la red eléctrica, a fin de dotar de este tipo de energía al lugar donde se encuentran ubicadas (Díaz & Carmona, 2010, p. 10).

Aplicaciones conectadas a la red: En ellas, el productor no utiliza la energía directamente, sino que es vendida al organismo encargado de la gestión de la energía en el país (Díaz & Carmona, 2010, p. 11).

1.10.2. Módulos fotovoltaicos

Un panel solar o módulo fotovoltaico está formado por un conjunto de células, conectadas eléctricamente, encapsuladas, y montadas sobre una estructura de soporte o marco. Proporciona en su salida de conexión una tensión continua, y se diseña para valores concretos de tensión (6 V, 12 V, 24 V...), que definirán la tensión a la que va a trabajar el sistema fotovoltaico.

En la figura 1.6, se destacan las principales características de todo el panel solar y puede verse un esquema típico de construcción (Díaz & Carmona, 2010, p. 14).

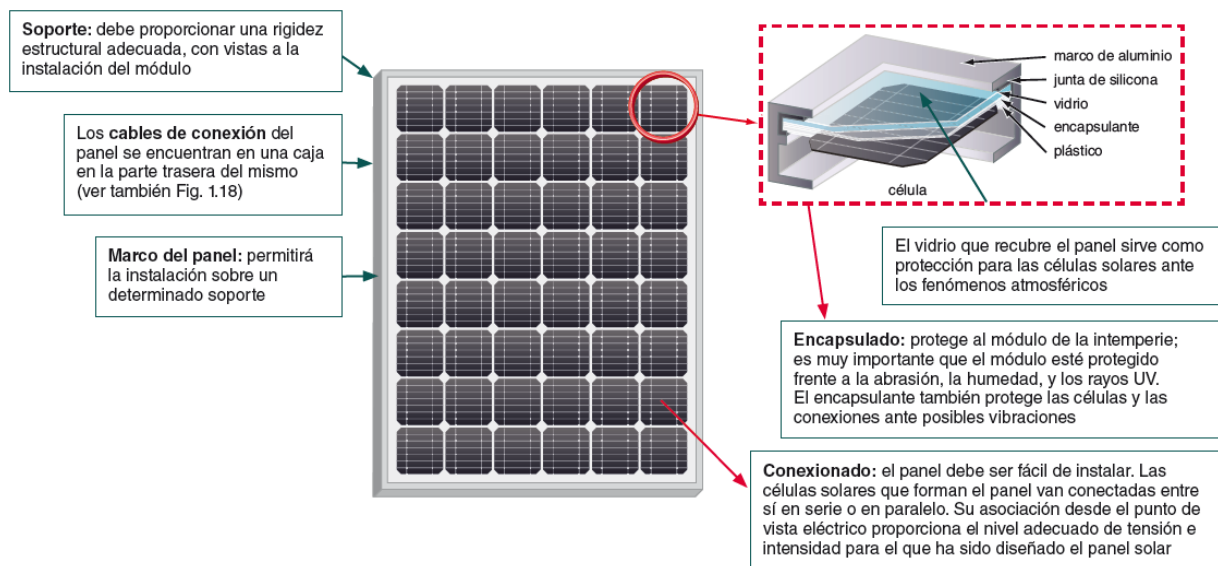


Figura 1.6. Principales características de todo panel solar y esquema típico de construcción.



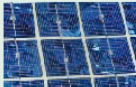
Fuente: Díaz & Carmona, 2010.

- ✓ Todas las características básicas de un módulo fotovoltaico están señaladas bajo condiciones estándar (Radiación = 1 000 W/m², T = 25 °C):
 - **Potencia Pico (Wp)** = Máxima salida de potencia en Watts pico (por ejemplo: 36 Wp).
 - **Corriente de cortocircuito (A)** = Corriente entre los polos conectados de un módulo (por ejemplo: 2,31 A para un módulo de 36 Wp).
 - **Tensión de circuito abierto (V)** = Voltaje entre los polos de un módulo sin carga (por ejemplo: 20,5 V para un módulo de 36 Wp), (Orbegozo & Arivilca, 2010, p. 19).

“Los tipos de paneles solares vienen dados por la tecnología de fabricación de las células (ver tabla 1.2), y son fundamentalmente”:

- ✓ Silicio cristalino (monocristalino y policristalino).
- ✓ Silicio amorfo (Díaz & Carmona, 2010, p. 14).

Tabla 1.2. *Diferencias entre los tipos de paneles solares.*

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocristalino	24 %	15 - 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Fuente: Díaz & Carmona, 2010.

1.10.3. Regulador de carga (Controlador de carga)

Para un correcto funcionamiento de la instalación, hay que instalar un sistema de regulación de carga en la unión entre los paneles solares y las baterías. Este elemento recibe el nombre de regulador y tiene como misión evitar situaciones de carga y sobredescarga de la batería, con el fin de alargar su vida útil.

El regulador trabaja por tanto en las dos zonas. En la parte relacionada con la carga, su misión es la de garantizar una carga suficiente al acumulador y evitar las situaciones de sobrecarga, y en la parte de descarga se ocupará de asegurar el suministro eléctrico diario suficiente y evitar la descarga excesiva de la batería.

Dado que los módulos solares tienen una tensión nominal mayor que la de la batería, si no existiera regulador se podrían producir sobrecargas.

El motivo de que esta tensión nominal de los paneles sea así se debe fundamentalmente a dos razones:

- ✓ Atenuar posibles disminuciones de tensión por el aumento de la temperatura.
- ✓ Asegurar la carga correcta de la batería. Para ello la tensión V_{OC} del panel deberá ser mayor que la tensión nominal de la batería.

El dimensionado de la instalación solar se realiza de manera que se asegure el suministro de energía en las peores condiciones de luminosidad del Sol. Por ello se toman como referencia los valores de irradiación en invierno (Díaz & Carmona, 2010, p. 19).

El esquema de conexión del regulador en una instalación fotovoltaica (ver figura 1.7), será el siguiente:

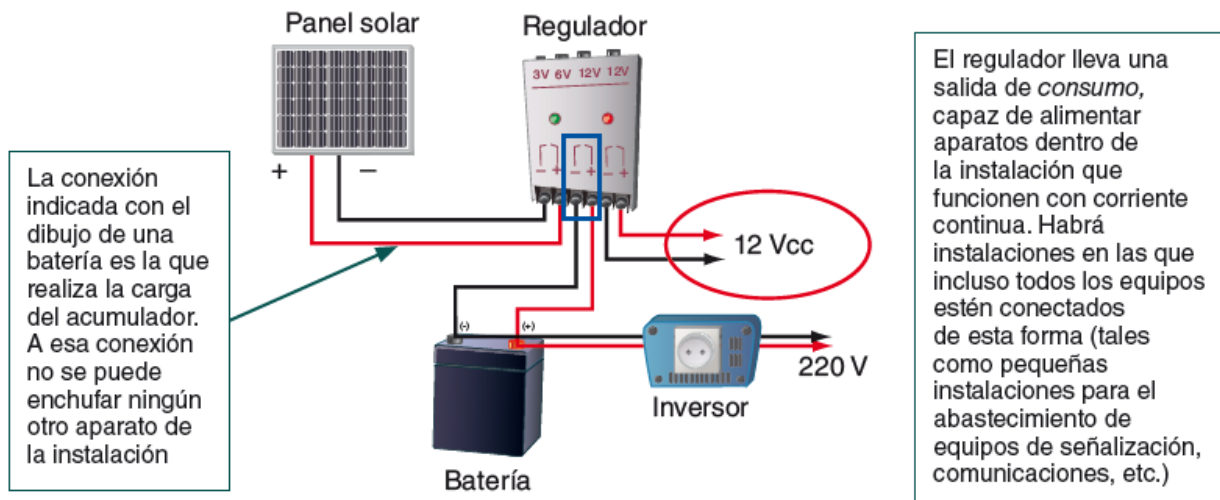
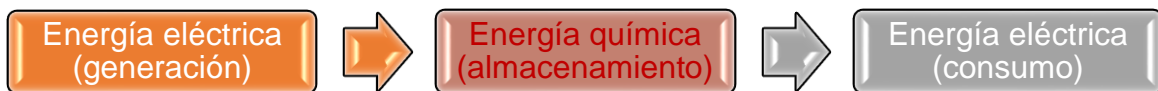


Figura 1.7. Esquema de conexión del regulador en la instalación fotovoltaica.

Fuente: Díaz & Carmona, 2010.

1.10.4. Baterías o acumuladores

Las baterías son dispositivos capaces de transformar la energía química en eléctrica. El funcionamiento en una instalación fotovoltaica será el siguiente:



Las baterías son recargadas desde la electricidad producida por los paneles solares, a través de un regulador de carga, y pueden entregar su energía a la salida de la instalación, dónde será consumida.

Tres son las misiones que tienen las baterías en las instalaciones fotovoltaicas:

- ✓ Almacenar energía durante un determinado número de días.
- ✓ Proporcionar una potencia instantánea elevada.
- ✓ Fijar la tensión de trabajo de la instalación.

Uno de los parámetros más importantes que tener en cuenta a la hora de elegir un acumulador es la capacidad. Se define como la cantidad de electricidad que puede lograrse en una descarga completa del acumulador partiendo de un estado de carga total del mismo. Se mide en amperios hora ($A \cdot h$), y se calcula como el producto de la intensidad de descarga del acumulador durante el tiempo en el que está actuando (Díaz & Carmona, 2010, p. 21).

Además de los parámetros eléctricos, las características que serían deseables para las baterías a utilizar en las instalaciones solares son:

- ✓ Buena resistencia al ciclado (proceso de carga-descarga).
- ✓ Bajo mantenimiento.
- ✓ Buen funcionamiento con corrientes pequeñas.
- ✓ Amplia reserva de electrolito.
- ✓ Depósito para materiales desprendidos.
- ✓ Vasos transparentes (Díaz & Carmona, 2010, p. 22).

1.10.4.1. Tipos de baterías

“Las baterías se clasifican en función de la tecnología de fabricación y de los electrolitos utilizados. En la tabla 1.3, podemos comparar los principales tipos de baterías que hay en el mercado, a través de sus características básicas” (Díaz & Carmona, 2010, p. 22).

“Las baterías más utilizadas en las instalaciones solares son las de plomo-ácido, por las características que presentan. Dentro de este tipo de baterías nos podemos encontrar diferentes modelos” (Díaz & Carmona, 2010, p. 23).





Tabla 1.3. *Características de los principales tipos de baterías.*

Tipo de batería	Tensión por vaso (V)	Tiempo de recarga	Autodescarga por mes	N.º de ciclos	Capacidad (por tamaño)	Precio
Plomo-ácido	2	8-16 horas	< 5 %	Medio	30-50 Wh/kg	Bajo
Ni-Cd (níquel-cadmio)	1,2	1 hora	20 %	Elevado	50-80 Wh/kg	Medio
Ni-Mh (níquel-metal hydride)	1,2	2-4 horas	20 %	Medio	60-120 Wh/kg	Medio
Li ion (ión litio)	3,6	2-4 horas	6 %	Medio - bajo	110-160 Wh/kg	Alto

Fuente: Instalaciones solares fotovoltaicas de Díaz & Carmona, 2010.

“La tabla 1.4, nos muestra diferentes modelos de baterías de plomo-ácido que se utilizan en la práctica (dependiendo de la aplicación de la instalación), con las ventajas e inconvenientes que pueden presentar” (Díaz & Carmona, 2010, p. 23).

Tabla 1.4. *Baterías utilizadas en instalaciones solares.*

TIPO	VENTAJAS	INCONVENIENTES	ASPECTO
Tubular estacionaria	<ul style="list-style-type: none"> • Ciclado profundo. • Tiempos de vida largos. • Reserva de sedimentos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Precio elevado. • Disponibilidad escasa en determinados lugares. 	
Arranque (SLI, automóvil)	<ul style="list-style-type: none"> • Precio. • Disponibilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mal funcionamiento ante ciclado profundo y bajas corrientes. • Tiempo de vida corto. • Escasa reserva de electrolito. 	
Solar	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricación similar a SLI. • Amplia reserva de electrolito. • Buen funcionamiento en ciclados medios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempos de vida medios. • No recomendada para ciclados profundos y prolongados. 	
Gel	<ul style="list-style-type: none"> • Escaso mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Deterioro rápido en condiciones de funcionamiento extremas de V-I. 	

Fuente: Díaz & Carmona, 2010.

1.10.5. Inversor de voltaje

El inversor se encarga de convertir la corriente continua de la instalación en corriente alterna, igual a la utilizada en la red eléctrica: 120 V ó 220 V de valor eficaz y una frecuencia de 60 Hz.

Es un elemento imprescindible en las instalaciones conectadas a red, y estará presente en la mayoría de instalaciones autónomas, sobre todo en aquellas destinadas a la electrificación de viviendas (Díaz & Carmona, 2010, p. 24).

Las características deseables para un inversor DC-AC las podemos resumir de la siguiente manera:

- ✓ **Alto eficiencia:** debe funcionar bien para un amplio rango de potencias.
- ✓ Bajo consumo en vacío, es decir, cuando no hay cargas conectadas.
- ✓ **Alta fiabilidad:** resistencia a los picos de arranque.
- ✓ **Protección contra cortacircuitos.**
- ✓ **Seguridad.**
- ✓ **Buena regulación de la tensión y frecuencia de salida,** que como ya hemos comentado debe ser compatible con la red eléctrica.

Algunos inversores funcionan también como reguladores de carga de las baterías. En este caso no sería necesario incluir el regulador en la instalación (ver figura 1.8), (Díaz & Carmona, 2010, p. 25).

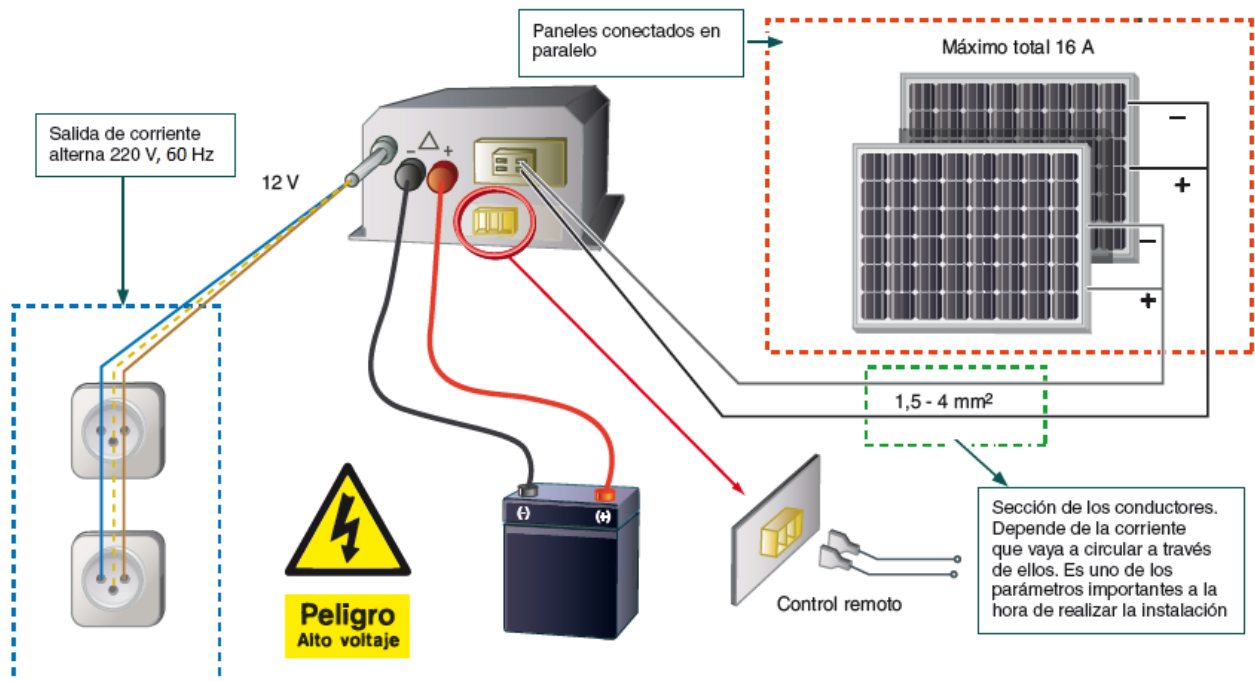


Figura 1.8. Conexión de un inversor-regulador en una instalación autónoma a 12 V. Además de convertir DC en AC, puede cargar las baterías del sistema.

Fuente: Díaz & Carmona, 2010.

1.11. Aparatos de maniobra y protección en un sistema fotovoltaico autónomo

Un sistema fotovoltaico autónomo tiene un comportamiento eléctrico muy diferente al de las instalaciones eléctricas convencionales.

- ✓ El generador fotovoltaico se comporta como **generador** siempre que hay luz solar, **aunque esté desconectado**.
- ✓ La corriente producida por el generador fotovoltaico está **autolimitada**.
- ✓ Hay **dos fuentes de tensión**, el generador fotovoltaico y la batería de acumuladores.

Estos factores unidos a que la corriente generada es corriente continua, impiden el uso de los dispositivos de protección habituales en las instalaciones convencionales de corriente alterna (Castejón & Santamaría, 2016, p. 152).

Atendiendo a su naturaleza, podemos realizar la siguiente clasificación de los riesgos eléctricos que se describen en la tabla 1.5:

Tabla 1.5. *Clasificación de los riesgos eléctricos.*

Riesgos eléctricos	
Profesionales (choque eléctrico) Contra personas y animales domésticos	<ul style="list-style-type: none"> • Contacto directo • Contacto indirecto
Materiales contra equipos eléctricos	<ul style="list-style-type: none"> • Sobreintensidad <ul style="list-style-type: none"> ✓ Sobrecarga ✓ Cortocircuito ✓ Por descargas eléctricas atmosféricas ✓ Sobretenión

Fuente: Cabello & Sánchez, 2014; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

1.11.1. Protección contra sobreintensidades

En el circuito que va del generador fotovoltaico al regulador de carga, la intensidad máxima que puede aparecer corresponde con la corriente de cortocircuito, limitada por el propio generador ($I_{G_{sc}}$). En las ramas o módulos fotovoltaicos en paralelo que forman el generador, también está limitada la corriente al valor de cortocircuito de un módulo (I_{sc}). Como los conductores de conexión de todo el generador se dimensionan para soportar de forma permanente estas corrientes de cortocircuito, no es necesario incorporar protecciones frente a este tipo de sobreintensidades.

Veamos las condiciones de uso que deben cumplir cada uno de estos sistemas de protección:

- ✓ **Diodos de bloqueo:** Se dimensionan para soportar 2 veces la corriente de cortocircuito de un módulo (I_{sc}) en condiciones CEM y una tensión inversa igual a 2 veces la tensión de circuito abierto del generador ($U_{G_{oc}}$) en condiciones CEM. Tienen el inconveniente de disipar mucha potencia y solo son recomendables cuando el sistema fotovoltaico se encuentra en lugares de difícil acceso para su mantenimiento o el generador fotovoltaico está muy expuesto a sombreados parciales (Castejón & Santamaría, 2016, p. 152).
- ✓ **Fusibles:** Se dimensionan para actuar entre 1,5 y 2 veces la corriente de cortocircuito de un módulo (I_{sc}) en condiciones CEM. Todos estos parámetros especificados siempre en corriente continua. El principal inconveniente de los fusibles es la necesidad de reponer el cartucho cuando actúan frente a una sobreintensidad.
- ✓ **Interruptores automáticos magnetotérmicos:** Tienen que ser específicos para corriente continua, lo que dificulta su uso pues actualmente hay pocos fabricantes de este dispositivo.

Se dimensionan para actuar como máximo a 1,5 veces la corriente de cortocircuito de un módulo (I_{sc}) en condiciones CEM.

Además de las protecciones mencionadas, las ramas en paralelo del generador y este mismo tienen que disponer de un dispositivo de maniobra que permita su desconexión del resto de la instalación. Normalmente se utiliza un interruptor general para desconectar el generador fotovoltaico y un sistema de desconexión que permita aislar las ramas o módulos en paralelo del generador (Castejón & Santamaría, 2016, p. 153).

1.11.2. Protección contra sobretensiones

Para la protección contra las sobretensiones que pueden producirse en el generador fotovoltaico por descargas atmosféricas se deben instalar protectores contra sobretensiones en la caja de conexiones del generador, conectados entre el positivo y negativo y la toma de tierra. Si la distancia entre el generador fotovoltaico y el regulador de carga es superior a 10 metros, también se deben instalar protectores contra sobretensiones en la entrada del regulador de carga (Castejón & Santamaría, 2016, p. 154).

1.11.3. Aislamiento y puesta a tierra

Los módulos del generador fotovoltaico y los materiales utilizados en la instalación eléctrica deben tener aislamiento clase II. Los marcos metálicos de los módulos y la estructura soporte del generador fotovoltaico estarán conectados a tierra mediante conductor de cobre de sección mínima de 16 mm².

El generador fotovoltaico trabaja aislado de la toma de tierra en funcionamiento flotante (Castejón & Santamaría, 2016, p. 154-155).

1.11.4. Protección del inversor y los circuitos de utilización

Son circuitos de CA y las protecciones son contra sobrecargas y cortocircuitos mediante interruptores automáticos magnetotérmicos y contra contactos directos e indirectos mediante interruptor diferencial. La corriente y la tensión de servicio de estos dispositivos se determinan en función de la potencia y tensiones nominales del inversor. Se recomiendan interruptores diferenciales de alta sensibilidad (Castejón & Santamaría, 2016, p. 155).

1.12. Estructuras soporte

Un componente muy importante en la construcción de un sistema fotovoltaico es la estructura sobre la que se monta el conjunto de módulos fotovoltaicos que forman el generador.

La estructura que soporta a un generador fotovoltaico cumple dos funciones:

- ✓ Dotar a la estructura del generador de la consistencia mecánica adecuada y un buen sistema de anclaje.
- ✓ Proporcionar la orientación e inclinación óptimas para la aplicación diseñada (Castejón & Santamaría, 2016, p. 156).

1.12.1. Tipos de estructuras soporte

Se puede hacer una clasificación de las estructuras soporte de los generadores fotovoltaicos en función de la situación del plano del generador:

- ✓ **Sobre suelo:** se emplea en generadores con muchos módulos fotovoltaicos.
- ✓ **Sobre mástil:** se emplea en generadores pequeños de poca superficie (uno o dos módulos) y en instalaciones que necesitan por su función un poste o mástil, como antenas repetidoras, farolas, entre otras.
- ✓ **Sobre pared:** sistema muy apropiado para instalaciones en viviendas o edificios con alguna fachada orientada al Sur.
- ✓ **Sobre tejado o cubierta:** si se dispone de una cubierta horizontal la instalación es muy sencilla, siendo similar a una instalación sobre el suelo (Castejón & Santamaría, 2016, p. 156).

1.13. Fundamentación de la Investigación

Las consecuencias que ha sufrido el planeta durante los últimos años, debido al crecimiento industrial, explotación y consumo, han puesto la alerta de conservación ambiental y el establecimiento de políticas consecuentes con la utilización de las energías renovables, con el propósito de disminuir la contaminación y de combatir el cambio climático. En la actualidad los procesos modernos requieren de la energía eléctrica para su constante funcionamiento, ante ello la energía solar fotovoltaica se presenta, como una alternativa eficiente y limpia. Sabiendo que Ecuador tiene altos niveles de radiación solar, el proyecto investigativo pretende evaluar el potencial solar fotovoltaico que dispone la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, de la

ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi, como una propuesta amigable con el medio ambiente y que pueda ser una solución sustentable de autonomía eléctrica de la institución. La viabilidad práctica y teórica de la investigación correlaciona los mecanismos y estrategias para alcanzar la más adecuada selección del sistema fotovoltaico autónomo, que tendrá costos de operación bajos, mantenimiento sencillo, tecnología vanguardista, área de ocupación apropiada, costo-beneficio, operatividad confiable, silencioso y monitoreo constante, y que tendrá una funcionalidad promedio de hasta 20 años, con cableado eléctrico bajo norma y sin caída de tensión.

1.14. Determinación de variables

La variable independiente y dependiente, nacen de la necesidad de tener una adecuada eficiencia energética en la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, mediante la utilización apropiada de la energía solar fotovoltaica como fuente de generación eléctrica; y éstas son las siguientes:

- ✓ *Variable independiente:* potencial solar fotovoltaico.
- ✓ *Variable dependiente:* generación de energía eléctrica.

1.14.1. Operacionalización de las variables

Este proceso metodológico, busca analizar deductivamente las variables implícitas en la investigación del sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, partiendo desde lo más general a lo más específico, haciendo que de éstas se dividan sus categorías, indicadores, ítems, técnicas que son susceptibles de ser medidas a través de un instrumento (ver tablas 1.6 y 1.7).

Tabla 1.6. *Variable independiente: Potencial solar fotovoltaico.*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Es aquel potencial que aprovecha la energía de los rayos del Sol para generar electricidad mediante el uso de módulos o paneles solares.	Coordenadas y movimientos de la tierra	Latitud (ϕ)	Grados ($^{\circ}$), minutos ($'$) y segundos ($''$)	Georreferenciación	Google Earth (Información satelital georreferencial)
		Longitud (L)			
	Radiación solar	Radiación global horizontal	$\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2\cdot\text{día}$	Medición	Prototipo para mediciones radiación y orientación fotovoltaica
		Irradiancia	W/m^2		
		Irradiación	$\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$		
		Pérdidas	%		
	Captación solar	Ángulo de Acimut	Grados ($^{\circ}$)	Medición	Prototipo para mediciones de radiación y orientación fotovoltaica
		Ángulo de Inclinación			
		Temperatura	$^{\circ}\text{C}$		

Fuente: Propia, elaborada por: Osmar Fabián Mosquera Palacios.

Tabla 1.7. *Variable dependiente: Generación de energía eléctrica.*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Consiste en el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica para generar energía eléctrica, de forma limpia y respetuosa con el ambiente.	Paneles solares o módulos fotovoltaicos	Potencia máxima	W	Medición	Datos de placa característica, Multímetro y Pinza Amperimétrica
		Voltaje	V		
		Intensidad de corriente	A		
		Temperatura SV	$^{\circ}\text{C}$		
		Rendimiento	η	Cálculos	Ecuaciones
		Orientación	Grados ($^{\circ}$)	Medición	Prototipo para mediciones radiación y orientación fotovoltaica
	Consumo de energía eléctrica	Potencia consumida	$\text{kW}\cdot\text{h}$	Medición	Medidor de energía eléctrica
	Baterías o Acumuladores	Carga eléctrica	A·h	Cálculos	Ecuaciones
	Regulador de carga e Inversor	Voltaje	V	Cálculos	Ecuaciones
		Intensidad de corriente	A		
	Cableado eléctrico	Ampacidad	A	Medición	Normas
		Caída de tensión	V	Cálculos	Ecuaciones
	Prefactibilidad	Costos	\$	Cálculos	Ecuaciones

Fuente: Propia, elaborada por: Osmar Fabián Mosquera Palacios.

Capítulo 2: Metodología

En este capítulo se muestran los aspectos metodológicos que posibilitan el desarrollo satisfactorio de la investigación, describiendo sistemáticamente los métodos, técnicas e instrumentos con un orden cronológico, que permiten analíticamente la determinación científica de los aspectos incidentes del objeto de estudio energético de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, y que a su vez permita comprobar la veracidad de la hipótesis planteada en el modelo experimental de campo, mediante la obtención de datos confiables, precisos y válidos para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico autónomo.

2.1. Paradigmas o enfoques epistemológicos (cualitativo-cuantitativo)

La investigación está enfocada en el paradigma cualitativo-cuantitativo; que parte de los hechos bibliográficos-documentales existentes y que se complementan con los cálculos y análisis estadísticos-matemáticos de los datos obtenidos de las mediciones experimentales de campo de radiación solar de manera evaluativa y su relación con los valores del consumo y demanda de energía eléctrica, que permiten la parametrización técnica-científica y tecnológica del diseño del sistema fotovoltaico autónomo de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, de la ciudad de Latacunga, Provincia de Cotopaxi, que genere energía limpia y amigable con el entorno.

2.2. Tipos de Investigación

Los tipos de investigación que se utilizaron fueron la investigación de campo y la bibliográfica-documental:

2.2.1. Investigación de campo

La investigación de campo, fue efectuada en la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, que se encuentra en el barrio San Felipe, al Sur Oeste de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi (ver figura 2.1).



Figura 2.1. Unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.

Fuente: Propia; elaborado por: Osmar Fabián Mosquera Palacios.

2.2.2. Investigación bibliográfica-documental

La investigación bibliográfica-documental, está basada en la consulta de libros, revistas, manuales, catálogos, tesis y páginas de internet; que ayudaron a tener una idea más clara y precisa sobre el campo de la energía solar fotovoltaica y los beneficios que surgen al implementar sistema de generación fotovoltaicos autónomos, desde el punto de vista teórico-técnico.

2.3. Métodos de la Investigación

Las estrategias y herramientas seleccionadas en la investigación, permitieron direccionar la problemática a una solución estructurada y satisfactoria; en tal virtud, se plantearon los siguientes métodos:

El **método científico**, basado en el conocimiento empírico, consiste en la observación sistemática, medición, experimentación, la formulación, análisis y modificación de las conjeturas, que con el **método hipotético-deductivo**, busca combinar la reflexión racional de la hipótesis planteada en la práctica científica, explicando de manera deductiva los fenómenos encontrados en la experimentación de campo y su relación intrínseca en la obtención de datos confiables, precisos y válidos; de la carga eléctrica y el potencial solar fotovoltaico, y que a través del **método analítico-sintético**, se analizan los componentes que están relacionados

directamente con el dimensionamiento del sistema fotovoltaico autónomo y su capacidad de satisfacer el consumo de energía eléctrica que demanda la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, y su confiabilidad de forma sintética, fundamentado en el balance de energía que se describe a continuación (ver figura 2.2):

$$\text{Energía generada} = \text{Energía consumida} + \text{Pérdidas propias del SFV}$$



Figura 2.2. Diagrama de flujo del dimensionamiento sistema fotovoltaico autónomo.

Fuente: Propia, elaborado por: Osmar Mosquera Palacios.

2.4. Técnicas e instrumentos de la investigación

La utilización de las diversas técnicas e instrumentos, permitieron obtener datos específicos de gran importancia para la resolución del problema investigativo y son los mencionados en la tabla 2.1:

Tabla 2.1. Técnicas e instrumentos.

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Lectura científica	Referencias bibliográficas
Observación	Ficha de observación, cámara fotográfica
Medición	Instrumentos de medición y ecuaciones
Software	Base de datos

Fuente: Propia, elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

La valoración de carácter científico, fue gracias a la **lectura científica** de las fuentes bibliográficas-documentales, que dieron un criterio comprensivo y sustentable.

La observación de los hechos, se efectuaron de manera cuidadosa, exhaustiva y exacta “in situ”; con la que se obtuvieron la mayor cantidad de datos necesarios en la construcción

científica y que a su vez ayudaron en la conformación de aspectos puntuales del sistema fotovoltaico autónomo. Estas observaciones, fueron recolectados en una ficha de observación (ver con mayor detalle en el anexo 10) y están apoyadas en un reporte fotográfico.

En la investigación de campo, se efectuaron **las mediciones** que fueron divididas en dos partes esenciales, con el propósito de obtener los datos correspondientes al consumo eléctrico y el potencial solar fotovoltaico de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”:

- ✓ La estimación del consumo eléctrico ($W \cdot h$), se obtuvo, inventariando la información de dos formas: a) registrando los valores de fabricación de las placas características de los aparatos eléctricos; b) tomando a plena carga los valores de voltaje (V) e intensidad de corriente (A) de los equipos eléctricos con la ayuda de un multímetro (ver figura 2.4) en corriente alterna (AC), así como la evaluación del tiempo de funcionamiento (h). Conceptualmente, se emplearon ecuaciones de cálculo que comprenden en multiplicar la potencia P (W), de cada uno de los equipos disponibles, por el número de horas de utilización ($h/día$), este último parámetro se ve afectado por muchos factores tales como el número de usuarios, sus actividades, la época del año, costumbres y entorno socioeconómico, entre otros; que se pronosticaron en base a la experiencia y observancia de su uso.

$$P = V \cdot I \cdot \cos \phi \quad (2.1)$$

$$Consumo = P \cdot h \quad (2.2)$$

Nota: En algunos casos fue necesario el empleo de la potencia aparente.

- ✓ Los valores de radiación solar de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, se lograron establecer con el empleo de un prototipo fotovoltaico a escala (ver figura 2.3 y características en la tabla 2.2), con el que se midieron: el voltaje a circuito abierto (V_{oc}) e intensidad de cortocircuito (I_{sc}), utilizando un multímetro (ver figura 2.4); y el valor de la temperatura ($^{\circ}C$) con un termómetro (ver figura 2.4), a diferentes ángulos de inclinación (rangos de 0° a 45° ; direccionados hacía el hemisferio Norte ya que nos encontramos localizados en el Sur) y durante los periodos de tiempo comprendidos de lunes a viernes (desde las 6:00 a.m. hasta 18:00 p.m.). Estos comportamientos se registraron en una base de datos (Excel). Las fórmulas de cálculo requeridas fueron:

$$P_{PS} = V_{oc} \cdot I_{sc} \quad (2.3)$$

$$G_d = \frac{P_{PS} \cdot h}{A \cdot \eta_{PS}} \quad (2.4)$$

Donde:

G_d : promedio mensual de la radiación directa solar medida ($kW \cdot h/m^2 \cdot día$)

P_{PS} : potencia generada por el prototipo fotovoltaico (panel solar, W).

h : horas de medición radiación solar.

A : área del panel solar (m^2).

η_{PS} : rendimiento del módulo fotovoltaico (adimensional).



Figura 2.3. Prototipo para mediciones de radiación y orientación fotovoltaica.

Fuente: Propia, fotografía tomada por: Osmar Mosquera Palacios.

Las características del panel solar (del fabricante solarplus energy) utilizado, son:

Tabla 2.2. Características técnicas del módulo fotovoltaico policristalino.

Modelo	SP020P	
Potencia máxima	P_{max}	20 W_p
Corriente de máxima potencia	I_{mp}	1,111 A
Voltaje de máxima potencia	V_{mp}	18 V
Corriente de corto circuito	I_{sc}	1,202 A
Voltaje circuito abierto	V_{oc}	22,5 V
Tolerancia de potencia		$\pm 5\%$
Máximo voltaje del sistema		750 V
Rendimiento del módulo		10,5 %

Temperatura de funcionamiento	-40°C ~ + 85°C	
Coefficiente tensión-temperatura	-155 ± 10 mV/°C	
Coefficiente corriente-temperatura	+0,06 ± 0,01 %/°C	
Coefficiente potencia-temperatura	-0,5 ± 0,05 %/°C	
Clase de aplicación		A
Peso	kg	1,9
Dimensiones	mm	440x350x25

Fuente: Placa característica del panel solar Solarplus Energy; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

Valores medios, medidos en condiciones estándar: 1000 W/m², 25°C, espectro AM 1,5.

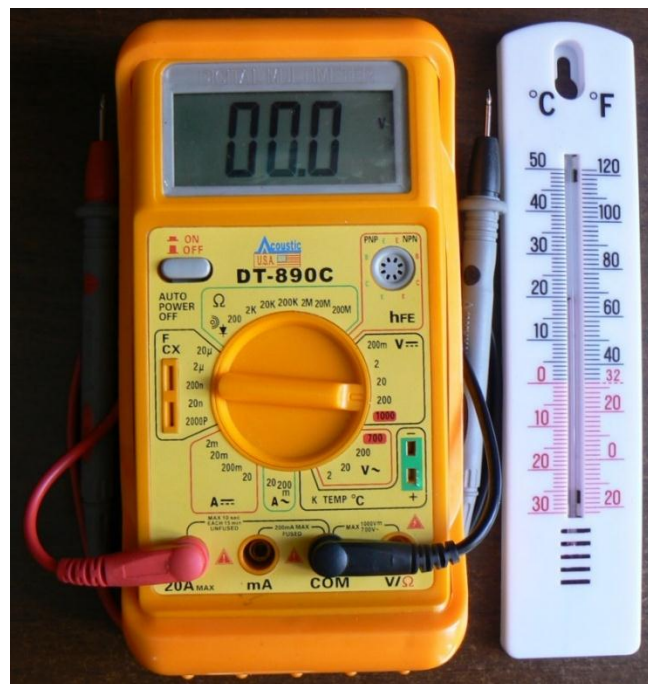


Figura 2.4. Multímetro y termómetro.

Fuente: Propia, fotografía tomada por: Osmar Mosquera Palacios.

Los softwares, permitieron estructurar adecuadamente los datos obtenidos en el proceso investigativo. El programa Excel, nos facilitó la ejecución de las proyecciones de análisis estadístico y de cálculo del sistema fotovoltaico autónomo. El software PVsyst 5.0, nos proporcionó las simulaciones de sombreado dadas las condiciones de radiación solar conseguidas en la investigación de campo, mientras que el programa PSIM 9.0 nos proporcionó las curvas características de los módulos fotovoltaicos en condiciones CEM. Los diagramas de infraestructura y de conexionado eléctrico se los ejecutó en el programa Autocad.

PVsyst (figura 2.5): es una herramienta que sirve para desarrollar instalaciones fotovoltaicas que permite el estudio, la simulación y análisis de datos completa de los sistemas fotovoltaicos.

Este software permite dimensionar el tamaño de las instalaciones teniendo en cuenta la radiación solar que recibiría en función de su ubicación gracias a su base de datos meteorológica, que permite su diseño en 3D y que tiene en cuenta la proyección de sombras gracias a la simulación del movimiento del Sol durante el día.

También permite el análisis económico usando costos reales de componentes, costos adicionales y las condiciones de inversión, en cualquier moneda.

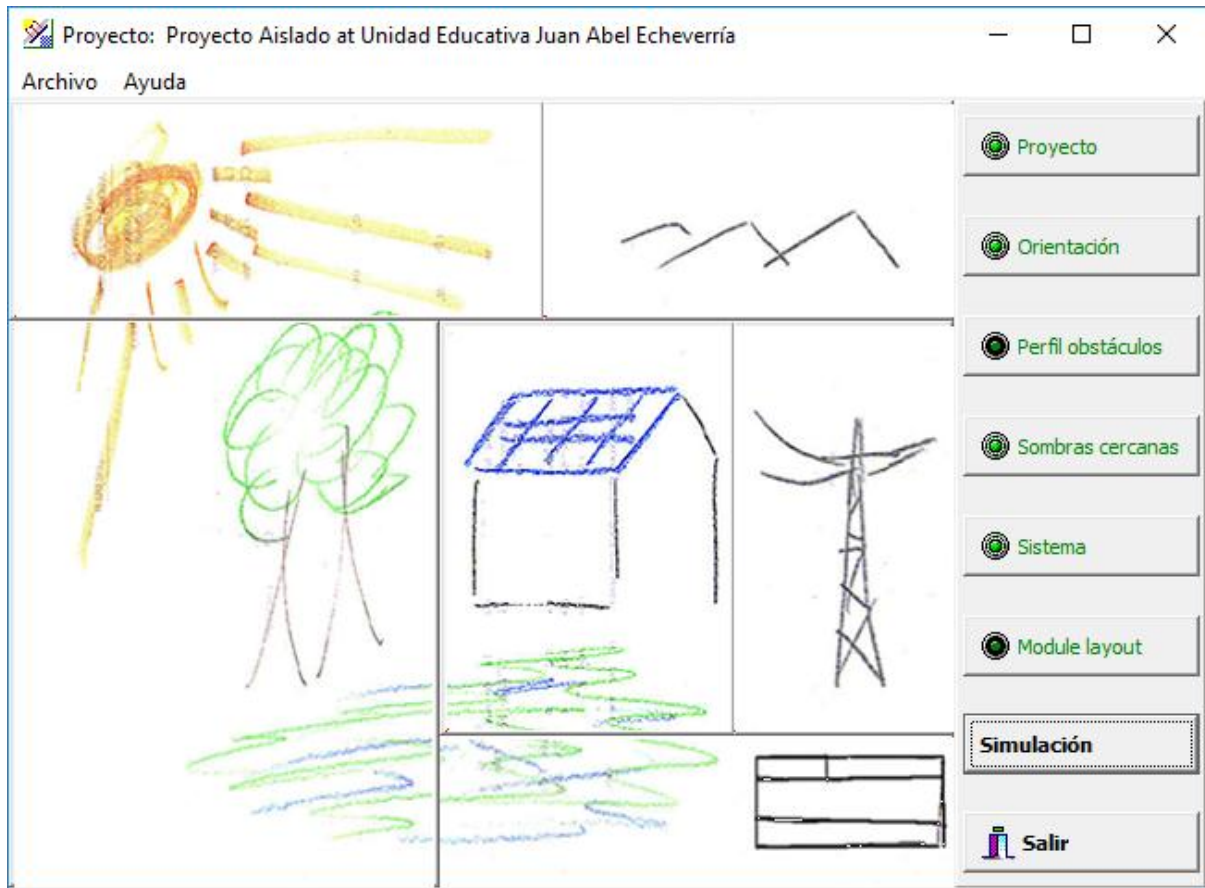


Figura 2.5. Software de estudio, diseño, cálculo y simulación de sistemas fotovoltaicos, PVsyst 5.0.

Fuente: PVsyst 5.0.

PSIM: es una herramienta de simulación de circuitos desarrollada por la empresa Powersim. Este software está especialmente diseñado para simulaciones de electrónica de potencia, control de motores, sistemas dinámicos y sistemas fotovoltaicos.

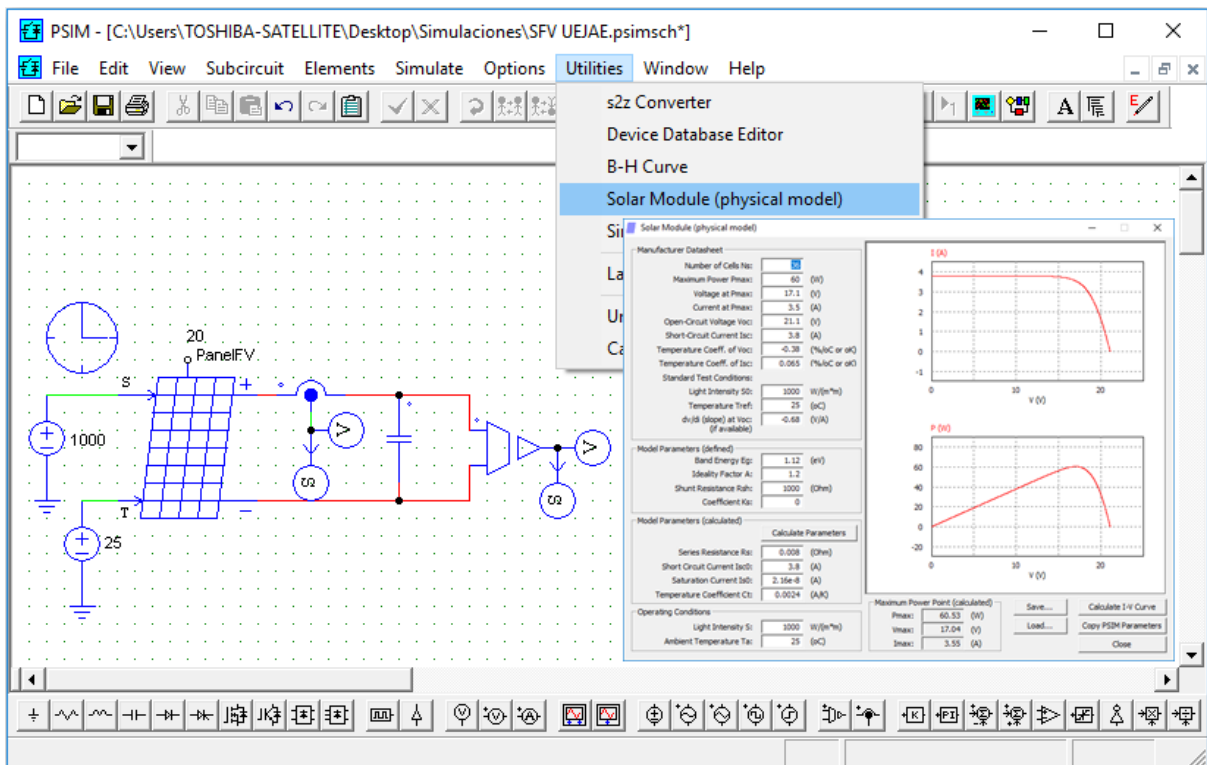


Figura 2.6. Software de simulación de circuitos y solares, PSIM 9.0.

Fuente: PSIM 9.0.

2.5. Nivel de investigación

La evaluación y diseño de la investigación están basados en la exploración y descripción del sistema fotovoltaico autónomo de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, utilizando las herramientas e instrumentos apropiados, que expliquen la información obtenida de manera científica-técnica, y relacionando las causas y efectos de las variables en el estudio crítico, para lo cual se adoptan estrategias que gestionen su veracidad.

2.6. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico autónomo

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico autónomo está relacionado a los cálculos de las diferentes componentes que lo constituyen para una eficiente selección técnica-tecnológica.

2.6.1. Cálculo del consumo diario total de energía eléctrica

La demanda de energía eléctrica impone muchas de las características de la instalación, por lo que, en la planificación de las necesidades de la unidad educativa, se anotaron todos los

aspectos relacionados con los diferentes equipos eléctricos, que representan la carga del sistema fotovoltaico y la energía real requerida, la cual se determina con la siguiente ecuación:

$$E_T = \frac{E_{dc}}{\eta_r} + \frac{E_{ac}}{\eta_{bat} \cdot \eta_{inv}} \quad (2.5)$$

Donde:

E_T : energía real requerida por el sistema (consumo, $W \cdot h/día$).

E_{dc} : cargas en corriente continua ($W \cdot h/día$).

E_{ac} : cargas en corriente alterna ($W \cdot h/día$).

η_r : rendimiento del regulador (decimal).

η_{bat} : rendimiento de la batería (decimal).

η_{inv} : eficiencia media del inversor (decimal) (Aguilera, 2011, p. 8).

2.6.2. Elección del tipo de sistema

La elección del tipo de sistema implica determinar la necesidad de acumulación, el tipo de corriente que se va a utilizar en los receptores (corriente alterna AC) y la tensión nominal de los circuitos de utilización.

Si el suministro de energía eléctrica no requiere el uso de DC de 12 V o 24 V en los receptores, es preferible una tensión nominal alta, independientemente de la potencia. Si la potencia es superior a 2 kW o 3 kW y las distancias entre el generador y el regulador de carga es grande (10 metros o más) se debe considerar la posibilidad de utilizar un regulador con seguidor MPPT (Castejón & Santamaría, 2016, p. 132).

2.6.3. Cálculo del ángulo óptimo de inclinación de los paneles

Una vez establecida la radiación solar incidente de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría” (valores medios mensuales diarios), se determinaron la orientación e inclinación óptima del generador fotovoltaico, además las pérdidas estimadas, que se pueden producir si no se utilizan los valores óptimos o las proyecciones de sombras que podrían afectar al generador en su funcionamiento.

La inclinación óptima de la superficie está relacionada con la latitud ϕ , y la constante K que indica la relación entre el valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano horizontal $G_{dm}(0)$ y el mismo valor para un plano inclinado con un ángulo óptimo $G_{dm}(0, \beta_{opt})$. La

expresión (ecuación 2.6), busca la máxima captación de energía solar a lo largo del año: (Castejón & Santamaría, 2016, p. 133).

$$\beta_{\text{opt}} = 3,7 + 0,69 \cdot |\phi| \quad (2.6)$$

Donde:

β_{opt} : ángulo de inclinación óptima (grados).

$|\phi|$: latitud del lugar, sin signo (grados), (Castejón & Santamaría, 2016, p. 13).

El acimut óptimo para que una superficie reciba la mayor cantidad posible de energía solar es cero ($\alpha = 0^\circ$) y la superficie del generador se deben orientar hacia el Norte geográfico.

Lo que sigue a continuación viene a llamarse el procedimiento o método de dimensionado del mes crítico o mes desfavorable. Se prepara a continuación una tabla donde se indica la radiación incidente para las distintas inclinaciones y para los diferentes meses.

Conociendo los consumos mensuales (E_T) para todos los meses del año, se prepara una nueva tabla en la que se incluyen las relaciones “Consumo/ Radiación” (E_T/G_d). Los pasos que se siguieron, son los siguientes:

Paso 1: para cada inclinación se tomaron, el máximo cociente de cada columna, obteniendo de este modo el mes crítico para cada inclinación.

Paso 2: se eligieron de todos los máximos anteriores (los de las columnas) el menor, de forma que se maximice la captación energética solar en el mes crítico (Aguilera, 2011, p. 10-11).

2.6.4. Dimensionamiento del generador fotovoltaico

Una vez determinada la radiación solar sobre el generador hay que calcular la potencia del mismo, teniendo en cuenta que una parte de la energía eléctrica que va a generar se queda por el camino antes de llegar a los receptores (Castejón & Santamaría, 2016, p. 134).

La potencia pico del generador fotovoltaico, está determinada teniendo en cuenta la radiación total diaria incidente sobre la superficie de los módulos, $G_{dm}(\beta)$, y el rendimiento global de la conversión fotovoltaica en el que se incluyen las pérdidas por conexionado, dispersión de parámetros, efecto de la temperatura, acumulación de suciedad en la superficie de los módulos, entre otros.

Las pérdidas, se agrupan en un coeficiente que recoge el rendimiento energético de la instalación denominado PR (Performance Ratio). El valor recomendado en sistemas con

inversor, batería y regulador de carga es: $PR = 0,6$; pero se lo puede calcular a partir de los rendimientos parciales de todo el sistema con la expresión (Castejón & Santamaría, 2016, p. 135):

$$PR = \eta_{MPP} \cdot \eta_T \cdot \eta_{DP} \cdot \eta_{pol} \cdot \eta_{refle} \cdot \eta_{som} \cdot \eta_{HPS} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_c \quad (2.7)$$

Donde:

η_{MPP} : pérdidas por el punto de máxima potencia pico (MPP) del módulo fotovoltaico.

η_T : pérdidas por temperatura.

η_{HPS} : pérdidas por horas Sol pico.

η_{DP} : pérdidas por distorsión.

η_{inv} : pérdidas del inversor

η_{pol} : pérdidas por suciedad (polvo).

η_c : pérdidas por debidas al efecto Joule en

η_{refle} : pérdidas por reflectancia angular.

los cables.

η_{som} : pérdidas por sombreado.

El valor mínimo de potencia del generador fotovoltaico P_{Gmin} , se calcula con la expresión siguiente:

$$P_{Gmin} = \frac{E_T \cdot G_{CEM}}{G_{dm\beta} \cdot PR} \quad (2.8)$$

Donde:

P_{Gmin} : potencia del generador (W).

G_{CEM} : irradiancia en condiciones CEM (constante de valor 1000 W/m^2).

E_T : consumo de energía real diaria ($W \cdot h$).

$G_{dm\beta}$: valor medio mensual de radiación global sobre una superficie inclinada un ángulo β y orientada un acimut α ($W \cdot h/m^2$)

PR : rendimiento energético de la instalación (expresado en tanto por uno).

La selección de un módulo fotovoltaico, implica elegir la tensión nominal, así como también la potencia mínima P_{Gmin} , adecuadas. Con el fin de no sobredimensionar el generador se comprobará que con la potencia máxima del módulo elegido no se sobrepasa el 20% del valor de P_{Gmin} , es decir, la potencia nominal del generador, debe cumplir lo siguiente (Castejón & Santamaría, 2016, p. 136):

$$P_{Gmin} \leq P_{G \text{ máx}} \leq 1,2 \cdot P_{Gmin} \quad (2.9)$$

El número de total de paneles fotovoltaicos en el sistema propuesto, se determinaron con la agrupación de los módulos en serie y en paralelo.

El número de módulos que habrá que conectar en serie, se calcula así:

$$N_s = \frac{V_{bat}}{V_{mp}} \quad (2.10)$$

Donde:

N_s : número de módulos en serie por rama (adimensional).

V_{bat} : tensión nominal de la batería (V).

V_{mp} : tensión nominal de los módulos (V) (Aguilera, 2011, p. 12).

Y el número de ramas en paralelo a conectar para suministrar la potencia necesaria, viene dado por:

$$N_p \cdot N_s = \frac{P_{Gmin}}{P_{m\acute{a}x}} \quad (2.11)$$

Donde:

N_p : número de módulos a conectar en ramas paralelo (adimensional).

P_{Gmin} : potencia del generador (W).

$P_{m\acute{a}x}$: potencia pico del módulo (W), (Castejón & Santamaría, 2016, p. 137).

Los valores de N_s y N_p se redondean por exceso, excepto si se aproximan mucho a las cifras por defecto, de manera que se asegure el suministro de potencia que demanda la instalación (Aguilera, 2011, p. 12).

La potencia resultante del generador:

$$P_{G\ m\acute{a}x} = N_p \cdot P_{m\acute{a}x} \quad (2.13)$$

Tensión de circuito abierto del generador:

$$V_{G\ oc} = N_s \cdot V_{oc} \quad (2.14)$$

Intensidad de cortocircuito del generador:

$$I_{G\ sc} = N_p \cdot I_{sc} \quad (2.15)$$

Tensión máxima del generador:

$$V_{G\ mp} = N_s \cdot V_{mp} \quad (2.16)$$

Intensidad máxima del módulo I_{mpp} y la intensidad máxima del generador (Castejón & Santamaría, 2016, p. 137):

$$I_{G\ mp} = N_p \cdot I_{mp} \quad (2.17)$$

2.6.5. Dimensionamiento del sistema de acumulación (Baterías)

La función de la batería de acumuladores en un sistema autónomo, está en proporcionar de energía eléctrica durante la noche y durante aquellos días de nula o muy baja insolación. Por lo tanto, el criterio básico para calcular la capacidad de este sistema de acumulación tiene que garantizar el suministro de las necesidades de energía eléctrica diaria durante un número de días de autonomía fijados de antemano.

- ✓ **Máxima profundidad de descarga:** es el nivel máximo de descarga que se le permite a la batería antes de la desconexión del regulador, con el propósito de proteger la duración de la misma. En baterías estacionarias monoblock de plomo-ácido un valor adecuado de este parámetro es de 0,7.
- ✓ **Días de autonomía:** es el número de días consecutivos que, en ausencia de Sol, el sistema de acumulación puede abastecer el consumo, sin sobrepasar la profundidad máxima de descarga de la batería.

La expresión que se utiliza para determinar la capacidad del sistema de acumulación, en $A \cdot h$ (amperios hora), viene determinada por:

$$C_d = \frac{E_T}{V_{bat}} \quad (2.18)$$

Donde:

C_d : consumo medio diario ($A \cdot h/día$).

V_{bat} : tensión nominal de la batería (V).

La capacidad total del sistema de acumulación se calcula con la expresión:

$$C_n = \frac{C_d \cdot N}{PD_{máx} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{rb}} \quad (2.19)$$

Donde:

C_n : capacidad nominal de la batería; ($A \cdot h$).

C_d : consumo medio diario ($A \cdot h/días$).

N : días de autonomía del sistema ($días$).

$PD_{máx}$: profundidad de descarga máxima de la batería (en tanto por uno).

η_{inv} : rendimiento del inversor (en tanto por uno).

η_{rb} : rendimiento de conjunto batería y regulador de carga (en tanto por uno).

La batería está seleccionada de forma que se aproxime al valor de capacidad nominal C_n calculada. Igualmente, se redondeará el valor C_n de la batería por exceso para obtener mejor margen de seguridad (Castejón & Santamaría, 2016, p. 139).

Si se sobredimensiona en exceso el sistema de acumulación, el generador fotovoltaico nunca podría cargarlo completamente y la batería tendería a sulfatarse. Para evitar que esto suceda, el valor de la capacidad del sistema de acumulación no debe exceder 25 veces la corriente de cortocircuito en CEM del generador fotovoltaico:

$$C_n < 25 \cdot I_{sc} \quad (2.20)$$

Donde:

C_n : capacidad total de la batería; ($A \cdot h$).

I_{sc} : intensidad de cortocircuito del generador fotovoltaico en CEM ($A \cdot h$), (Castejón & Santamaría, 2016, p. 139).

Finalmente, con el dato de capacidad total del sistema de acumulación y la tensión nominal del sistema, se elige el elemento acumulador tal que, con las conexiones serie-paralelo adecuadas, cumplan con los requisitos calculados.

El número de elementos acumuladores a conectar en serie se calcula dividiendo la tensión del sistema entre la tensión del elemento elegido:

$$N_{bs} = \frac{V_n}{V_{bat}} \quad (2.21)$$

Donde:

N_{bs} : número de baterías en serie (adimensional).

V_n : voltaje nominal del sistema (V).

V_{bat} : tensión nominal de la batería (V).

Se deben evitar, dentro de lo posible, los agrupamientos en paralelo, en sistemas con necesidad de mucha capacidad, es inevitable realizar este tipo de conexionado. El número necesario de ramas de acumuladores en paralelo se calcula dividiendo la capacidad total del sistema entre la capacidad del elemento acumulador elegido:

$$N_{bp} = \frac{C_n}{C_b} \quad (2.22)$$

Donde:

N_{bp} : número de baterías en paralelo (adimensional).

C_n : capacidad nominal del sistema de acumulación (Ah).

C_b : capacidad de un elemento acumulador (Ah), (Castejón & Santamaría, 2016, p. 140).

2.6.6. Dimensionamiento del regulador de carga

El regulador es el elemento que controla las cargas y descargas de la batería, permitiendo el proceso de carga de la misma desde el generador fotovoltaico y el proceso de descarga a través de los elementos de consumo eléctrico del sistema global.

A la hora de dimensionar un regulador, el objetivo principal es obtener la corriente máxima que va a circular por la instalación. Por lo tanto, se deben calcular la corriente que produce el generador, la corriente que consume la carga; y la máxima de estas dos corrientes es la que soporta el regulador en funcionamiento.

La corriente de corte a la que debe actuar el regulador está fijada en el propio dispositivo, pero esta ha de soportar la máxima posible que la instalación pueda producir (Aguilera, 2011, p. 13).

- ✓ La tensión nominal del regulador V_R , es igual que la tensión nominal del sistema de acumulación $V_{bat} = 24 V$.
- ✓ La intensidad de corriente que produce el generador es la suma de las intensidades que producen los módulos funcionando a pleno rendimiento:

$$I_G = I_{Gp} \cdot N_p \quad (2.23)$$

Siendo:

$$I_{Gp} = \frac{P_{m\acute{a}x} \cdot \eta_m}{V_m} \quad (2.24)$$

Donde:

I_G : intensidad máxima a soportar en régimen nominal por el regulador (A).

I_{Gp} : corriente producida por cada rama en paralelo del generador (A).

N_p : Número de módulos en paralelo que constituyen el generador fotovoltaico (adimensional).

$P_{m\acute{a}x}$: potencia pico del módulo fotovoltaico (W).

η_m : rendimiento del módulo (decimales).

V_m : tensión nominal de los módulos (V).

La intensidad que consume la carga se determina teniendo en cuenta todos los consumos al mismo tiempo:

$$I_C = \frac{P_{DC}}{V_{bat}} + \frac{P_{AC}}{V_{SE}} \quad (2.25)$$

Donde:

I_C : corriente que consume la carga (A).

P_{DC} : potencia de las cargas en DC (W) y P_{AC} : potencia de las cargas en AC (W).

V_{bat} : tensión nominal de la batería (V).

V_{SE} : voltaje del sistema eléctrico monofásico o bifásico.

La corriente del regulador viene dada por la corriente mayor obtenida anteriormente.

$$I_R = \text{máx} (I_G, I_C) \quad (2.26)$$

La intensidad nominal I_R , se debe multiplicar con un factor de seguridad de 1,25 (Aguilera, 2011, p. 13).

$$I_{RT} = 1,25 \cdot I_R \quad (2.27)$$

2.6.7. Dimensionamiento del inversor DC/AC

En la selección del inversor, hay que determinar su tensión de entrada y su potencia nominal:

- ✓ La tensión nominal de entrada tiene que coincidir con la tensión nominal del sistema de acumulación V_{bat} . Está no siempre es constante, por lo que el inversor debe ser capaz de transformar distintas tensiones continuas dentro de un determinado rango. Ese rango suele ser de un 15 %. Este valor permite tener un dato de referencia dentro del intervalo de actuación que sirve para identificar el tipo de inversor.
- ✓ A la hora de dimensionar el inversor se tiene en cuenta la potencia que demanda la carga AC, de forma que se elige un inversor cuya potencia nominal sea algo superior a la máxima demandada por la carga. Sin embargo, se debe evitar el sobredimensionamiento del inversor.

Las características de salida del inversor en los sistemas fotovoltaicos autónomos corresponden con un suministro regular de C.A. de 120 V y 220 V, a 60 Hz (Castejón & Santamaría, 2016, p. 142).

$$P_{inv} \approx P_{AC} \quad (2.28)$$

2.7. Dimensionado de los conductores eléctricos del sistema fotovoltaico

El dimensionado del cableado constituye una de las tareas en las que se debe prestar especial atención, ya que siempre que existe consumo hay pérdidas debido a las caídas de tensión en los cables.

Estas pérdidas óhmicas deben cumplir la más restrictiva de las dos condiciones siguientes:

1. Verificar las normas electrotécnicas de baja tensión.
2. La pérdida de energía debe ser menor que una cantidad prefijada.

Su valor se calcula con la siguiente expresión:

$$S = \frac{200 \cdot l \cdot I \cdot \cos \varphi}{\Delta U_{\%} \cdot U \cdot \gamma_{\theta}} \quad (2.29)$$

Donde:

S : sección del conductor (mm^2).

γ_{θ} : conductividad del conductor a la temperatura de servicio θ prevista ($s \cdot m/mm^2$).

l : longitud de la línea (m).

$\Delta U_{\%}$: caída de tensión máxima permitida en porcentaje de la tensión de la línea (V).

P : potencia activa transportada por la línea (W).

U : tensión de la línea (V).

I : intensidad prevista en la línea (A).

$\cos \varphi$: factor de potencia de la carga al final de la línea (Castejón & Santamaría, 2016, p. 146).

Capítulo 3: Resultados de la investigación

En este capítulo se establecen los resultados obtenidos luego de la aplicación de la metodología empírica basada en el diagrama de flujo, con el propósito de concatenar cada uno de los términos de manera metódica y su aplicabilidad en el proceso investigativo, estableciendo las condiciones del dimensionamiento fotovoltaico de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría” y en donde se establecen las características puntuales para una acertada autonomía de generación eléctrica.

3.1. Ubicación y descripción de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”

La unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, está ubicada en el barrio San Felipe (avenida Simón Rodríguez, calles: Honduras y 10 de agosto), parroquia Eloy Alfaro, de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi; en la latitud S 0°54'51.41” y longitud W 78°38'2.57”, a 2795 *msnm*, (ver figura 3.1). Pertenece actualmente a la Dirección Distrital 05D01 Latacunga – Educación; y lleva el nombre del distinguido ciudadano y literato Latacungueño (1853-1939) como un reconocimiento a su labor educativa.



Figura 3.1. Ubicación de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.

Fuente: Google Earth; elaborado por: Osmar Mosquera Palacios.

La institución tiene un área de $14768 m^2$ y un perímetro de $490 m$ aproximadamente; que comprenden: 1 área administrativa, 22 aulas (en las que están incluidas 1 taller eléctrico, 1 electrónico, 1 electromecánico y 1 de reparaciones), un laboratorio de computación, un bar con comedor, dos canchas de ecua-vóley, una de fútbol y básquet, juegos infantiles, jardines y espacios verdes (ver anexo 8). Labora en dos horarios; el matutino de 7:00 a. m. a 13:00 p. m. (desde inicial hasta 9^{no} de educación básica); y el vespertino de 13:00 p. m. a 19:00 p. m. (desde 10^{mo} hasta 3^{ro} de bachillerato), con un total de 12 horas trabajadas de lunes a viernes. La parte administrativa está constituida por un rector, un vicerrector, una secretaria y dos inspectores, mientras que el personal docente lo conforman 48 maestros con un total de 1352 estudiantes. El periodo académico régimen sierra, se lo efectúa de septiembre a julio. El clima de esta zona es templado, a veces ventoso y frío, en general la temperatura media anual está en $12 ^\circ C$ y la máxima en $28-30 ^\circ C$.

3.2. Estimación de consumo de energía eléctrica

El sistema de suministro de energía eléctrica de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría” para que cubra su demanda, está proporcionada por la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A.), a través del alimentador proveniente de la Subestación eléctrica “La Cocha” a un nivel de alto voltaje de $13,8 kV$ y que se distribuye a la institución a través de un transformador reductor bifásico de $30 kW$ (propiedad de la institución), de $13800 - 120/220 V$, conexión Δ/Y (delta-estrella).

La unidad educativa tiene contratada la tarifa bifásica por BP (penalización por bajo factor de potencia) y mayor a los $10 kW$ con un factor multiplicador unitario, además no cuenta con discriminación horaria ya que esto afectaría en gran medida el costo de facturación, además se lleva el registro periódico de las PIT (pérdidas internas del transformador).

La medición del consumo eléctrico, se efectúa a través del medidor bifásico trifilar N° 30653 de $120/220 V$ que soporta $15/60 A$, respectivamente (ver figura 3.2), del cliente N° 132503, cuenta N° 154826 y código único eléctrico nacional: 0600154826 (ver anexo 11). Conociendo estos datos prioritarios, se procedió a bajar los valores de consumo eléctrico de las facturas emitidas por la empresa eléctrica, con la finalidad de realizar un análisis del consumo diario, mensual y anual (ver tabla 3.1). Actualmente la institución encargada del pago de este servicio es la Dirección Distrital 05D01 Latacunga-Educación (Razón Social).



Figura 3.2. Medidor de energía eléctrica de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.

Fuente: Propia; fotografía tomada por: Osmar Mosquera Palacios.

Tabla 3.1. Consumo eléctrico facturado del año 2016-2017 y promedio estimado diario.

	Meses	Consumo (kW · h)	Costo (USD)	Días Laborados	Consumo diario (kW · h)
AÑO 2016	Enero	1543	107,07	24	64,29
	Febrero	1037	68,76	21	49,38
	Marzo	1066	71,45	23	46,35
	Abril	1295	89,84	21	61,67
	Mayo	1281	87,42	22	58,23
	Junio	1158	77,69	22	52,64
	Julio	1001	66,09	21	47,67
	Agosto	547	34,81	15	36,47
	Septiembre	760	53,49	22	34,55
	Octubre	895	58,77	21	42,62
	Noviembre	963	63,29	22	43,77
	Diciembre	1016	68,33	22	46,18
	TOTAL	12562	847,01	256	Promedio: 48,65
AÑO 2017	Enero	1092	72,82	22	49,64
	Febrero	896	58,34	14	64,00
	Marzo	987	65,06	23	42,91
	Abril	784	50,07	19	41,26
	Mayo	784	50,07	21	37,33
		TOTAL	4543	296,36	99

Fuente: ELEPCO S.A., ministerio de educación y propia; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

El valor mostrado referente al costo total pagado por mes de consumo eléctrico corresponde al valor pagado, sin contar con el subsidio del gobierno.

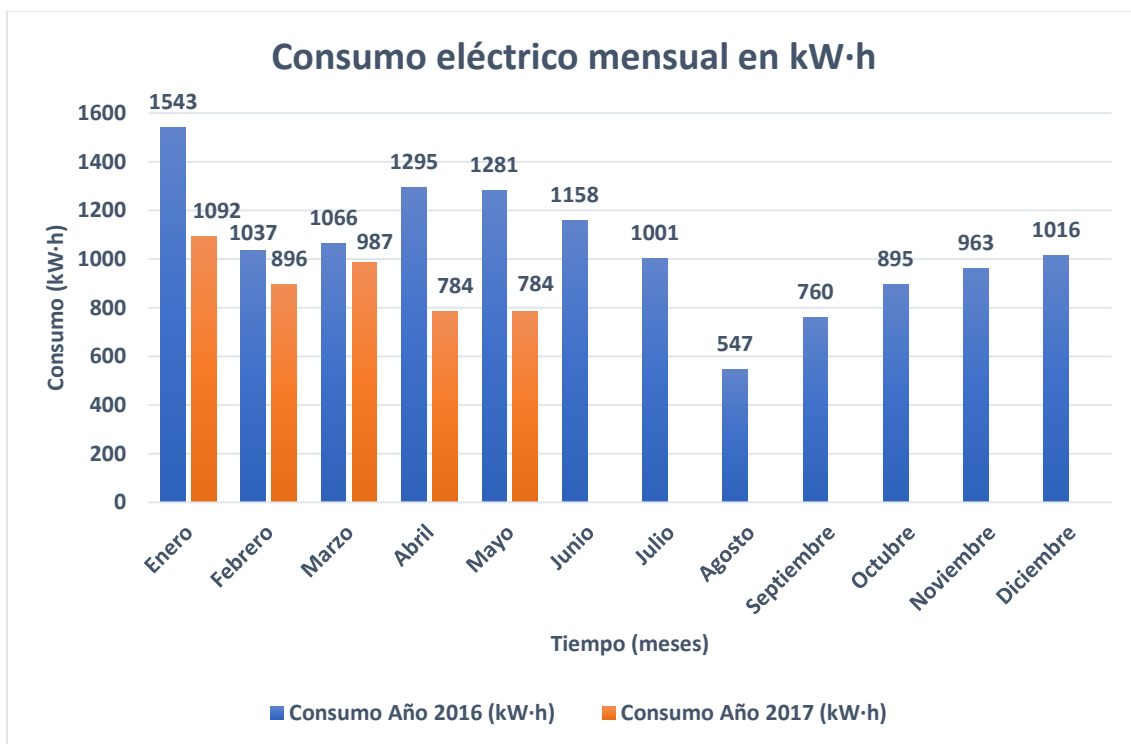


Figura 3.3. Histórico del consumo mensual de energía eléctrica de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, año 2016-2017.

Fuente: ELEPCO S.A.; elaborado por: Osmar Mosquera Palacios.

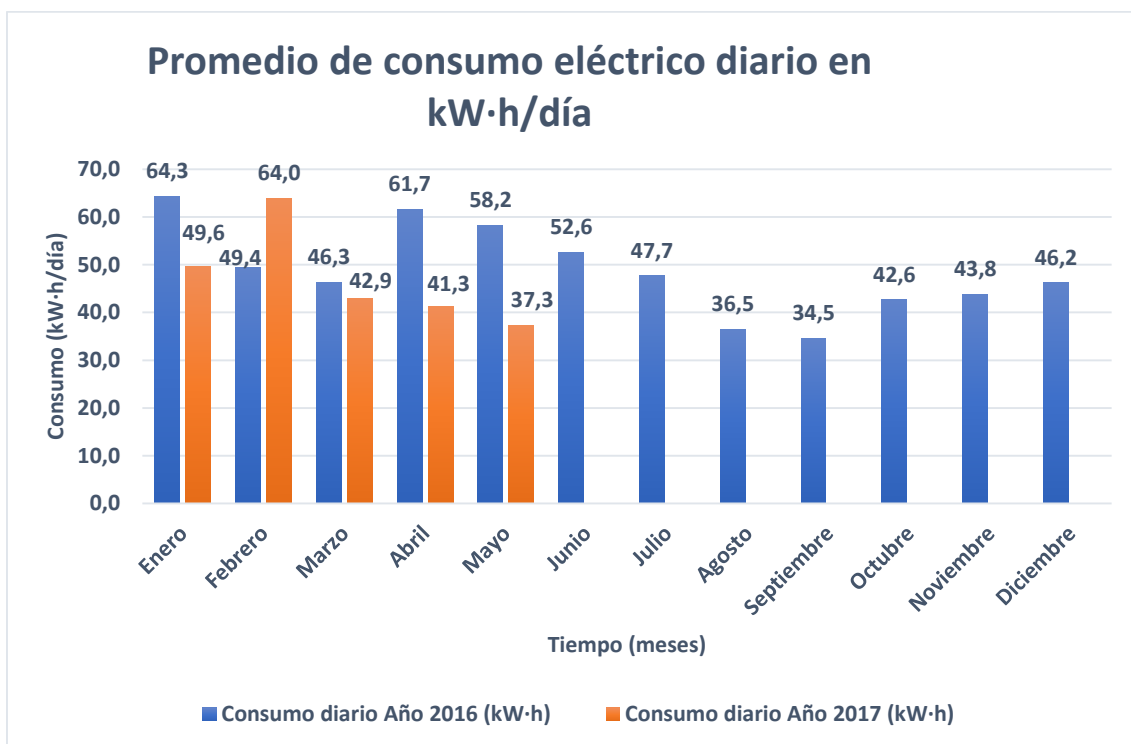


Figura 3.4. Promedio diario del consumo de energía eléctrica de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, año 2016-2017.

Fuente: Ministerio de educación y propia; elaborado por: Osmar Mosquera Palacios.

En la tabla 3.1 y figura 3.3, se aprecian el histórico del consumo eléctrico promedio mensual del año 2016 (de enero a diciembre) y 2017 (de enero a mayo); en donde se comparan los comportamientos obtenidos en los dos periodos, dándonos que el mayor periodo de consumo corresponde al mes de enero, con un promedio mensual de $1543 \text{ kW} \cdot \text{h}$, que da una demanda estimada promedio diaria de $64,29 \text{ kW} \cdot \text{h/día}$ según los días trabajados y haciendo que el consumo día sea constante; mientras que el más bajo se registra en el mes de agosto con $547 \text{ kW} \cdot \text{h}$ que es el periodo de vacaciones, que da una demanda estimada promedio diaria de $36,47 \text{ kW} \cdot \text{h/día}$, aunque el mes de menor demanda estimada promedio diaria según los días laborables según el periodo académico que rige la sierra ecuatoriana es septiembre con $34,55 \text{ kW} \cdot \text{h/día}$ (ver figura 3.4). En los periodos regulares de clases el consumo eléctrico es directamente proporcional al tiempo de las actividades académicas de la institución y mantienen un margen decreciente.

Prosiguiendo con el análisis energético, se llevó a cabo el diagnóstico energético de segundo grado para verificar la forma física en la que están operando los equipos del plantel. La información fue registrada en un inventario (desde luminarias, computadoras, audiovisuales, equipos de prácticas eléctricas y electrónicas utilizados en los laboratorios, tomacorrientes, aire acondicionado y de uso doméstico, entre otros) de cada uno de los aparatos que consumen energía eléctrica por áreas (edificios, ver anexo 12); tomándose en cuenta la potencia (W), voltaje (V), corriente (A), factor de potencia ($\cos \varphi$) y el tiempo de funcionamiento (h) que operan bajo condiciones normales, así como su obsolescencia. En algunos casos se utilizó la medición directa del equipo como por ejemplo en los equipos de cómputo que constan de CPU, monitor y regulador de voltaje. Estos datos nos dieron la capacidad de trabajo que se tiene en un día y estos son los que se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. *Estimación del consumo diario de energía eléctrica.*

Items	Descripción equipo	Unidades	Potencia (W)	Voltaje (VAC)	Corriente (A)	Horas de uso (h)	Consumo diario (W-h/día)
1	Aire acondicionado tipo ventana	1	1220	120	11,00	1	1220,00
2	Amplificador	1	150	120	1,25	4	600,00
3	CPU	3	50	120	0,42	0,25	37,50
4	CPU	1	50	120	0,42	8	400,00
5	CPU	1	50	120	0,42	14	700,00
6	Congelador	1	210	120	1,75	6	1260,00
7	Equipos de prácticas eléctrica y electrónica	1	120	120	1,00	2	240,00
8	Equipos de prácticas eléctrica y electrónica	3	100	120	0,83	2	600,00

9	Equipos de prácticas eléctrica (motor)	1	100	120	0,83	2	200,00
10	Focos ahorradores MINI-LYNX 3U	4	20	120	0,27	0,5	40,00
11	Focos ahorradores MINI-LYNX 3U	80	20	120	0,27	2	3200,00
12	Focos ahorradores MINI-LYNX 3U	6	20	120	0,27	3	360,00
13	Focos ahorradores MINI-LYNX SPIRAL T2	6	25	120	0,27	0,25	37,50
14	Focos ahorradores MINI-LYNX SPIRAL T2	13	25	120	0,27	1	325,00
15	Focos ahorradores MINI-LYNX SPIRAL T2	31	25	120	0,27	2	1550,00
16	Impresora multifunción WorkForce WF-2630WF	5	11	120	0,09	1	55,00
17	Lámparas fluorescentes T12	28	40	120	0,33	1,5	1680,00
18	Lámparas fluorescentes T12	16	40	120	0,33	2	1280,00
19	Lámparas fluorescentes T12	16	40	120	0,33	3	1920,00
20	Lámparas fluorescentes T8	10	32	120	0,27	0,5	256,00
21	Lámparas fluorescentes T8	58	32	120	0,27	1,5	3072,00
22	Lámparas fluorescentes T8	150	32	120	0,27	2	9600,00
23	Lámparas halógenas exterior	5	250	220	1,14	2	2500,00
24	Lámparas leds (chip)	10	30	120	0,25	2	600,00
25	Licuadaora	1	600	120	5,00	0,25	150,00
26	Luces leds para jardines	6	8	120	0,07	2	96,00
27	Monitor	1	20	120	1,30	1	20,00
28	Monitor	1	18	120	1,70	0,25	4,50
29	Monitor	1	18	120	1,70	12	216,00
30	Monitores (estudiantes)	20	18	120	1,70	0,5	180,00
31	Parlantes de audio	2	1250	120	10,42	3	7500,00
32	Parlantes de audio	1	180	120	1,50	1,5	270,00
33	Proyector o Infocus	1	290	120	2,42	1,5	435,00
34	Radio	1	40	120	0,33	0,5	20,00
35	Refrigeradora	1	230	120	1,92	6	1380,00
36	Regulador de voltaje	20	600	120	10,00	0,5	6000,00
37	Regulador de voltaje	11	600	120	10,00	0,25	1650,00
38	Reproductor de DVD	2	50	120	0,42	0,25	25,00
39	Reproductor de DVD	1	8	120	0,07	0,25	2,00
40	Servidor ProLiant	1	460	120	3,83	1	460,00
41	Sistema de Home Theater 5.1: un Subwoofer y dos altavoces con forma de cubo	63	50	120	0,42	0,25	787,50
42	Televisión	1	40	120	0,33	0,25	10,00
43	Televisión Auto Volt Tri System Cinemaster	1	75	120	0,63	0,25	18,75
44	Televisión plasma plana	2	45	120	0,38	0,25	22,50
45	Tomacorrientes dobles	59	250	120	2,08	0,25	3687,50
46	Tomacorrientes dobles	16	150	120	1,25	1,5	3600,00
47	Tomacorrientes dobles	12	350	120	2,92	1,5	6300,00
48	UPS (Sistema de alimentación ininterrumpida)	1	840	120	19,00	0,25	210,00
TOTAL							64393,75

Fuente: Propia; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

1. Se obtiene de la información técnica del fabricante que proporciona la potencia nominal, en watts, aunque en los receptores con factor de potencia distinto de la unidad, el dato

corresponde a la potencia aparente (se obtiene dividiendo la potencia activa por el factor de potencia que indica la placa característica).

2. Los valores de carga de algunos equipos, se obtuvieron de las mediciones en sitio.
3. Los tiempos inferiores a una hora se indican en fracciones decimales de hora, 15 minutos es 0,25 horas, 30 minutos es 0,5 horas.

Nota: El factor de potencia está implícito en los cálculos de la intensidad de corriente (A). Para las cargas en (AC) se requiere de un inversor, el cual añade complejidad al sistema y causa de 10 a 15 por ciento de pérdida debido a la eficiencia al convertir corriente continua DC en AC . El funcionamiento de todos los procesos de la unidad educativa, se dan a través del empleo de corriente alterna (AC), y realizando un comparativo entre la tabla 3.1 con relación a la tabla 3.2, nos da que la energía de consumo en un día promedio es casi igual a la relación más alta de consumo del mes de enero. La energía de consumo en corriente continua en este caso es despreciable.

El diagrama de Pareto, nos indica que los mayores consumidores energéticos de la unidad educativa son: los tomacorrientes dobles, parlantes de audio, las lámparas fluorescentes T8, reguladores de voltaje, lámparas fluorescentes T12 y los focos ahorradores MINI-LYNX 3U; a los cuales debemos dar prioridad en la toma de decisiones que nos resuelven el 80% de la ineficiencia energética.

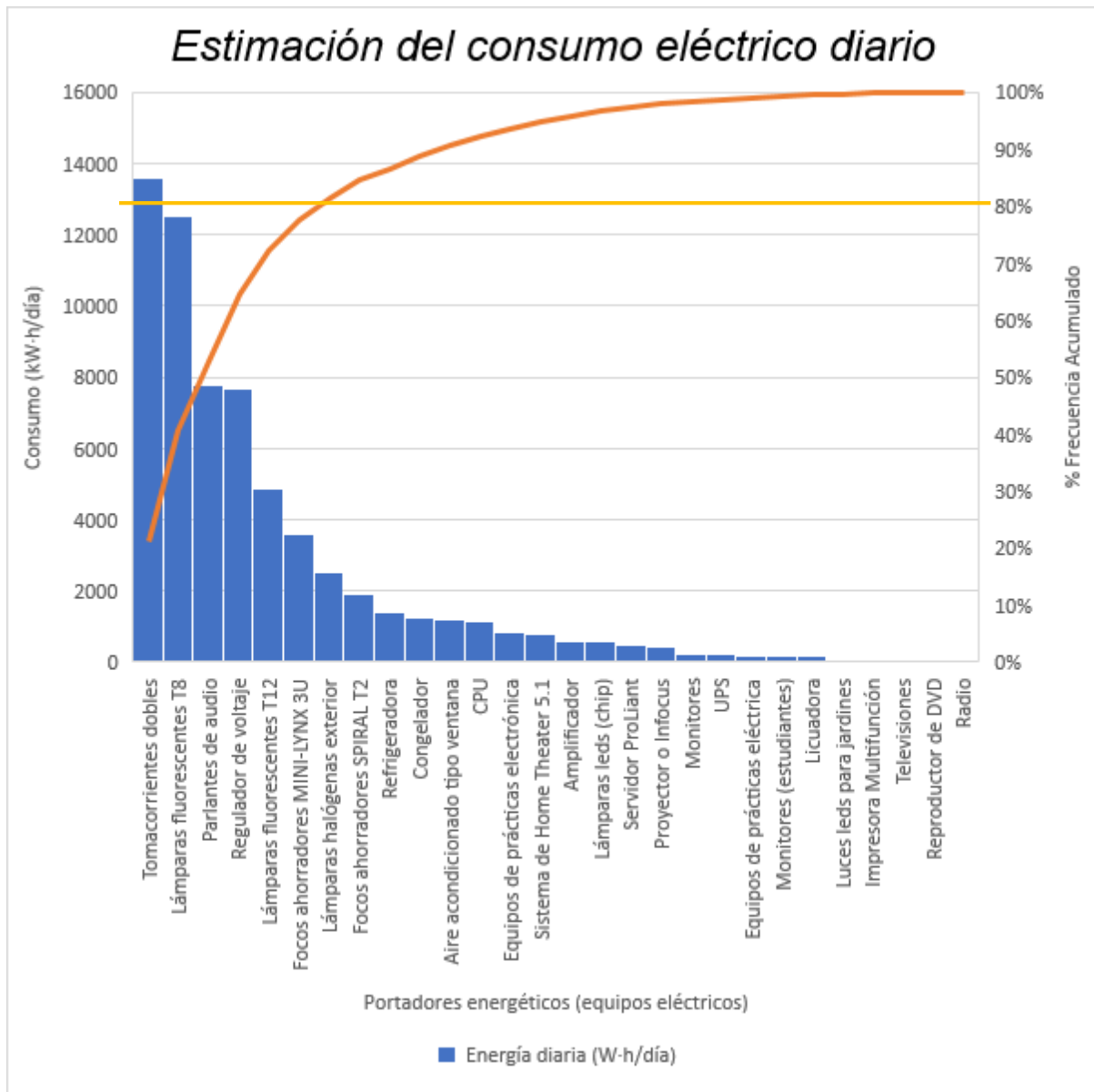


Figura 3.5. Diagrama de Pareto de los consumidores diarios de energía eléctrica de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.

Fuente: Propia; elaborado por: Osmar Mosquera Palacios.

3.3. Parámetros del dimensionado del sistema fotovoltaico autónomo de la unidad educativa

Los parámetros del dimensionado del sistema fotovoltaico, presentan los resultados de acuerdo a la aplicación metodológica.

3.3.1. Consumo diario total de energía eléctrica

Parte de la energía producida por el generador fotovoltaico llega a las cargas después de haber sido transformada en la batería. La eficiencia de transformación de la batería depende del estado de carga, alcanzando valores bajos al acercarse al fin de carga. Dicho de otra forma, parte de la energía que produce el generador fotovoltaico no llegará a las cargas, pero debe ser tomada en cuenta en el cálculo, como una pérdida más. Utilizaremos un rendimiento promedio, $\eta_{bat} = 0,95$, que tendrá en cuenta la eficiencia de la batería en los diferentes estados de carga y el porcentaje de energía que transita directamente entre el generador y las cargas sin atravesar la batería. Otras pérdidas que deben ser tomadas en cuenta son las del inversor $\eta_{inv} = 0,94$, y las debidas al efecto Joule en los cables η_c . Por tanto, el valor final de consumo de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, E_T resultante es:

$$E_T = \frac{E_{ac}}{\eta_{bat} \cdot \eta_{inv}} = \frac{64393,75 \text{ W} \cdot \text{h/día}}{0,95 \cdot 0,94} = 72109,46 \text{ W} \cdot \text{h/día}$$

3.3.2. Recurso solar de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”

El recurso solar de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, sector San Felipe, de la ciudad de Latacunga, fue establecido luego de las mediciones que se efectuaron con el prototipo fotovoltaico a escala, tomando los datos de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), de voltaje de circuito abierto (V_{oc}) y corriente de cortocircuito (I_{sc}), a diferentes ángulos de inclinación y tiempo de incidencia de la irradiación solar; estos datos fueron registrados en una base de datos con el fin de realizar los cálculos correspondientes (ver detalle en el anexo 13). El voltaje de circuito abierto disminuye con la temperatura, mientras que la intensidad de corriente es prácticamente independiente de la temperatura o aumenta ligeramente.

La tabla 3.3 muestra los valores obtenidos en un día ordinario, correspondiente al martes 16 de mayo del 2017, que nos brinda un mayor rango de captación solar con un ángulo de inclinación de 10° y estos valores resultantes obtenidos son los siguientes:

Tabla 3.3. Radiación solar directa tomada con el prototipo fotovoltaico.

Día	Hora de medición	Grados Inclinación (°)	Voltaje	Corriente	Temperatura	Potencia	Radiación
			(V)	(I)	°C	(W)	(kW.h/m ²)
Martes 16/05/2017	6:00 a. m. a 7:00 a. m.	10°	19,7	0,04	15°	0,79	0,07
	7:00 a. m. a 8:00 a. m.	10°	20,5	0,1	11°	2,05	0,17
	8:00 a. m. a 9:00 a. m.	10°	20,9	0,21	15°	4,39	0,36
	9:00 a. m. a 10:00 a. m.	10°	21,8	1,31	25°	28,56	2,36
	10:00 a. m. a 11:00 a. m.	10°	21,7	1,17	25°	25,39	2,10
	11:00 a. m. a 12:00 p. m.	10°	21,9	1,39	28°	30,44	2,52
	12:00 p. m. a 13:00 p. m.	10°	21,9	1,82	35°	39,86	3,30
	13:00 p. m. a 14:00 p. m.	10°	21,4	1,3	33°	27,82	2,30
	14:00 p. m. a 15:00 p. m.	10°	21,9	1,41	27°	30,88	2,55
	15:00 p. m. a 16:00 p. m.	10°	21,2	0,79	31°	16,75	1,39
	16:00 p. m. a 17:00 p. m.	10°	21,2	0,67	25°	14,20	1,18
	17:00 p. m. a 18:00 p. m.	10°	20,9	0,25	17°	5,23	0,43
Promedio:						226,35	1,56

Fuente: Propia; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

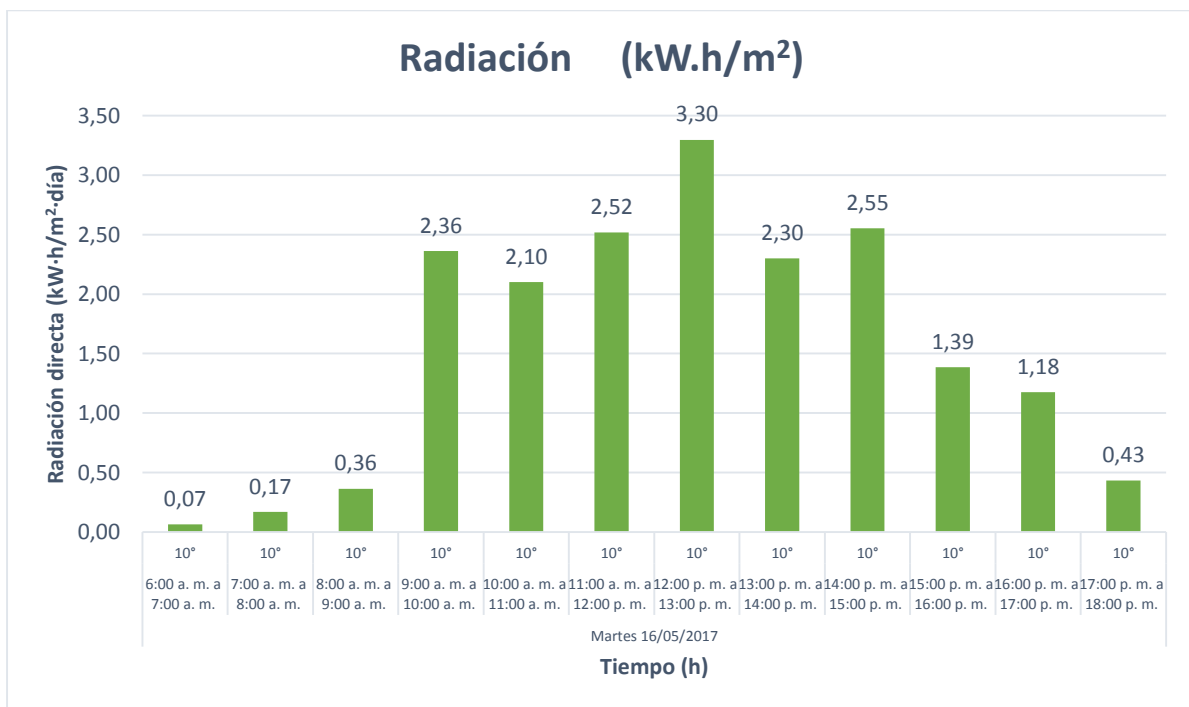


Figura 3.6. Diagrama de Pareto de los consumidores diarios de energía eléctrica de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”

Fuente: Propia; elaborado por: Osmar Mosquera Palacios

En la figura 3.6, se observa el comportamiento de un día del mes de mayo tomado como referencia al azar, desde las 6:00 a.m. hasta las 18:00 p.m.; como un ejemplo de las pruebas de

campo que se efectuaron periódicamente. El promedio de HPS (hora pico solar) oscila entre 5 a 6 HPS (en la figura 3.7, se visualiza la trayectoria solar).

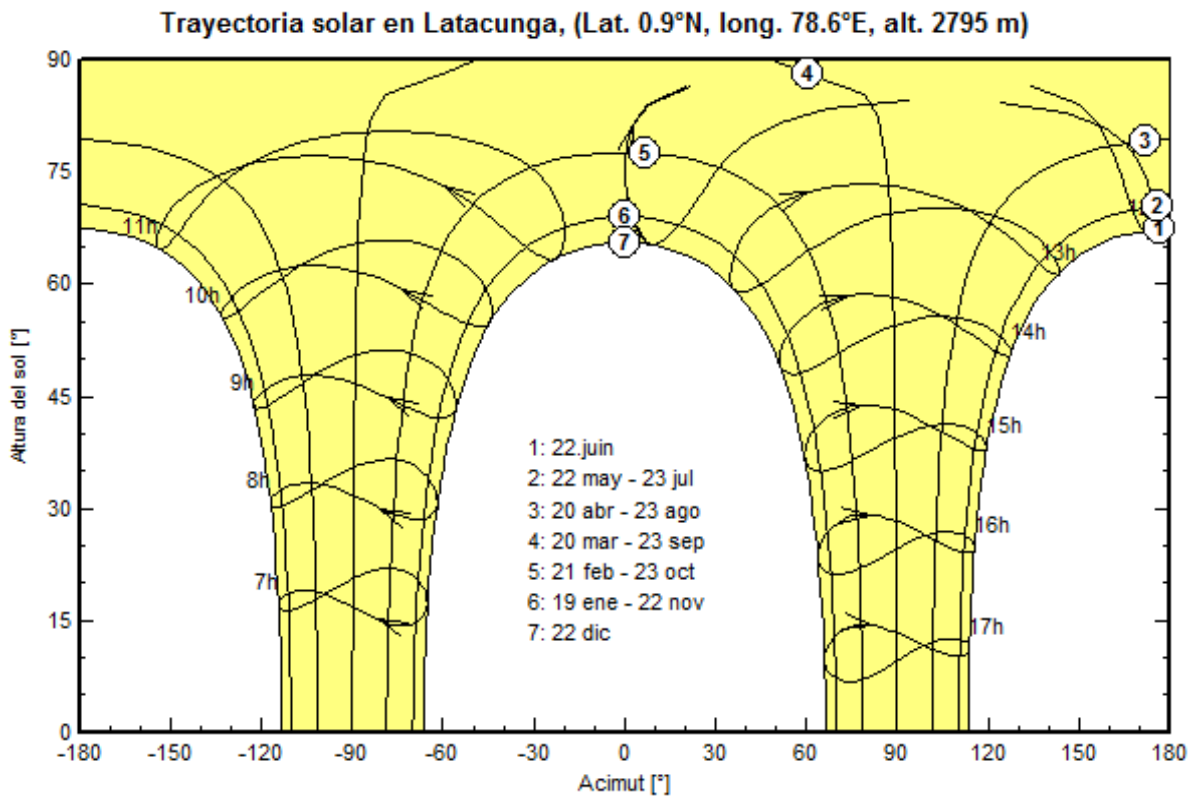


Figura 3.7. Trayectoria solar de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.

Fuente: PVsyst V5.0.

Los estimados del promedio mensual de la radiación directa a diferentes ángulos de inclinación y acimut 0° de las mediciones experimentales de campo resultantes, son los que se indican en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Promedio de radiación directa de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.

MESES	Radiación directa ($kW \cdot h/m^2 \cdot día$) año 2016									
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
Enero	2,71	2,85	3,32	2,96	2,94	2,87	3,03	2,95	2,74	2,61
Febrero	2,40	2,54	2,88	2,51	2,50	2,42	2,58	2,50	2,30	2,17
Marzo	2,45	2,59	2,93	2,56	2,55	2,47	2,63	2,55	2,34	2,22
Abril	2,30	2,44	2,78	2,41	2,40	2,32	2,48	2,40	2,19	2,07
Mayo	2,53	2,67	3,14	2,78	2,78	2,70	2,86	2,78	2,70	2,58
Junio	2,63	2,77	3,11	2,74	2,73	2,65	2,81	2,73	2,52	2,40
Julio	2,98	3,12	3,46	3,09	3,08	3,00	3,16	3,08	2,87	2,75
Agosto	2,70	2,84	3,18	2,81	2,80	2,72	2,88	2,80	2,59	2,47

Septiembre	2,52	2,66	3,00	2,63	2,62	2,54	2,70	2,62	2,41	2,29
Octubre	2,35	2,48	2,82	2,46	2,44	2,37	2,53	2,45	2,24	2,12
Noviembre	2,49	2,63	2,97	2,60	2,59	2,51	2,67	2,59	2,38	2,26
Diciembre	2,58	2,72	3,06	2,69	2,68	2,60	2,76	2,68	2,47	2,35
Promedio Anual	2,55	2,69	3,05	2,69	2,67	2,60	2,76	2,68	2,48	2,36
MESES	Radiación directa ($kW \cdot h/m^2 \cdot día$) año 2017									
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
Enero	2,39	2,53	3,00	2,64	2,62	2,55	2,71	2,63	2,42	2,29
Febrero	2,36	2,50	2,98	2,61	2,60	2,52	2,68	2,60	2,39	2,27
Marzo	2,30	2,44	2,91	2,55	2,53	2,46	2,62	2,54	2,33	2,20
Abril	2,42	2,56	3,03	2,67	2,65	2,58	2,74	2,66	2,45	2,32
Mayo	2,68	2,82	3,30	2,93	2,93	2,85	3,02	2,93	2,85	2,73
Promedio Anual	2,43	2,57	3,05	2,68	2,67	2,59	2,75	2,67	2,49	2,36

Fuente: Propia; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

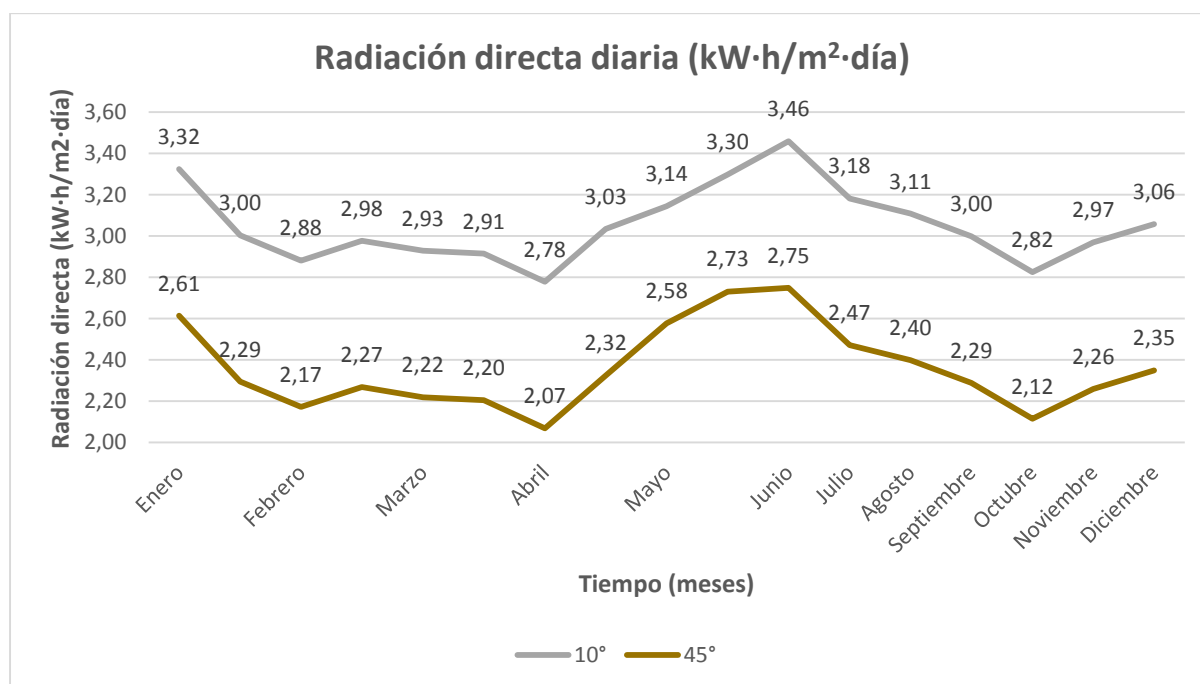


Figura 3.8. Radiación directa mensual diaria del año 2016-2017, tomada con el prototipo fotovoltaico a escala de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.

Fuente: Propia; elaborado por: Osmar Mosquera Palacios.

Los valores tomados, nos dieron como resultado un comportamiento casi homogéneo entre el año 2016 y 2017; en la figura 3.8, se muestran estas variaciones que dependen directamente del ángulo de inclinación y de los factores climatológicos. En donde, el mes de mayor radiación solar es julio con $3,46 kW \cdot h/m^2 \cdot día$, a un ángulo de inclinación de 10° , y el menor mes es abril con $2,07 kW \cdot h/m^2 \cdot día$, a un ángulo de inclinación de 45° .

El histórico de enero a diciembre, de los datos obtenidos experimentalmente de radiación solar del año 2016 (ver tabla 3.4), se efectuó un comparativo con los datos tomados de la NASA (Surface meteorology and Solar Energy - Available Tables), que nos dan de un promedio de 22 años (julio 1983-junio 2005) para la zona de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, referentes a los valores de irradiación total diaria en el plano horizontal (en $kW \cdot h/m^2 \cdot día$, promedio anual; ver tabla 3.5).

Tabla 3.5. Promedio mensual de la radiación que incide sobre una superficie inclinada apuntada hacia el ecuador $kW \cdot h/m^2 \cdot día$.

Latitud -0,914	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
Lon -78,617													
SSE HRZ	4,13	4,34	4,55	4,33	4,12	4,01	4,26	4,46	4,26	4,24	4,3	3,98	4,25
K	0,4	0,41	0,43	0,42	0,42	0,43	0,45	0,45	0,41	0,4	0,42	0,39	0,42
Difuso	2,16	2,28	2,35	2,22	2,05	1,96	1,98	2,12	2,28	2,28	2,19	2,12	2,17
Directo	2,96	2,99	3,1	3,02	3,09	3,18	3,48	3,4	2,81	2,79	3,13	2,83	3,07
inclinación 0°	4,08	4,29	4,49	4,27	4,07	3,97	4,22	4,4	4,21	4,18	4,24	3,92	4,20
inclinación 15°	4,18	4,31	4,41	4,31	4,22	4,19	4,43	4,5	4,16	4,17	4,33	4,03	4,27
inclinación 90°	2,2	2	1,68	2,02	2,38	2,55	2,61	2,26	1,68	1,85	2,2	2,19	2,14
OPTAR	4,18	4,33	4,49	4,32	4,23	4,23	4,46	4,5	4,22	4,2	4,33	4,04	4,29
OPT ANG	15	9	1	10	20	25	23	15	3	7	14	17	13,25
NOTA:	La radiación difusa, la radiación directa normal y radiación en la superficie inclinada no se calculan cuando el índice de claridad (K) está por debajo de 0,3 o por encima de 0,8.												

Fuente: NASA; elaborado por: Osmar Mosquera Palacios.

En la figura 3.9, se puede apreciar que el error determinado entre las variables es pequeño, las tendencias van desde 0,25 a 0,78 $kW \cdot h/m^2 \cdot día$. Un parámetro fundamental que se pudo comprobar experimentalmente con la toma de datos, está relacionado con la temperatura ambiente que se mantiene en el panel fotovoltaico de acuerdo al viento generado en el sector que se encuentra la unidad educativa; y el voltaje de circuito abierto disminuye con la temperatura, mientras que la intensidad de cortocircuito es prácticamente independiente de la temperatura o está puede aumentar ligeramente. Otro dato a considerar es el error característico del multímetro que va en el rango de voltaje DC $\pm 0,5\%$ y de corriente DC $\pm 2\%$.

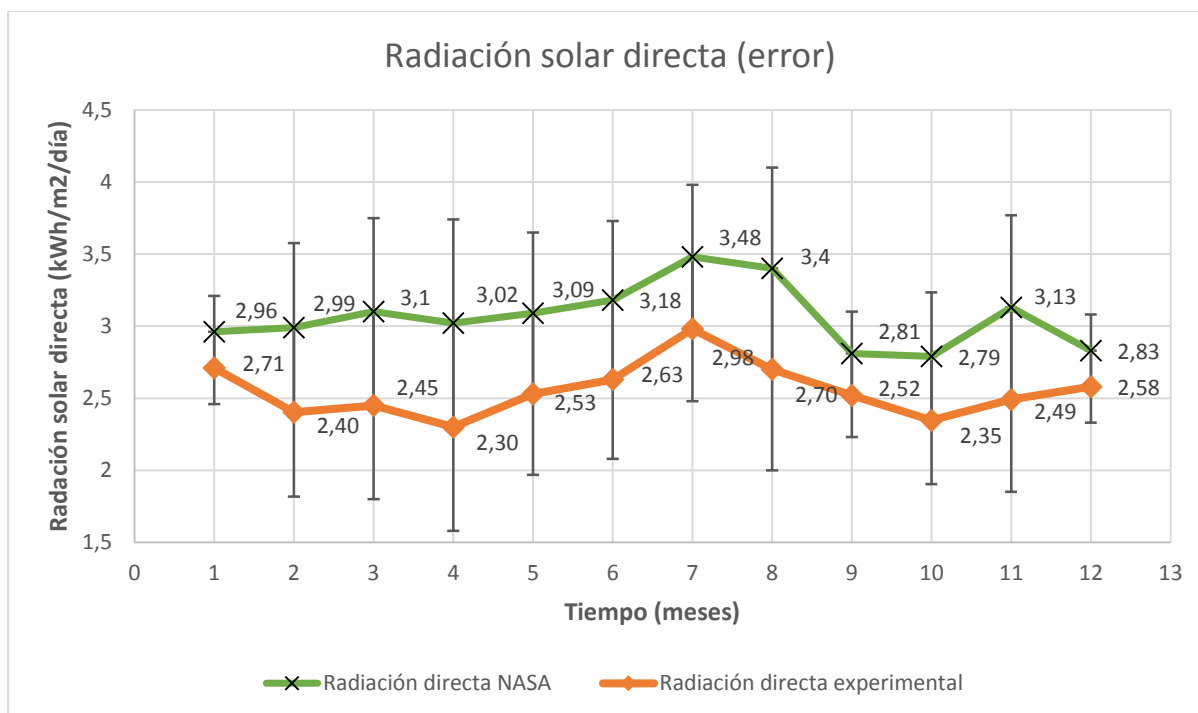


Figura 3.9. Error de la radiación solar directa experimental vs datos de la NASA.

Fuente: Propia; elaborado por: Osmar Mosquera Palacios.

Luego de haber realizado el análisis de error entre las dos bases de datos, se obtuvo una interpolación de la radiación directa experimental con la radiación global de la NASA; estos valores se los puede ver en la tabla 3.6:

Tabla 3.6. Promedio de radiación global de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.

MESES	G_d Radiación Global ($kW \cdot h/m^2 \cdot día$) año 2016									
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
Enero	3,83	3,97	4,44	4,08	4,06	3,99	4,15	4,07	3,86	3,73
Febrero	3,52	3,66	4,00	3,63	3,62	3,54	3,70	3,62	3,42	3,29
Marzo	3,57	3,71	4,05	3,68	3,67	3,59	3,75	3,67	3,46	3,34
Abril	3,42	3,56	3,90	3,53	3,52	3,44	3,60	3,52	3,31	3,19
Mayo	3,65	3,79	4,26	3,90	3,90	3,82	3,98	3,90	3,82	3,70
Junio	3,75	3,89	4,23	3,86	3,85	3,77	3,93	3,85	3,64	3,52
Julio	4,10	4,24	4,58	4,21	4,20	4,12	4,28	4,20	3,99	3,87
Agosto	3,82	3,96	4,30	3,93	3,92	3,84	4,00	3,92	3,71	3,59
Septiembre	3,64	3,78	4,12	3,75	3,74	3,66	3,82	3,74	3,53	3,41
Octubre	3,47	3,60	3,94	3,58	3,56	3,49	3,65	3,57	3,36	3,24
Noviembre	3,61	3,75	4,09	3,72	3,71	3,63	3,79	3,71	3,50	3,38
Diciembre	3,70	3,84	4,18	3,81	3,80	3,72	3,88	3,80	3,59	3,47
Promedio Anual	3,67	3,81	4,17	3,81	3,79	3,72	3,88	3,80	3,60	3,48

MESES	G_d Radiación Global ($kW \cdot h/m^2 \cdot día$) año 2017									
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
Enero	3,51	3,65	4,12	3,76	3,74	3,67	3,83	3,75	3,54	3,41
Febrero	3,48	3,62	4,10	3,73	3,72	3,64	3,80	3,72	3,51	3,39
Marzo	3,35	3,49	3,97	3,60	3,58	3,51	3,67	3,59	3,38	3,26
Abril	3,60	3,73	4,21	3,85	3,83	3,75	3,92	3,84	3,63	3,50
Mayo	3,87	4,01	4,49	4,12	4,12	4,04	4,20	4,12	4,04	3,92
Promedio Anual	3,56	3,70	4,18	3,81	3,80	3,72	3,88	3,80	3,62	3,50

Fuente: Propia; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

3.3.3. Elección del tipo de sistema

La tensión nominal del circuito de utilización será de **24 VDC** según las características de los acumuladores de energía (baterías) y las cargas de consumo de la institución educativa.

3.3.4. Ángulo óptimo de inclinación de los paneles

La inclinación óptima anual viene dada por la latitud y corresponde a:

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 \cdot |\phi| = 3,7 + (0,69 \cdot 0,194^\circ) = \mathbf{4,33^\circ}$$

Sin embargo, existen algunos aspectos que inciden en la utilidad o el empleo de este criterio, por lo que, conociendo experimentalmente la radiación incidente media mensual para los diferentes ángulos de inclinación, lo que sigue a continuación viene dado por el procedimiento de dimensionado del mes crítico o mes desfavorable (ver tabla 3.7, color azul).

Tabla 3.7. *Relaciones del consumo sobre la radiación global E_T/G_d de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.*

Relaciones Consumo / Radiación año 2016										
Mes	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
Enero	18,52	17,88	15,96	17,39	17,46	17,79	17,10	17,44	18,38	18,99
Febrero	20,12	19,38	17,72	19,51	19,59	20,01	19,14	19,57	20,76	21,54
Marzo	19,86	19,13	17,52	19,26	19,34	19,75	18,90	19,32	20,48	21,24
Abril	20,73	19,94	18,19	20,08	20,16	20,61	19,69	20,14	21,41	22,23
Mayo	19,43	18,73	16,63	18,20	18,20	18,56	17,81	18,17	18,56	19,18
Junio	18,91	18,25	16,77	18,36	18,43	18,81	18,03	18,41	19,47	20,15
Julio	17,29	16,74	15,49	16,84	16,90	17,21	16,56	16,88	17,76	18,33
Agosto	18,56	17,92	16,50	18,04	18,11	18,46	17,72	18,08	19,10	19,76
Septiembre	19,48	18,78	17,22	18,90	18,98	19,37	18,55	18,95	20,07	20,80

Octubre	20,45	19,68	17,97	19,82	19,90	20,33	19,43	19,88	21,11	21,91
Noviembre	19,64	18,93	17,34	19,05	19,13	19,53	18,70	19,11	20,24	20,98
Diciembre	19,16	18,48	16,97	18,60	18,68	19,06	18,27	18,66	19,74	20,44
Promedio Anual	19,35	18,65	17,02	18,67	18,74	19,12	18,32	18,72	19,76	20,46
Relaciones Consumo / Radiación año 2017										
Mes	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
Enero	20,20	19,45	17,20	18,87	18,95	19,34	18,53	18,93	20,04	20,77
Febrero	20,36	19,59	17,31	19,01	19,08	19,48	18,65	19,06	20,19	20,93
Marzo	21,16	20,33	17,88	19,70	19,79	20,21	19,32	19,76	20,98	21,77
Abril	19,70	18,99	16,83	18,44	18,51	18,88	18,11	18,49	19,55	20,24
Mayo	18,32	17,69	15,81	17,22	17,22	17,54	16,87	17,20	17,54	18,09
Promedio Anual	19,95	19,21	17,00	18,65	18,71	19,09	18,30	18,69	19,66	20,36

Fuente: Propia; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

La energía total requerida $E_T = 72,109 \text{ kW} \cdot \text{h/día}$, fue utilizada como una constante por ser el valor promedio diario de energía eléctrica que se requiere en la unidad educativa para su normal funcionamiento y los valores resultantes fueron los que se indican en la tabla 3.4 E_T/G_d ; y siguiendo los pasos de estas relaciones, los cocientes mayores de cada columna corresponde al mes de abril del 2016, de los cuales el menor cociente corresponde al ángulo de inclinación de 10° que nos dará una radiación global diaria de $3,90 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^2 \cdot \text{día}$, siendo este valor el menor de todas las incidencias solares (ver tabla 3.6, color azul).

Este criterio de dimensionado asegura un correcto funcionamiento de la instalación en el mes en que la relación Consumo/Radiación es máxima. Esto es especialmente importante en la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, pues su consumo es variable y se requiere garantizar que el suministro eléctrico sea más importante, que el maximizar la captación energética a lo largo del año.

3.3.5. Dimensionamiento del generador fotovoltaico

Una vez determinada la radiación solar incidente de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, se dimensionaron los parámetros del generador fotovoltaico, teniendo en cuenta que una parte de la energía eléctrica que se va a generar se queda por el camino antes de llegar a los receptores y este coeficiente Performance Ratio será de:

$$PR = \eta_{MPP} \cdot \eta_T \cdot \eta_{DP} \cdot \eta_{pol} \cdot \eta_{refle} \cdot \eta_{som} \cdot \eta_{HPS} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_c$$

$$PR = 0,97 \cdot 0,98 \cdot 0,96 \cdot 0,97 \cdot 0,97 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 0,96 \cdot 0,98 = 0,74$$

El valor de la potencia mínima P_{Gmin} , resultante es:

$$P_{Gmin} = \frac{E_T \cdot G_{CEM}}{G_{dmB} \cdot PR} = \frac{72109,46 \text{ W} \cdot \text{h/día} \cdot 1 \text{ kW/m}^2}{3,9 \text{ kW} \cdot \text{h/m}^2 \cdot \text{día} \cdot 0,74} = \mathbf{24986 \text{ W}}$$

La potencia máxima del generador no sobrepasará el 20% del valor de P_{Gmin} calculado. En este caso:

$$P_{Gmin} \leq P_{G \text{ máx}} \leq 1,2 \cdot P_{Gmin}$$

$$\mathbf{24986 \text{ W} \leq P_{G \text{ máx}} \leq 1,2 \cdot 24986 \text{ W} = 29983 \text{ W}}$$

El número de módulos a conectarse para conseguir la potencia mínima prevista, serán:

Número de módulos en serie por rama:

$$N_S = \frac{V_{bat}}{V_{mp}} = \frac{12 \text{ V}}{37,2 \text{ V}} = 0,65 \approx \mathbf{1}$$

Número de módulos a conectar en ramas paralelo:

$$N_P \cdot N_S = \frac{P_{Gmin}}{P_{máx}} = \frac{24986 \text{ W}}{330 \text{ W}} = 75,72 \approx \mathbf{76}$$

El generador setenta y seis ramas conectadas en paralelo ($N_P = 76$) con un único módulo por rama ($N_S = 1$) puesto que la tensión es proporcional a la del sistema. Con estos datos, los parámetros del generador son:

$$P_{G \text{ máx}} = N_P \cdot P_{máx} = 76 \cdot 330 \text{ W} = \mathbf{25080 \text{ W}}$$

Se comprobó que no sobrepasa el 20% del valor P_{Gmin} :

$$\mathbf{24986 \text{ W} < 25080 \text{ W} < 29983 \text{ W}}$$

La relación descrita obedece a las características idóneas para nuestro dimensionado, y de estos datos obtuvimos la:

Tensión de circuito abierto del generador:

$$V_{G \text{ oc}} = N_S \cdot V_{oc} = 1 \cdot 45,6 \text{ V} = \mathbf{45,6 \text{ V}}$$

Intensidad de cortocircuito del generador:

$$I_{G \text{ sc}} = N_P \cdot I_{sc} = 76 \cdot 9,45 \text{ A} = \mathbf{718,2 \text{ A}}$$

Tensión máxima del generador:

$$V_{G \text{ mp}} = N_S \cdot V_{mp} = 1 \cdot 37,2 \text{ V} = \mathbf{37,2 \text{ V}}$$

Intensidad máxima del generador:

$$I_{G \text{ mp}} = N_P \cdot I_{mp} = 76 \cdot 8,88 \text{ A} = \mathbf{674,88 \text{ A}}$$

3.3.6. Dimensionamiento del sistema de acumulación (Baterías)

El sistema de acumulación, brinda al sistema fotovoltaico la proporción de energía eléctrica durante la noche y los días de con baja o nula insolación a la unidad educativa, el cual tiene un consumo diario en $A \cdot h$, igual a:

$$C_d = \frac{E_T}{V_{bat}} = \frac{72109,46 \text{ W} \cdot \text{h/día}}{24 \text{ V}} = \mathbf{3005 \text{ A} \cdot \text{h/día}}$$

Los requerimientos con los que cumple el sistema de acumulación son de: dos días de autonomía ($N = 2 \text{ días}$), profundidad de descarga del 80%, 20 horas de la capacidad de la batería para descargarse y las pérdidas inherentes del proceso de generación de $\eta_r = 0,98$ y $\eta_{rb} = 0,97$. Por lo tanto, la capacidad total es de:

$$C_n = \frac{C_d \cdot N}{PD_{m\acute{a}x} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{rb}} = \frac{3005 \text{ A} \cdot \text{h/día} \cdot 2 \text{ días}}{0,8 \cdot 0,94 \cdot 0,97} = \mathbf{8282 \text{ A} \cdot \text{h}}$$

Se verifica que la condición $C_n < 25 \cdot I_{sc}$ se cumpla, sabiendo que la $I_{G_{sc}} = \mathbf{718,2 \text{ A}}$:

$$8282 \text{ A} \cdot \text{h} < 25 \cdot 718,2 \text{ A}$$

$$\mathbf{8282 \text{ A} \cdot \text{h} < 17955 \text{ A}}$$

El número de elementos acumuladores a conectar en serie para conseguir la tensión nominal de 24 V , son:

$$N_{bs} = \frac{V_n}{V_{bat}} = \frac{24 \text{ V}}{12 \text{ V}} = \mathbf{2}$$

El número necesario de ramas de acumuladores en paralelo, según la capacidad de las baterías de $225 \text{ A} \cdot \text{h}$, son:

$$N_{bp} = \frac{C_n}{C_b} = \frac{8282 \text{ A} \cdot \text{h}}{225 \text{ A} \cdot \text{h}} = 36,8 \approx \mathbf{37}$$

La utilización del tiempo de 20 horas de descarga C_{20} , en vez de la capacidad referida a un tiempo de descarga de 100 horas C_{100} , obedece a un sobredimensionamiento del acumulador del 25% que compensa la pérdida de capacidad que se produce en el sistema de acumulación a lo largo del tiempo.

3.3.7. Dimensionamiento del regulador de carga

El regulador encargado de controlar las cargas y descargas de la batería con nuestro sistema de generación fotovoltaico calculado, tiene las siguientes particularidades:

La tensión nominal del regulador de carga $V_R = 24 V$, es igual que la tensión nominal del sistema de acumulación V_{bat} .

La intensidad producida por cada rama en paralelo del generador, es igual a:

$$I_{Gp} = \frac{P_{m\acute{a}x} \cdot \eta_m}{V_m} = \frac{330 W \cdot 0,83}{37,2 V} = 7,37 A$$

Por ende, la intensidad de corriente producida por el generador a pleno rendimiento, es:

$$I_G = I_{Gp} \cdot N_p = 7,37 A \cdot 76 = 559,78 A$$

Las intensidades de corriente que consumen las cargas monofásicas 120 V y bifásicas a 220 V, son:

$$I_{C\ 1\phi} = \frac{P_{AC}}{V_{SE}} = \frac{64148 W}{120 V} = 534,57 A \qquad I_{C\ 2\phi} = \frac{1250 W}{220 V} = 5,68 A$$

La corriente del regulador, es igual a:

$$I_R = \text{máx} (I_G, I_C) \rightarrow I_G = 559,78 A$$

La intensidad nominal I_R , en condiciones CEM con un factor de seguridad de 1,25, es:

$$I_R = 1,25 \cdot I_{G\ sc} = 1,25 \cdot 559,78 A = 699,73 A \approx 700 A$$

3.3.8. Dimensionamiento del inversor DC/AC

El inversor seleccionado tiene una tensión nominal de entrada $V_n = 24 V$ y la potencia nominal es igual a la suma de las potencias de los consumidores eléctricos de la unidad educativa.

$$P_{inv} \approx P_{AC\ 1\phi} \ \& \ P_{AC\ 2\phi}$$

La mayor potencia generada está dada por lo equipos eléctricos que funcionan a un nivel de tensión monofásica de 120 VAC, que es igual a:

$$P_{inv\ 1\phi} = 64148 W$$

Mientras que, la potencia generada en menor proporción la conforman las lámparas halógenas exteriores a un nivel de tensión bifásica de 220 VAC, que es equivalente a:

$$P_{inv\ 2\phi} = 1250 W$$

Los inversores escogidos son de 120 VAC, 60 Hz; por lo tanto para las cargas bifásicas de 220 VAC, se utilizan dos inversores.

3.4. Arreglo de los Reguladores de carga e Inversores/Cargadores

Los arreglos de las unidades reguladoras de carga e inversores/cargadores, se las define de la siguiente manera:

3.4.1. Arreglo de los Reguladores de carga

El arreglo de los reguladores de carga, está relacionado con la capacidad de generación de los módulos fotovoltaicos, en este sentido la selección del controlador de carga cumple con los criterios técnicos obtenidos y las cadenas o strings que deben conectarse a cada uno de ellos, y estos son:

$$\text{Número de unidades reguladoras de carga} = \frac{P_G \text{ máx}}{P_{r n}} = \frac{25080 \text{ W}}{2400 \text{ W}} = 10,45 \approx \mathbf{11}$$

El número de elementos conectados a cada una de las unidades reguladoras de carga, no deben superar su potencia nominal, por eso se debe escoger las cadenas o strings, teniendo en cuenta la potencia pico de los módulos fotovoltaicos, de la siguiente manera:

$$\text{Número de módulos fotovoltaicos por regulador PV} = \frac{P_{r n}}{P_{\text{máx}}} = \frac{2400 \text{ W}}{330 \text{ W}} = 7,27 \approx \mathbf{7}$$

Este valor debe ser siempre redondeado al límite inferior para cumplir lo anteriormente mencionado y estos 7 módulos fotovoltaicos, se conectan en paralelo.

Dentro de esto, el factor determinante para que se cumpla el criterio del número de unidades requeridas; está dado por la corriente nominal del regulador, que se define por:

$$I_{r n} > I_{mp} \cdot N_{PV} = 8,88 \text{ A} \cdot 7 = \mathbf{62,16 \text{ A}}$$
$$\mathbf{85 \text{ A} > 62,16 \text{ A}}$$

La máxima corriente de cortocircuito también es un punto crítico que debe ser tomando en cuenta:

$$I_{sc r} > I_{sc} \cdot N_{PV} = 9,45 \text{ A} \cdot 7 = \mathbf{66 \text{ A}}$$
$$\mathbf{70 \text{ A} > 66 \text{ A}}$$

Estas resultantes, permiten una adecuada selección tecnológica a fin de cumplir los parámetros para un correcto funcionamiento, dentro del sistema fotovoltaico.

3.4.2. Arreglo de los inversores/cargadores

El arreglo de los inversores/cargadores, está relacionado con la potencia que demanda la unidad educativa para su normal funcionamiento en corriente alterna **AC** en los dos niveles de voltaje de trabajo a baja tensión. La potencia nominal del equipo seleccionado, abastece la suficiente y necesaria energía eléctrica; y el número que requeriremos es de:

$$\text{Número de inversores/cargadores } N_{inv 1\phi} = \frac{P_{inv 1\phi}}{P_{inv n}} = \frac{65398 \text{ W}}{10000 \text{ W}} = 6,54 \approx \mathbf{7}$$

Este valor debe ser redondeado al límite superior, maximizando la capacidad de potencia con un margen de seguridad considerable y que está dentro de los parámetros admisibles.

3.5. Orientación de los módulos fotovoltaicos en el edificio

La orientación de la unidad educativa está a $10,324^\circ$ hacia el Noroeste (NO) geográfico, esto significa que los módulos fotovoltaicos los tendremos que orientar de frente al ecuador con una inclinación de 10° referentes a la horizontal; y con una desviación de $8,878^\circ$ respecto a la paralela de la loza del edificio A y una desviación de $11,21^\circ$ del edificio B en sentido antihorario.

La simulación de estos datos referentes al plano horizontal fijo, con un acimut de 0° ; para una productividad de irradiación solar anual nos indica que el factor de transposición es de 0,99 y las pérdidas que se generarán respecto al ángulo de inclinación óptimo son del 0,6% (ver figura 3.10).

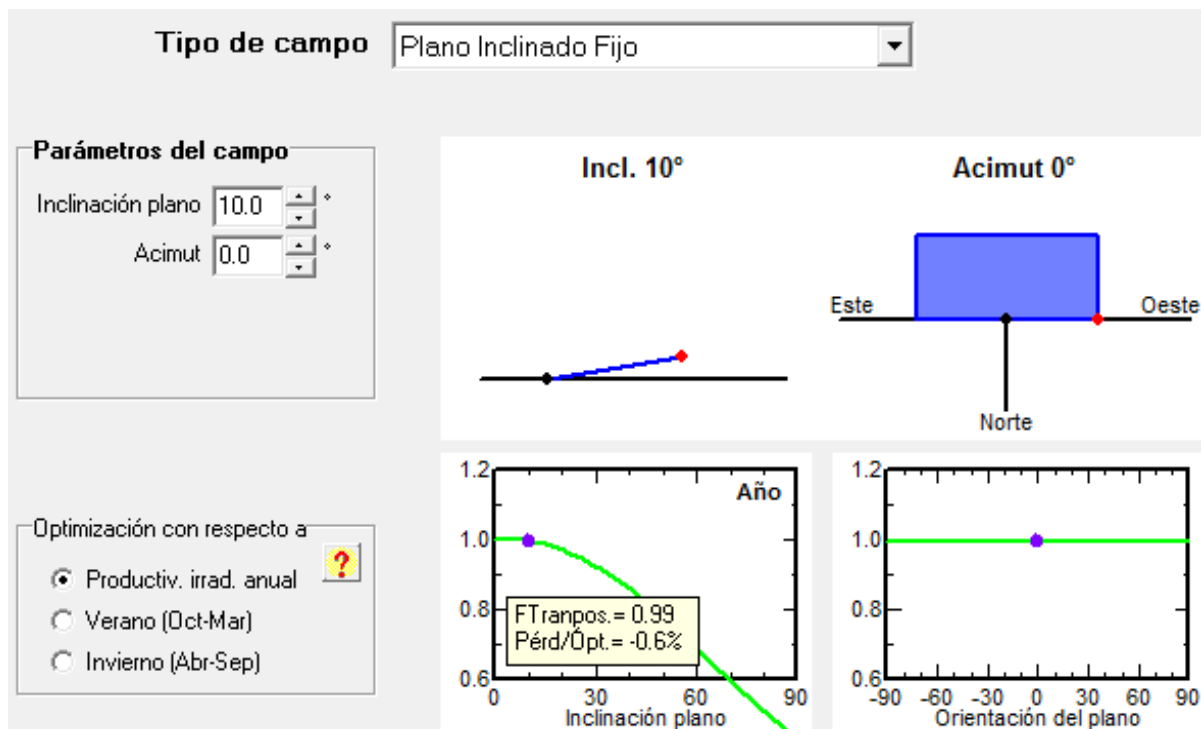


Figura 3.10. Orientación del sistema fotovoltaico.

Fuente: PVsyst V5.0; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

3.6. Distancia óptima entre filas de cada arreglo

Pasamos ahora a analizar la distancia de separación entre los módulos fotovoltaicos, de modo que las filas delanteras no generen sombreados sobre las posteriores. Empleando la latitud de $-0,914^\circ$ a la que se encuentra situada la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”. El cálculo está realizado con el mediodía solar para el día en cuya altura es la mínima; que corresponde al 21 de diciembre (en la figura 3.11, se muestran los datos requeridos para este propósito).

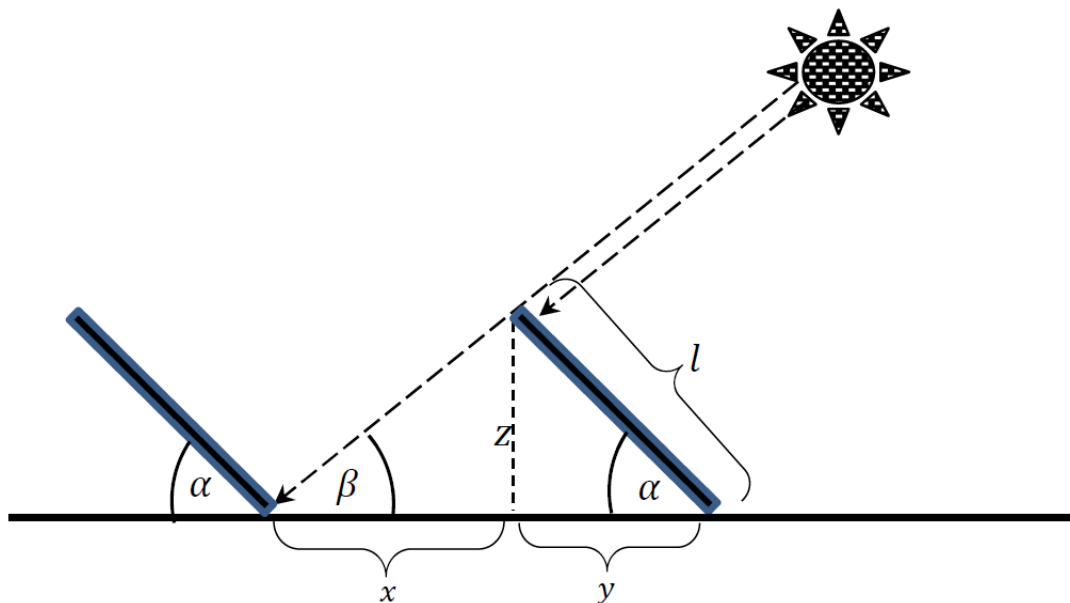


Figura 3.11. Distancia entre módulos fotovoltaicos para evitar pérdidas por sombreado.

Fuente: Propia; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

La distancia D , entre la parte inferior de dos filas de arreglos fotovoltaicos consecutivos:

$$x = \frac{z}{\tan \beta}; \quad D = x + y$$

Sabiendo que:

$$\alpha = 10^\circ$$

Al mediodía solar, los rayos inciden de forma perpendicular sobre el módulo, por lo tanto, los ángulos α y β , son ángulos complementarios. Siendo:

$$\beta = (90 - \text{latitud}) - 10^\circ = (90 - 0,914) - 10^\circ = 79,086^\circ$$

Dado que las medidas del módulo fotovoltaico son $1,96 \times 0,992$. Sustituyendo estos datos nos da:

$$y = l \cdot \cos \alpha = 0,992 \text{ m} \cdot \cos 10^\circ = 0,977 \text{ m}$$

$$z = l \cdot \sin \alpha = 0,992 \cdot \sin 10^\circ = 0,172 \text{ m}$$

$$x = \frac{z}{\tan \beta} = \frac{0,977 \text{ m}}{\tan 79,086^\circ} = \mathbf{0,188 \text{ m}}$$

$$D = 0,188 \text{ m} + 0,977 \text{ m} = \mathbf{1,165 \text{ m}}$$

En base a la distancia $D = 1,165 \text{ m}$, se efectuaron las simulaciones (programa PVsyst V5.0) de la disposición de los módulos fotovoltaicos en los edificios de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría” y considerando un adicional a este valor de $0,65 \text{ m}$, así como una longitud de separación con el fin de dar maniobrabilidad a la hora del mantenimiento correspondiente del generador fotovoltaico (ver figura 3.12).

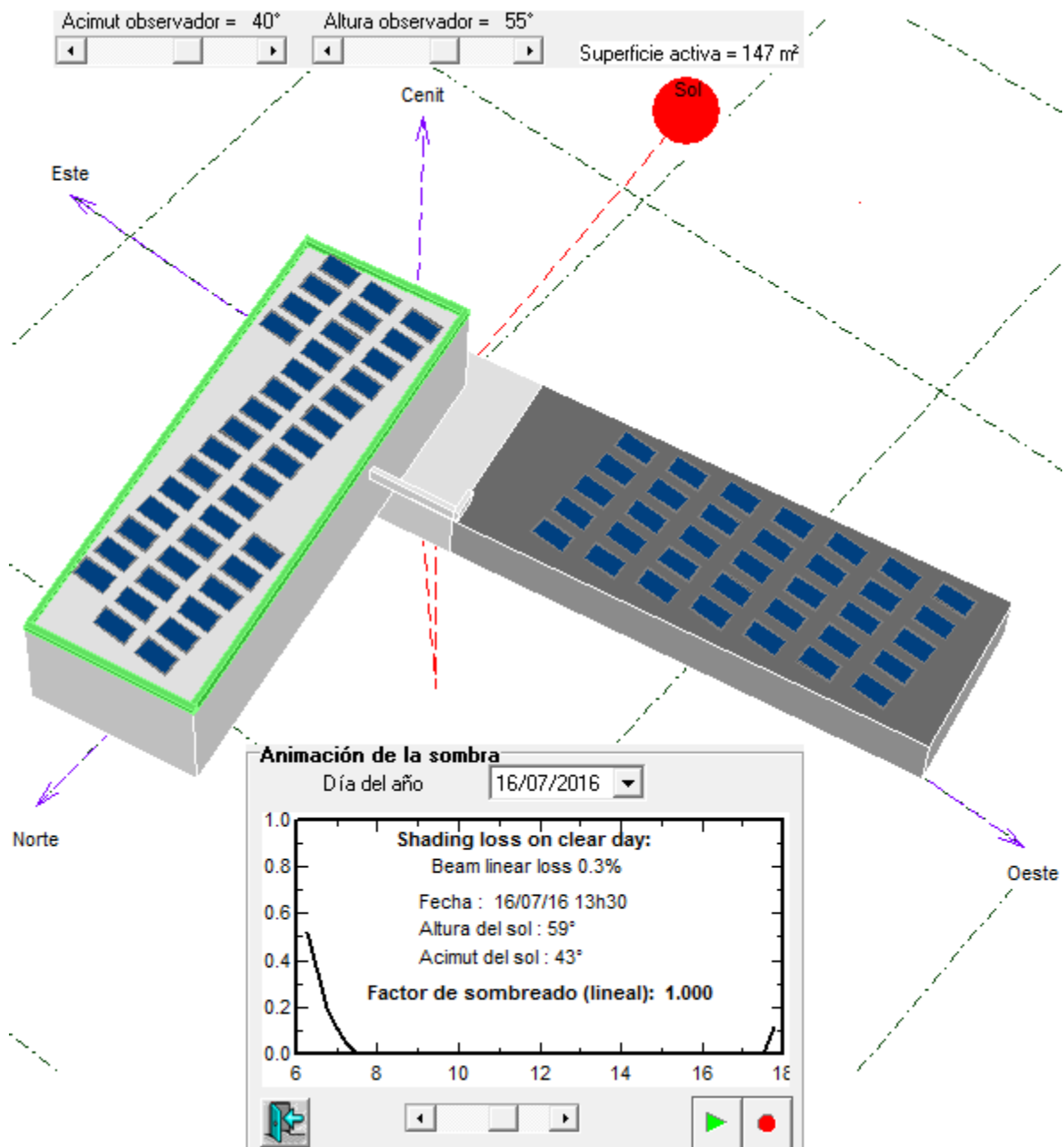


Figura 3.12. Simulación de la distancia óptima entre filas módulos fotovoltaicos sin sombreado.

Fuente: PVsyst V5.0; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

Proyecto Aislado at Unidad Educativa Juan Abel Echeverría: Nueva situación de sombreado

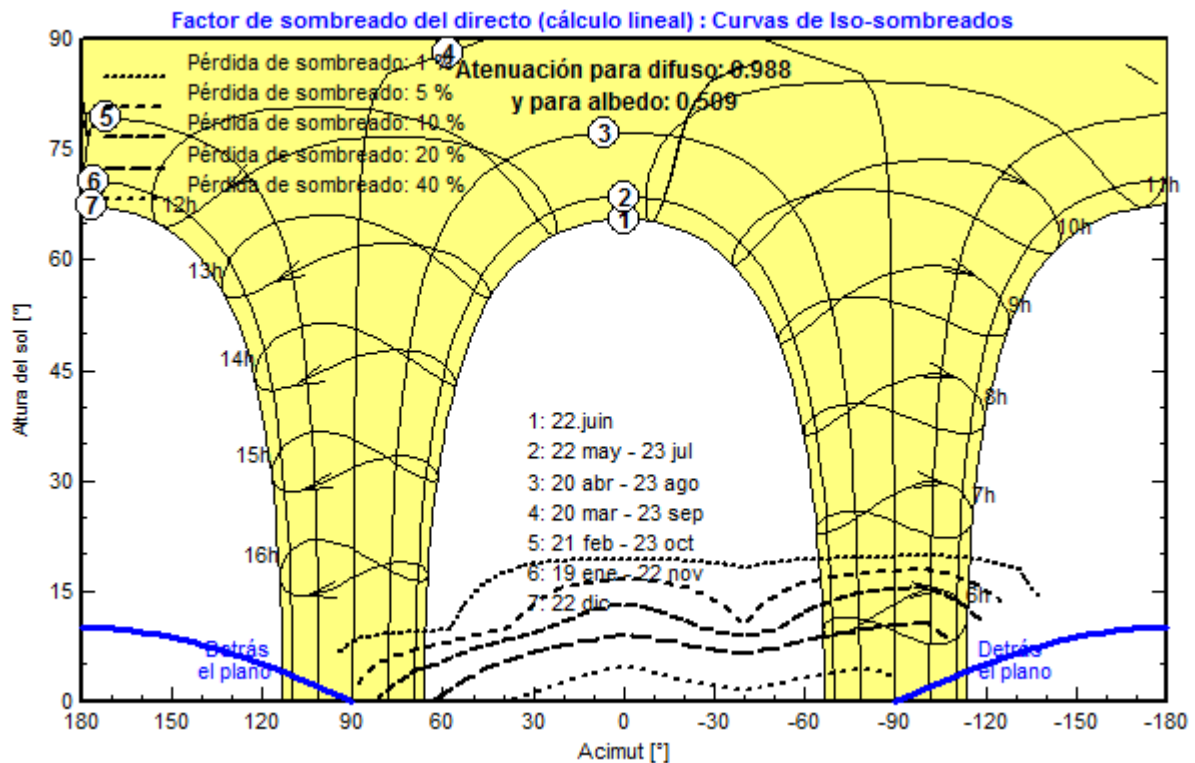


Figura 3.13. Diagrama del factor de sombreado de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.

Fuente: PVsyst V5.0; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

3.7. Dimensionado de los conductores eléctricos del sistema fotovoltaico

El dimensionamiento de los conductores eléctricos para el sistema fotovoltaico propuesto, está dividido de la siguiente manera:

1. Datos del sistema fotovoltaico de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”:

a) Las potencias o intensidades, tensiones y longitudes de los diferentes tramos fueron medidos en la obra.

✓ Tramo de línea 1, conexionado de los módulos. Longitud del tramo $I_{1A} = 30 \text{ m}$ y $I_{1B} = 70 \text{ m}$. La intensidad de corriente, es de:

$$I_{sc} = 9,45 \text{ A} \cdot 1,25 = 11,81 \text{ A}$$

✓ Tramo de línea 2, conexionado del generador fotovoltaico al regulador de carga. Longitud del tramo: $I_2 = 4 \text{ m}$. La intensidad de corriente de cada string, es de:

$$I_{Gsc} = (9,45 \text{ A} \cdot 7) \cdot 1,25 = 82,69$$

✓ Tramo de línea 3, conexionado del regulador a la batería de acumuladores. Longitud del tramo: $I_3 = 1,2 \text{ m}$. La intensidad de corriente, es de:

$$I_{Gsc} = 66,15 \text{ A} \cdot 1,25 = 82,69 \text{ A}$$

- ✓ Tramo de línea 4, conexionado de las baterías con el inversor/cargador. Con la potencia nominal del inversor, rendimiento y tensión del sistema. Longitud del tramo: $I_3 = 0,8 \text{ m}$.

La intensidad nominal de entrada es de:

$$I_{inv CC} = \frac{P_{n inv} \cdot \eta_{inv}}{V_n} = \frac{5000 \text{ VA} \cdot 0,94}{(0,94 \cdot 24 \text{ V})} = 221,63 \text{ A}$$

$$I_{inv CC} = 221,63 \cdot 1,25 = 277,04 \text{ A}$$

Tramo de línea 5, conexionado del inversor con la caja general de mando y protección de la instalación de utilización. Longitud del tramo: $I_5 = 3 \text{ m}$. La intensidad nominal de salida del inversor:

$$I_{inv CA} = \frac{P_{n inv}}{V_{n CA}} = \frac{5000 \text{ VA}}{120 \text{ V}} = 41,67 \text{ A}$$

$$I_{inv CA} = 41,67 \text{ A} \cdot 1,25 = 52,09 \text{ A}$$

- b) La máxima caída de tensión permitida, está definida del reparto del 1,5% entre los tramos de línea 1, 2, 4 y 5. Al tramo 3 se le asigna la caída de tensión resultante de la suma de las caídas de los tramos 1 y 2. El criterio de asignación del mayor porcentaje a los tramos de mayor corriente proporcional a su longitud, se indica en la tabla 3.8.
- c) El tipo de instalación en el tramo 1 y 2, viene estructurado con tubo metálico flexible; y en los tramos 3, 4 y 5, con canaletas cerradas.
- d) Se utilizan los cables con aislamiento termoestable para una temperatura de servicio de 90°C.

2. Calculo por caída de tensión del sistema fotovoltaico

Tabla 3.8. *Caída de tensión y sección del cable a utilizar en el sistema fotovoltaico.*

Tramos	Desde	Hasta	Corriente (A)	Factor de potencia	Voltaje (V)	Longitud [m]	Caída de Tensión (%)	Sección del Cable (mm ²)	Intensidad de corriente Corregida (A)
1	Módulo fotovoltaico	Caja de conexiones	11,81	1	24 VDC	30,00	1,45	45,25	26,54
	Módulo fotovoltaico	Caja de conexiones	11,81	1	24 VDC	70,00	1,48	103,54	26,54
2	Caja de conexiones	Regulador	82,69	1	24 VDC	4,00	1,13	54,45	92,91
3	Regulador	Baterías	82,69	1	24 VDC	1,20	1,0	16,65	
4	Baterías	Inversor	277,04	1	24 VDC	0,80	0,38	109,45	
5	Inversor	Panel de distribución	52,09	1	120 VAC	3,00	2,5	2,32	

Fuente: Propia; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

Los valores resultantes del reparto de caídas de tensión (se muestran en la tabla 3.8) proporcionales a la longitud de cada tramo de línea. En el tramo 5 que es de CA, se utilizó un factor de potencia uno, por emplear la intensidad a partir de la potencia aparente.

3. Cálculo por calentamiento:

- a) Las intensidades de cada tramo, multiplicadas por el coeficiente 1,25 según la ITC BT 40:
- b) Factor de corrección:
 - ✓ En los tramos 1 y 2 está considerada, que la temperatura ambiente que se puede alcanzar será de 50°C, según el anexo 16, se aplicó un factor de corrección de 0,89 a las intensidades de corriente.
 - ✓ En el tramo 1, de conexionado de los módulos fotovoltaicos, habrá 7 circuitos dentro de un mismo conducto. Consultando el anexo 17, se debe aplicar un factor de corrección de 0,5.
 - ✓ De acuerdo con la situación de los tramos de línea 1 y 2, ninguno queda expuesto a la radiación solar, por lo que no se aplica ningún factor de corrección. Estos cálculos se ven en la tabla 3.8.
- c) Teniendo las intensidades de cada tramo corregidas, por el método de instalación F & A1 del anexo 15; y siendo todos los circuitos bipolares con cable de cobre y aislamiento termoestable (XLPE2), se determinaron las secciones empleando el anexo 14, columna 13 & 7, siendo:

Tabla 3.9. Secciones calculadas y secciones comerciales por tramo del sistema fotovoltaico.

Sección del tramo de línea	Por caída de tensión (mm ²)	Por calentamiento (mm ²)	Sección comercial seleccionada (mm ²)
S1	45,25	25	50
	103,54	25	120
S2	54,45	25	70
S3	16,65	50	50
S4	109,45	50	120
S5	2,32	16	16

Fuente: Propia; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

3.8. Equipos de maniobra y protecciones del sistema fotovoltaico autónomo

El aseguramiento óptimo del sistema fotovoltaico autónomo para la generación de energía eléctrica de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, está relacionado con la confiabilidad que brinde a lo largo del proceso y es de vital importancia proveer de todas las protecciones de

régimen eléctrico bajo normativa. Las protecciones que se consideraron fueron contra sobreintensidades, contra sobretensiones, aislamiento y puesta a tierra.

1. Protección del generador: los 76 módulos en paralelo, tienen una protección contra corrientes inversas en cada rama. Se instalan fusibles, en bases portafusibles seccionadores:

- ✓ El calibre del fusible: $I_F = 1,5 \cdot I_{sc} = 1,5 \cdot 9,45 A = \mathbf{14,18 A} \cong \mathbf{18,9 A}$.
- ✓ Se eligió un cartucho fusible de 20 A (*gPV*) cilíndrico de 10x38 mm.
- ✓ La tensión asignada será: $U_F \geq 1,2 \cdot V_{G oc} = 1,2 \cdot 45,6 V = \mathbf{14,18 V}$.

2. Interruptor general del generador fotovoltaico: se instala un interruptor que cumpla lo siguiente:

- ✓ Intensidad nominal: $I_n \geq I_{G sc} = \mathbf{718,2 A}$.
- ✓ Tensión nominal: $V_n \geq V_{G oc} = \mathbf{45,6 V}$.
- ✓ Interruptor 18,9 A \cong **20 A**.

3. Protección de la batería de acumuladores: se instala una base portafusibles en el polo positivo con un fusible igual a:

- ✓ El calibre del fusible: $I_F = 1,5 \cdot I_{sc} = 1,5 \cdot (9,45 A \cdot 7) = \mathbf{99,23 A} \cong \mathbf{132,3 A}$.
- ✓ Se eligió un cartucho fusible de 100 A (*gG*) cilíndrico de 22x58 mm.
- ✓ La tensión asignada será: $U_F \geq 1,2 \cdot V_{G oc} = 1,2 \cdot 45,6 V = \mathbf{54,72 V}$.

4. Protección del inversor: se instala un interruptor automático y un interruptor diferencial monopolar de protección (a-g) 30 mA de sensibilidad que tiene el equipo inversor a su salida:

- ✓ Intensidad nominal: $I_n \geq I_{inv CA} = \mathbf{41,67 A}$.
- ✓ Tensión nominal: $V_n = \mathbf{120 V}$.

3.9. Estructuras soporte

La estructura sobre la que se soportan los módulos fotovoltaicos, otorgan la consistencia mecánica adecuada y un buen sistema de anclaje, así como la orientación e inclinación óptima. La instalación en la unidad educativa, se efectúa sobre los techos planos que tienen los edificios del área de bachillerato y centro de computación, puesto que presentan las condiciones más idóneas de captación solar. Las estructuras prefabricadas son de aluminio y la tornillería entre otros materiales de acero inoxidable.

Capítulo 4: Propuesta

En este capítulo, se plantea la propuesta de una manera ordenada y consecuente del diseño de un sistema fotovoltaico de generación de electricidad autosustentable para la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi; a fin de dar una exposición clara de los objetivos, sustentabilidad, eficiencia y viabilidad energética, aportando dentro del contexto socioeconómico-ambiental un gran impacto.

4.1. Título

Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para la generación de energía eléctrica de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi.

4.2. Justificación

El diseño del sistema fotovoltaico autónomo pretende seleccionar la tecnología apropiada para la generación eléctrica, de manera que aproveche el potencial solar fotovoltaico que dispone la zona en la que se encuentra de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi, y que a su vez esta energía captada contribuya a la satisfacción del consumo eléctrico que requieren los constantes procesos de operatividad. Este modelo de gestión energética asume las condiciones de su uso, desde el punto de vista técnico-estratégico al cuidado del ambiente, haciendo que su adaptabilidad provea al sistema eficiencia, confiabilidad, modularidad y seguridad; logrando que estos mecanismos sean sustentables económicamente a largo plazo, y se reflejen en la práctica de las condiciones idóneas de funcionamiento.

4.3. Objetivos

4.3.1. Objetivo General

Dimensionar un sistema fotovoltaico, a partir del estudio experimental de campo, para la generación de energía eléctrica en la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi, que cumpla con los requerimientos de selección, tecnología y funcionamiento, de manera que se tenga un impacto socioeconómico y ambiental.

4.3.2. Objetivos Específicos:

- ✓ Aplicar los parámetros de medición experimental de campo juntamente con los de cálculos, en la selección de los equipos tecnológicos adecuados para el sistema fotovoltaico autónomo de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.
- ✓ Proponer la configuración de diseño, que tendrá el sistema de generación fotovoltaica de la unidad educativa, con todas sus medidas de funcionalidad y confiabilidad.
- ✓ Confirmar la factibilidad técnica, económica y ambiental que se obtiene a partir de la adecuada selección del sistema fotovoltaico autónomo en beneficio de la sociedad conformada por la institución educativa.

4.4. Estructura de la propuesta

El aporte que se dará con la investigación, radica en una adecuada gestión energética, que relaciona a la energía solar fotovoltaica, como una respuesta preponderante ante la implementación de políticas seguras y amigables con el ambiente. La propuesta parte del levantamiento de información referente al consumo de energía eléctrica de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, de la ciudad de Latacunga, Provincia de Cotopaxi que está relacionada con el desempeño de las distintas y variadas actividades académicas que se efectúan constantemente. El diagnóstico de la demanda que requiere la institución para su normal funcionamiento, sale del inventario detallado de los equipos empleados en el regular proceso y las resultantes se analizan detenidamente en un comparativo anual. Los regímenes eléctricos estarán relacionados, al tiempo de servicio respecto a la eficacia en la que trabajan, que es variado desde el mismo arranque operativo hasta el final del periodo estudiantil. Estos valores nos dan la carga de energía eléctrica que requiere el sistema.

La determinación del potencial solar fotovoltaico, fue realizado experimentalmente en el plantel educativo con la investigación de campo, empleando un prototipo fotovoltaico policristalino, bajo las condiciones climatológicas reales que nos proporcionan la capacidad de captación de radiación solar. Los datos obtenidos son contrastados con la base de datos de la NASA (historial promedio de 22 años) y se verifican la confiabilidad que brindan los mismos. En este caso se consideran los valores obtenidos “in situ”, puesto que la desviación es casi imperceptible y los coeficientes del nivel de radiación son considerados apropiados para la adaptabilidad de sistemas solares.

La correlación de estos aportes, tanto de la potencia instalada como del promedio de radiación solar diaria, establecen los parámetros del diseño del sistema fotovoltaico autónomo. El ángulo de inclinación a la que se deberán colocar los módulos fotovoltaicos, son escogidos del estudio de campo. Se selecciona la tensión nominal que tendrá el sistema, considerando el voltaje que tendrán los acumuladores de energía eléctrica. El arreglo de los módulos fotovoltaicos, surge del promedio de consumo energético diario, relacionado con la capacidad de radiación del mes crítico o más desfavorable frente a la potencia que generan los paneles, logrando de esta manera tener un correcto funcionamiento y asegurando el suministro eléctrico durante todo el año.

La selección de los acumuladores de energía (baterías) debe relacionar la profundidad de descarga y asegurando que la capacidad de almacenaje satisfaga los días de autonomía que requiere el sistema fotovoltaico.

El regulador de carga, que es la parte que controla las cargas y descargas de los acumuladores desde el generador fotovoltaico y a su vez la descarga a través de los elementos de consumo eléctrico del sistema global, será seleccionado de la mayor intensidad de corriente que producen los paneles solares a pleno rendimiento vs. la corriente de todos los consumos al mismo tiempo, utilizando un factor de seguridad de 1,25.

El inversor está definido por la tensión de entrada que es igual a la del sistema, la tensión de salida en CA y la potencia que demandan los receptores.

Las pérdidas generadas en cada subsistema se tienen en cuenta a fin de que la configuración sea eficiente, estable y segura. Las pérdidas generadas por sombreado y obstáculos se analizan en el programa PVsyst V5.0 con la interfaz de datos de radiación solar del diseño; considerando su orientación, acimut y espaciamiento entre módulos fotovoltaicos. Estas simulaciones permitieron establecer los cálculos de caída de tensión y de calentamiento de los cables, que se seleccionan de acuerdo con las secciones comerciales de los catálogos de los fabricantes. Por último, se dimensionan las protecciones del sistema y las estructuras de soporte.

4.5. Desarrollo de la propuesta

La unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, ubicada en barrio San Felipe, de la ciudad de Latacunga; tiene una potencia instalada de $64148 W$, a un nivel de voltaje monofásico de $120 VAC$ y de $1250 W$, a un nivel de voltaje bifásico de $220 VAC$. El promedio de consumo eléctrico diario es de $64393,75 W \cdot h/día$ y el consumo diario total para el sistema tomando en cuenta las pérdidas fue de $72109,46 W \cdot h/día$.

La radiación global que fue tomada en cuenta en el diseño, por ser el menor coeficiente en el mes más crítico de mayor incidencia solar tiene un valor de $3,9 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$, a un ángulo de inclinación de 10° .

Luego del establecimiento de los parámetros técnicos y de funcionamiento, se seleccionaron los tecnológicos, que complementan los resultados obtenidos de manera integral. El sistema fotovoltaico autónomo propuesto para la generación de energía eléctrica de la unidad educativa, está constituido por una rama en serie y 76 módulos fotovoltaicos conectados en paralelo, de 24 V de tensión nominal, policristalino de 72 células, CanadianSolar CS6U-320P de 330 W pico y sus características técnicas correspondientes (ver anexo 18), son:

Tabla 4.1. *Datos característicos del módulo fotovoltaico CanadianSolar.*

Modelo: MAXPOWER CS6U-330P	STC	NOCT
Potencia nominal máx. (P_{máx})	330 W	239 W
Voltaje de máxima potencia (V_{mp})	37,2 V	33,9 V
Corriente de máxima potencia (I_{mp})	8,88 A	7,05 A
Voltaje circuito abierto (V_{oc})	45,6 V	41,9 V
Corriente de corto circuito (I_{sc})	9,45 A	7,66 A
Rendimiento	16,97%	
Temperatura de operación	-40°C ~ +85°C	
Sistema de voltaje máximo	1000 V	
Coefficiente de Temperatura (P_{max})	-0,41 %/°C	
Coefficiente de Temperatura (V_{oc})	-0,31 %/°C	
Coefficiente de Temperatura (I_{sc})	0,053 %/°C	
Temperatura nominal de las células	45±2 °C	
Tipo de células	72 (6 x 12)	
Dimensiones	1960 x 992 x 40 mm	
Peso	22,4 kg (49,4 lbs)	

Fuente: Ficha técnica CanadianSolar; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios

- ✓ **STC:** Bajo condiciones nominales estándar $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ de irradiancia, espectro AM 1,5 y 25°C de temperatura de célula.
- ✓ **NOCT:** Bajo la temperatura de operación nominal de la célula $800 \text{ W}/\text{m}^2$ de irradiancia, espectro AM 1,5, temperatura ambiente de 20°C , velocidad del viento de $1 \text{ m}/\text{s}$.

El comportamiento de las curvas características de los módulos fotovoltaicos seleccionados, se los puede visualizar en la figura 4.1.

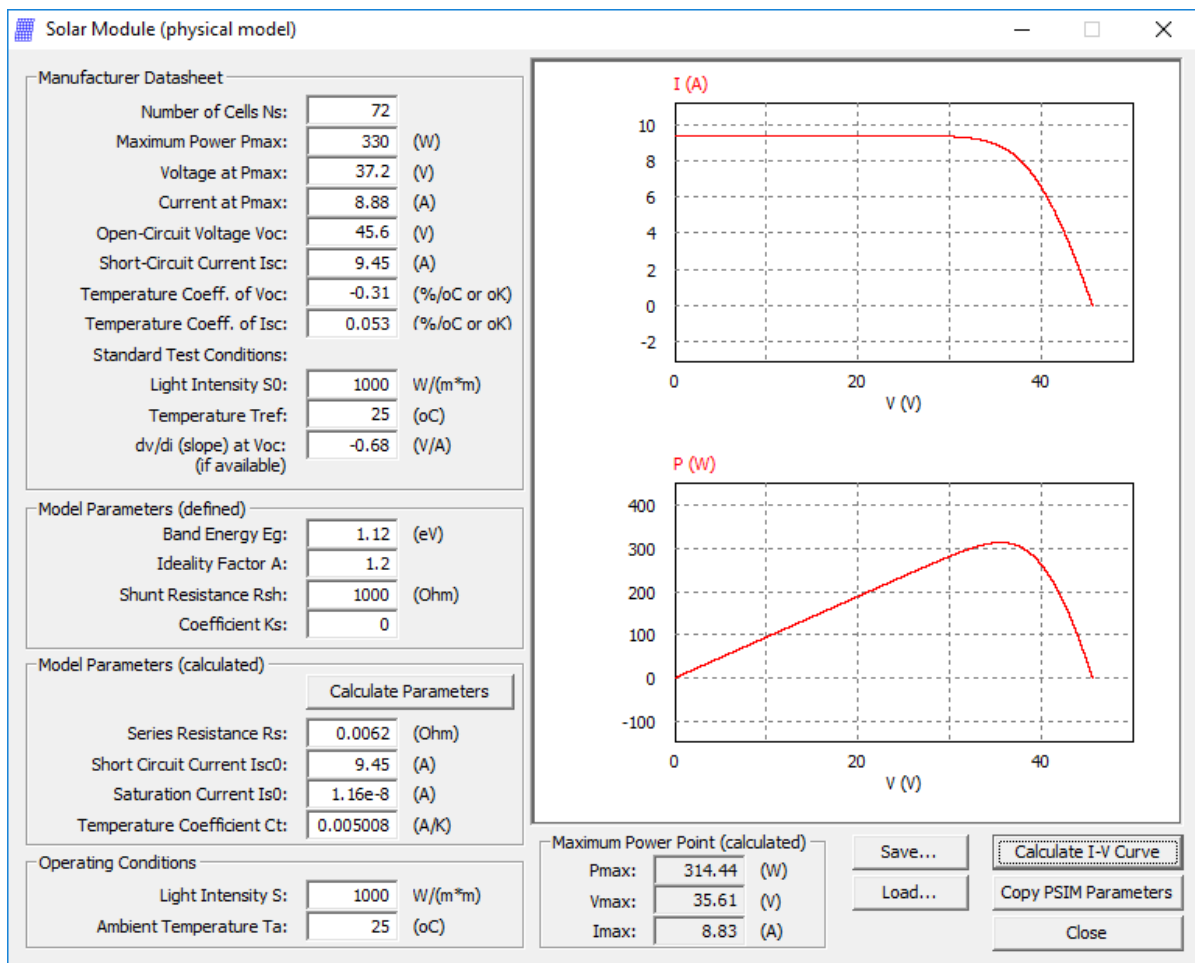


Figura 4.1. Curvas características módulos fotovoltaicos CS6U-330P, CanadianSolar.

Fuente: PSIM; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

El sistema de acumulación está conformado por un total de 74 unidades de baterías monoblock de ciclo profundo Trojan J185H-AC; dos ramas en serie y 37 en paralelo, con una tensión nominal de 12 VDC, de las siguientes características técnicas (ver anexo 19):

Tabla 4.2. Datos característicos de la batería monoblock de ciclo profundo Trojan.

Tamaño grupo BCI	Voltaje	Modelo	Celda(s)	Dimensiones mm	Peso Lbs. (kg)	
921	12	J185H-AC	6	380 x176 x 373	123 (56)	
Minutos de Capacidad		Capacidad A · h		Profundidad de descarga	Temperatura de operación	Rendimiento
@ 25 A	@ 75 A	20 h	100 h	80%	-20°C to +45°C	95%
440	121	225	249	Energía (kW · h)	2,99 (100 h)	

Fuente: Ficha técnica Trojan; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

El regulador de carga seleccionado es de 24 VDC en tensión nominal, Victron Energy SmartSolar MPPT 150/85, de 85 A y que soporta 2400 W de potencia de los módulos

fotovoltaicos. Está conformado por 11 unidades para cubrir la potencia requerida conectados en paralelo; a 10 unidades se conectan 7 módulos fotovoltaicos a cada una y a 1 unidad 6 módulos en paralelo respectivamente. El controlador tiene las siguientes características (ver anexo 20):

Tabla 4.3. *Datos característicos del regulador de carga Victron Energy.*

Modelo: Controlador de carga SmartSolar		MPPT 150/85
Tensión de la batería		24 V
Corriente de carga nominal (I_{rn})		85 A
Potencia FV máxima, 24 V (P_{rn})		2400 W
Máxima corriente de corto circuito (I_{rsc})		70 A
Tensión máxima del circuito abierto FV	150 V máximo absoluto en las condiciones más frías, 145 V en arranque y funcionando al máximo	
Eficacia máxima		98%

Fuente: Ficha técnica Victron Energy; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

El inversor/cargador, tiene una tensión nominal de 24 VDC de entrada y 120 VAC, 60 Hz, con una potencia pico de salida de 10000 W, Victron Energy Quattro 24/5000/120-100/100 (ver anexo 21), para cubrir la demanda de la carga eléctrica en corriente alterna se necesitan 7 unidades. Las características del inversor DC/AC que se adaptan a las exigencias propias del sistema seleccionadas para los dos niveles de tensión de la unidad educativa, son las siguientes:

Tabla 4.4. *Datos característicos del Inversor/cargador de Victron Energy.*

Modelo: Quattro		24/5000/120-100/100
2 entradas CA	90-140 VAC, 45-65 Hz, FP: 1	
Corriente máxima (A)	2x100	
INVERSOR		
Rango de tensión de entrada (VDC)	19-33	
Potencia de salida a 25°C (VA)	5000	
Salida	120 VAC \pm 2%, 60 Hz	
Pico de potencia	10000 W	
Eficacia máxima	94%	
CARGADOR		
Tensión de carga de “absorción” (VDC)	28,8	
Tensión de carga de “flotación” (VDC)	27,6	
Modo de “almacenamiento” (VDC)	26,4	
Corriente de carga batería casa (A)	120	
Corriente de carga batería de arranque	4	

Fuente: Ficha técnica Victron Energy; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

Los módulos fotovoltaicos se orientan frente al ecuador hacia el norte geográfico, teniendo un acimut de 0° y un ángulo de inclinación de 10° respecto de la horizontal de la loza que presenta una desviación de $8,878^\circ$ en el edificio A y una desviación de $11,21^\circ$ en el edificio B en sentido antihorario.

En el edificio A, se ubican 35 módulos fotovoltaicos (7 columnas por 5 filas). Esto corresponde a la configuración de 7 módulos conectados a 5 reguladores de carga en paralelo. La distancia de separación de estos módulos fotovoltaicos, se detalla en la figura 4.1:

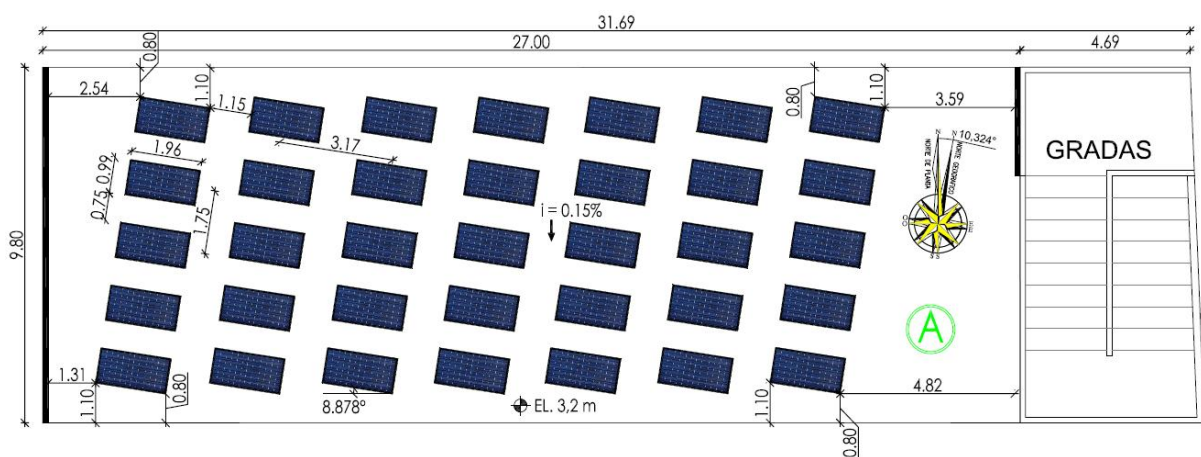


Figura 4.2. Distancias de separación entre módulos fotovoltaicos del edificio A, de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.

Fuente: Autocad; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

En el edificio B, se ubican 41 módulos fotovoltaicos (1 columna de 6 filas; 1 columna de 16 filas; 1 columna de 15 filas y 1 columna de 4 filas). Esto corresponde a la configuración de 7 módulos que se conectan a 5 reguladores de carga en paralelo. La distancia de separación de estos módulos fotovoltaicos, se detalla en la figura 4.2 y estos paneles deben ubicarse respecto del nivel horizontal de la loza elevados unos 35 cm, para evitar el sombreado provocado por las columnas que se encuentran en la periferia.

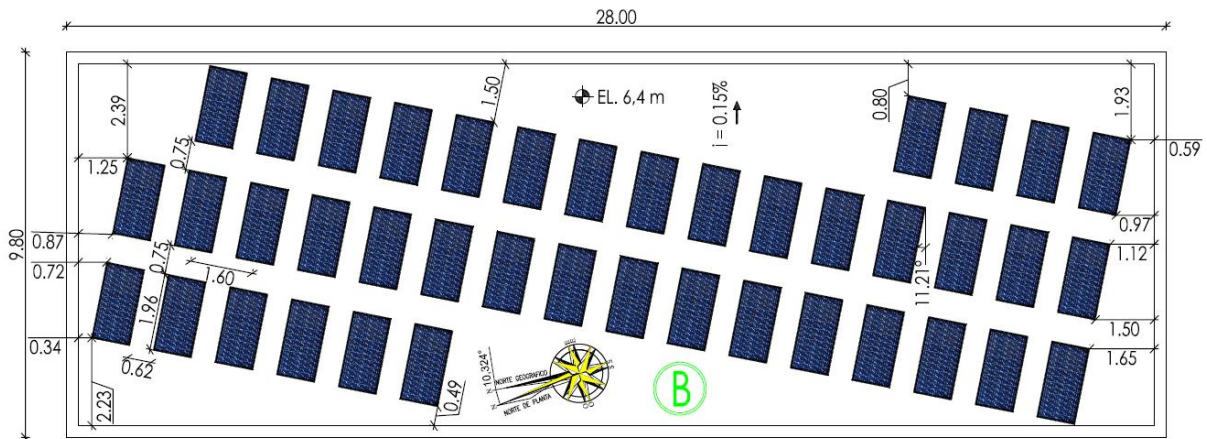


Figura 4.3. Distancias de separación entre módulos fotovoltaicos del edificio B, de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.

Fuente: Autocad; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

Nota: Las dimensiones de la figura 4.2 y figura 4.3 están dadas en metros.

Está previsto la fabricación de un cuarto eléctrico y de control, junto al edificio A, de un área de $41,85 \text{ m}^2$, sus dimensiones son de $9,8 \text{ m}$ de largo, 5 m de ancho y $2,8 \text{ m}$ de alto; para la centralización del sistema, y en donde se instalan la caja de conexionado, los reguladores, banco de baterías, inversores, tablero de control y protecciones eléctricas, tablero de distribución de cargas. Este cuarto está provisto de una puerta de ingreso y una de salida de emergencia y ventilación natural.

El sistema fotovoltaico autónomo, tiene cinco tramos de conexionado (ver figura 4.4) que comprenden:

- ✓ En el tramo 1; que va desde los módulos fotovoltaicos hacia la caja de conexionados en paralelo, se emplean conductores monopolares termoestables EXZHELLENT SOLAR XZ1FA3Z-K (AS) $1,8 \text{ kV DC}$ (ver anexo 22), con color rojo para el polo positivo y negro para el polo negativo. La conexión de las cadenas o strings del edificio A, son con conductores eléctricos de 50 mm^2 de sección (código 1618114), y las conexiones de las cadenas o strings del edificio B, con conductores eléctricos de 120 mm^2 de sección (código 1618117).
- ✓ En el tramo 2; que va desde la caja de conexionados en paralelo de los módulos fotovoltaicos hasta el grupo de reguladores de carga conectados en paralelo, se emplean conductores monopolares termoestables EXZHELLENT SOLAR XZ1FA3Z-K (AS) $1,8 \text{ kV DC}$ (ver anexo 22), con color rojo para el polo positivo y negro para el polo negativo, de 70 mm^2 de sección (código 1618115) por cada unidad reguladora.



Figura 4.4. Equipos que integran el sistema fotovoltaico autónomo de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.

Fuente: Autocad; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

- ✓ En el tramo 3; que va desde los reguladores de carga al banco de baterías, se emplean conductores monopolares de baja tensión RZ1-K (AS) de 0,6/1 kV (ver anexo 23), con color azul para el polo positivo y negro para el polo negativo, de 50 mm² de sección por cada unidad reguladora.
- ✓ En el tramo 4, que va desde las baterías hasta el inversor/cargador, se emplean conductores monopolares de baja tensión RZ1-K (AS) de 0,6/1 kV (ver anexo 23), con color negro para el polo positivo y verde para el polo negativo, de 120 mm² de sección por cada unidad inversora.

- ✓ En el tramo 5, que va desde los inversores con el tablero de distribución de la unidad educativa, se emplearán conductores monopolares de baja tensión RZ1-K (AS) de 0,6/1 kV (ver anexo 23), con color azul para el polo positivo y negro para el polo negativo, de 16 mm² de sección.

La distribución de los cables en tramo 1 como en el 2, se emplean canaletas cerradas de color blanco Dexson, de 100x45 mm, de 2 m de largo y en los tramos 3, 4 y 5; tuberías EMT de 2" de diámetro, de 3 m de largo.

Las protecciones que tiene el sistema fotovoltaico autónomo, bajo normativa está compuesto por:

- 1. Protección del generador:** contra corrientes inversas en cada rama, Se instalan, 76 cartuchos fusible, df electric de 20 A (*gPV*) cilíndrico de 10x38 mm, referencia 491635 y 76 bases portafusibles de 2 módulos, 32 A (*gPV*) de 10x38 mm, bipolar (1P + N) referencia 481233 (ver anexo 24).
- 2. Interruptor general del generador fotovoltaico:** se instala un interruptor seccionador de 8 polos de 20 A + neutro, Kraus & Naimer KH20 T308 E/86 STM, 23/20 (*kW/A*), IP66/67 (ver anexo 25).
- 3. Protección de las baterías desde el regulador de carga:** se instalan 11 cartuchos fusible, df electric de 100 A (*gG*) cilíndrico de 22x58 mm, referencia 422100 y 11 bases portafusibles seccionables PMX-10, 100 A (*gG*), de 22x58 mm, bipolar (1P + N) con indicador, referencia 485303 (ver anexo 24).
- 4. Protección del inversor:** se instalan 7 interruptores automáticos diferenciales bipolares (1P + N), schneider electric de 63 A, A9R61263, 120 V, 60 Hz y 7 interruptores automáticos magnetotérmicos bipolares (1P + N), schneider electric iC60N de 63 A, A9F79663, 120 V, 60 Hz (ver anexo 26).

Las estructuras de soporte para cada uno de los módulos fotovoltaicos; se los hace con 2 carriles o perfiles base prefabricados de aluminio de 2000 mm, 2 triángulos regulables de 5° a 10° grados de inclinación y 4 tapas de perfiles base, 4 fijadores laterales completos de 34-51 mm, 6 fijadores intermedios completos de 32-51 mm de acero inoxidable.

El diagrama esquemático y de conexionado, muestra la totalidad del diseño del sistema fotovoltaico de la unidad educativa "Juan Abel Echeverría" para la generación de energía eléctrica (ver anexo 27).

4.6. Evaluación socioeconómica-ambiental de la propuesta

La satisfacción y aporte de la investigación, está resumida en el impacto socio-económico y ambiental, que examina de manera concreta la cuantificación económica de tecnología, suministros e infraestructura del sistema fotovoltaico autónomo; que son la resultante de la aplicabilidad de los conceptos de diseño, funcionalidad, instalación, requerimientos de protección, control y operación, que reflejaran en su implementación un rédito financiero a largo plazo y que sea amigable al entorno de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría, precautelando los impactos y las políticas de bienestar tanto de la comunidad académico cómo del sistema propiamente dicho.

Los elementos que conforman el sistema fotovoltaico autónomo, son los que se detallan a continuación:

Tabla 4.5. *Presupuesto total del sistema fotovoltaico autónomo.*

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	MARCA	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Módulos fotovoltaicos, 330 W	76	U	CanadianSolar	\$235,00	\$17860,00
2	Reguladores de carga, SmartSolar MPPT 150/85, 24 VDC, 2400 W	11	U	Victron Energy	\$665,50	\$7320,50
3	Baterías, 12 VDC, 225 A · h	74	U	Trojan	\$308,00	\$22792,00
4	Inversores/cargadores, Quattro, 5000 VA, 10000 W	7	U	Victron Energy	\$2385,00	\$16695,00
5	Fusibles, 20 A (gPV), 10x38 mm	76	U	df Electric	\$2,94	\$223,44
6	Portafusibles, 2 módulos (2P+N), 32 A (gPV) 10x38 mm	76	U	df Electric	\$10,00	\$760,00
7	Fusibles, 100 A (gG), 22x58 mm	11	U	df Electric	\$3,26	\$35,86
8	Portafusibles, 1 módulo (1P+N), 100 A (gG), 22x58 mm	11	U	df Electric	\$11,16	\$122,76
9	Interruptor seccionador, 20 A, KH20 T308 E/86 STM, 23/20 (kW/A), IP66/67.	11	U	Kraus & Naimer	\$86,00	\$946,00
10	Interruptor automático diferencial bipolar (1P+N), 120 VAC, 63 A, 60 Hz	7	U	Schneider electric	\$95,20	\$666,40
11	Interruptor automático magnetotérmico bipolar (1P+N), 120 VAC, 63 A, 60 Hz	7	U	Schneider electric	\$46,00	\$322,00
12	Conductores termoestables EXZHELLENT SOLAR XZ1FA3Z-K (AS), 50 mm ² , (rojo y negro)	1x800 1x800	m	General cable	\$1,20	\$1920,00
13	Conductores termoestables EXZHELLENT SOLAR XZ1FA3Z-K (AS), 120 mm ² , (rojo y negro)	1x2250 1x2250	m	General cable	\$3,02	\$13590,00

14	Conductores termoestables EXZHELLENT SOLAR XZ1FA3Z-K (AS), 70 mm ² , (rojo y negro)	1x20 1x20	m	General cable	\$2,01	\$80,40
15	Conductores flexibles RZ1-K (AS), 50 mm ² (azul y negra)	1x120 1x120	m	General cable	\$7,46	\$1790,40
16	Conductores flexibles RZ1-K (AS), 120 mm ² (negra y verde)	1x12 1x12	m	General cable	\$17,07	\$409,68
17	Conductores flexibles RZ1-K (AS), 16 mm ² (azul y negra)	1x30 1x30	m	General cable	\$2,37	\$71,10
18	Cable de cobre con aislamiento monopolar, 600 V, (Verde-XHHW), C, 4 AWG, CLASE B, 7 STR, XLPE INS.	2000	m	General cable	\$0,34	\$680,00
19	Tablero de conexiones, protecciones y control (con barra de puesta a tierra)	1	U	Schneider electric	\$154,00	\$154,00
20	Tablero de distribución, 225 A, 2P+N y 20 circuitos	1	U	Schneider electric	\$192,00	\$192,00
21	Repartidor modular monobloc bipolar 2P, 125 A, 8 módulos, 15 conexiones	11	U	Legrand	\$65,00	\$715,00
22	Barra de cobre de 350x50x3,5 mm, 800 A	2	U	TeknoMega	\$24,00	\$48,00
23	Barra de cobre de 350x60x5 mm, 800 A	2	U	TeknoMega	\$38,00	\$76,00
24	Riel Din 10x38 mm, de 1 m	3	U	Fuji electric	\$7,95	\$23,85
25	Riel Din 22x58 mm, de 1 m	2	U	Fuji electric	\$13,58	\$27,16
26	Tubería metálica EMT, de 2" de diámetro y 3 m de largo	8	m	Fuji electric	\$4,20	\$33,60
27	Uniones para tubería metálica EMT, 2" de diámetro	8	U	Fuji electric	\$1,25	\$10,00
28	Tornillería (para acoplamiento de riel Din)	25	U	Finpac	\$0,15	\$3,75
29	Varilla Copperweld, 16x1800mm con conector	3	U	-	\$7,79	\$23,37
30	Kit de acoplamiento (pinza y pernos) para portafusibles	1	U	Fuji electric	\$26,00	\$26,00
31	Kits de uniones, codos y conduit fittings para tubería (100 unidades)	5	U	Fuji electric	\$68,00	\$340,00
32	Canaleta cerrada blanca, 100x45 mm, de 2 m de largo	175	U	Dexson	\$10,00	\$1750,00
33	Kits de uniones para canaleta cerrada blanca, 100x45 mm, (200 unidades)	2	U	Dexson	\$52,00	\$104,00
34	Kits de Materiales para montaje de estructuras de los módulos fotovoltaicos (4 unidades)	4	U	-	\$200,00	\$800,00
<i>SUBTOTAL</i>						<i>\$90612,27</i>
35	Mano de obra instalación	-	-	-	\$750,00	\$750,00
36	Otros gastos	-	-	-	\$150,00	\$150,00
<i>TOTAL</i>						<i>\$91512,27</i>

Fuente: Propia; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

Los rubros que hacen referencia a otros gastos, se deben tomar en cuenta por algún imponderable que pueda surgir de improviso y no ha sido considerado en los otros ítems. Este costo asciende al 25% de la mano de obra de la instalación.

El análisis económico está relacionado con la capacidad de generación que tiene el sistema fotovoltaico autónomo de la unidad educativa, dadas las condiciones de radiación solar vs el

consumo promedio diario que es igual a **64,394 kW · h/día**. Conociendo la relación existente entre el consumo con la radiación solar en el mes más crítico, se puede establecer que el promedio de energía eléctrica está garantizado en un 11,98% más de lo requerido diariamente, puesto que el diseño refleja el correjimiento de las pérdidas implícitas en la integración de todas sus componentes, dando como resultado un consumo promedio de **72,109 kW · h/día**. Según los días operativos de trabajo de la institución que son **260 días**, el consumo promedio anual es igual a **16742,44 kW · h/año**. La correlación de este valor, diagnosticará su viabilidad financiera utilizando las herramientas del VAN y TIR.

Los costos de ingeniería de detalle, construcción, montaje y puesta en marcha de operaciones del sistema fotovoltaico de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, no están contemplados en el presupuesto económico que se indica en la tabla 4.5, puesto que estos servicios se los efectúa considerando los factores técnicos de manera exhaustiva, llevando un diagnóstico que van relacionados con la pericia del personal técnico. El desglose de este rubro para la institución educativa asciende a un monto de \$ 8750, siempre y cuando se desee implementar a un futuro el estudio planteado.

4.6.1. Cálculo del Valor Actual Neto (VAN)

El VAN, es el método de evaluación, que considera el valor del dinero a través del tiempo, y representa la utilidad que obtiene el inversionista después de haber recuperado la inversión, obteniendo la rentabilidad exigida; mide los resultados obtenidos por el proyecto a valor presente del periodo en que se hace la evaluación.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} \quad (4.1)$$

Donde:

V_t : representa los flujos de caja en cada periodo t.

I_0 : es el valor del desembolso inicial de la inversión.

n : es el número de períodos considerado.

k : es el tipo de interés (Mellado Espinoza, 2007, p. 140).

Tabla 4.6. Interpretación del VAN.

Valor	Significado	Decisión a tomar
VAN > 0	La inversión produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida (r)	El proyecto puede aceptarse
VAN < 0	La inversión produciría pérdidas por debajo de la rentabilidad exigida (r)	El proyecto debería rechazarse
VAN = 0	La inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas	Dado que el proyecto no agrega valor monetario por encima de la rentabilidad exigida (r), la decisión debería basarse en otros criterios, como la obtención de un mejor posicionamiento en el mercado u otros factores.

Fuente: Mellado Espinoza, 2007; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

La inversión inicial tiene un valor de \$ **91512,27** dólares americanos (ve tabla 4.4), que tiene un aporte inicial subsidiado del ministerio de educación del 25% y el resto financiado por una entidad bancaria al 11,83% de interés anual en un plazo de 10 años (considerando que este valor y periodo de tiempo pueden variar según las políticas de la institución financiera). El periodo de flujo de fondos, se encuentra seleccionado según la valoración de la inversión con relación al consumo anual, de lo cual el VAN es igual a lo establecido en la tabla 4.6.

4.6.2. Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

Este criterio, evalúa el diseño fotovoltaico en función de una tasa única de rendimiento, con la totalidad de los rendimientos actualizados.

La sensibilidad marcada por la Tasa Interna de retorno obtenida del sistema, da un margen amplio de operación, con la tasa de descuento utilizada para el cálculo del VAN, es del 11,83% (ver tabla 4.7) como mínimo de interés para obtener rentabilidad, y la obtenida en la TIR es del 42,53% con lo que el rango de variación existente entre la TMAR (Tasa mínima de rendimiento aceptable) y la TIR es del 30,7%, lo que nos indica que mientras el proyecto no llegue al mínimo establecido por la TIR, esto corresponde a la máxima tasa de interés que puede pagar el proyecto para que no incurra en pérdidas.

Tabla 4.7. Estimación del VAN & TIR respecto al flujo de caja que tendrá el sistema fotovoltaico.

INVERSIÓN NETA	\$91.512	PERIODO	FLUJO NETO	TIPO DE INTERÉS	VAN	RESULTADO VAN:
SUBSIDIO DEL 25%	\$22.878	0	-\$68.634	0%	\$472.772,05	Rentable
INVERSIÓN FINANCIADA 75%	\$68.634	1	\$9844	10%	\$217.188,03	Rentable
		2	\$19688	20%	\$99.492,65	Rentable
TASA DE INTERÉS	11,83%	3	\$29531	30%	\$39.437,70	Rentable
		4	\$39375	40%	\$6.013,00	Rentable
		5	\$49219	50%	-\$14.010,05	No Rentable
		6	\$59063	60%	-\$26.774,25	No Rentable
		7	\$68906	70%	-\$35.349,37	No Rentable
		8	\$78750	80%	-\$41.370,82	No Rentable
		9	\$88594	90%	-\$45.759,98	No Rentable
		10	\$98438			
VAN		188804,82				
TIR		42,53%				

Fuente: Propia; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

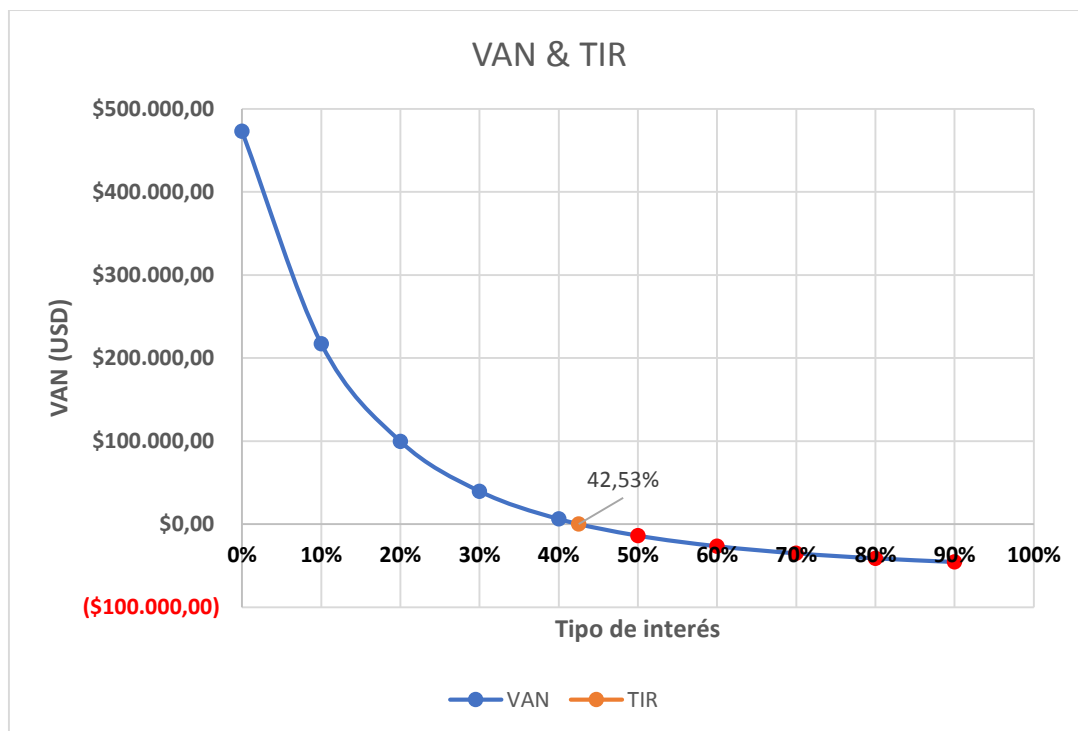


Figura 4.5. Curva del VAN & TIR, con relación al tipo de interés.

Fuente: Propia; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

Con el análisis de estos datos, concluimos que se tiene una curva ascendente, según el tipo de interés $VAN > 0$: por lo que el proyecto investigativo se puede efectuar. Se aplica un interés del 11,83%, en nuestro diseño, que es un porcentaje estimado rentable.

4.6.3. Cálculo del Periodo de Recuperación de la Inversión o Payback

Otro indicador que influye en la decisión de realizar el estudio investigativo tiene que ver con el cálculo del periodo de recuperación de la inversión, que fija mediante la suma acumulada de los flujos generados por el proyecto actualizados. El número de años necesarios para establecer una recuperación de la inversión es igual a 7 años (ver tabla 4.7).

La vida útil que tiene el sistema fotovoltaico autónomo para la unidad educativa está en el orden de los 25 años, por lo que a partir del octavo año, se genera una ganancia neta; sin embargo, hay que considerar que la vida útil de las baterías está en el promedio de 10 años y en donde se deben cambiar por unas nuevas.

CONCLUSIONES

- ✓ El histórico de energía eléctrica de unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, establece que el promedio de mayor consumo se da en el mes de enero con **1543 kW · h/mes**, debido a las actividades académicas siendo este mes del año el más crítico; mientras que el mes de menor consumo es agosto con **547 kW · h/mes**, por ser periodo de vacaciones. El consumo de energía eléctrica diaria total requerida es de **72109,46 W · h/día**, teniendo en cuenta las pérdidas inherentes de las baterías e inversor.
- ✓ La radiación solar de la unidad educativa, se obtuvo empleando un prototipo fotovoltaico a escala, el mes de mayor radiación solar es julio con **3,46 kW · h/m² · día**, a un ángulo de inclinación de **10°**, y el menor mes es abril con **2,07 kW · h/m² · día**, a un ángulo de inclinación de **45°**. Esta investigación experimental de campo permitió conocer el valor real de potencial solar fotovoltaico y establecer los parámetros de diseño.
- ✓ El comparativo entre los datos experimentales de campo estimados vs los datos tomados de la NASA, dan un margen de error de dispersión mínimo, por lo que se consideran en la investigación los datos medidos y se determina que el ángulo de inclinación es de **10°**, a una tensión nominal del sistema de **24 VDC**.
- ✓ El sistema fotovoltaico autónomo, está conformado por **76** módulos fotovoltaicos CanadianSolar CS6U-320P de **330 W** conectados en paralelo; **74** unidades de baterías monoblock de ciclo profundo Trojan J185H-AC; dos ramas en serie y **37** en paralelo, con una tensión nominal de **12 VDC**; **11** unidades reguladoras de carga (10 unidades se le conectarán 7 módulos fotovoltaicos a cada una y a una unidad 6 módulos en paralelo respectivamente) y **7** inversores/cargadores, de **12 VDC** de entrada y **120 VAC, 60 Hz** de salida, con una potencia pico de **10000 W** Victron Energy Quattro 24/5000/120-100/100. Además, cuenta las protecciones eléctricas necesarias.
- ✓ El diseño del sistema fotovoltaico autónomo es factible de realizar, pues presenta las prestaciones de servicio en el contexto de integración de los aspectos económicos-ambientales con un **VAN > 0**, (rentable) al 11,83% de interés y una **TIR = 42,53%**, que da un **TMAR = 30,7%**.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se observaron durante la verificación física del sistema eléctrico de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, que existían equipos conectados (balasto) al circuito que les faltaban las lámparas fluorescentes, es decir los gabinetes estaban vacíos lo que implica que al momento que se energiza el circuito, el balasto está activo y consume potencia reactiva, por lo que se recomienda un mantenimiento y remplazo por luminarias nuevas. Así como también, el remplazo de las luminarias y focos ahorradores que se encuentran en mal estado o rotos.
- ✓ Se recomienda, incentivar la promulgación de los sistemas fotovoltaicos autónomos, a nivel local, provincial y nacional con el propósito de satisfacer las necesidades energéticas y promover políticas amigables con el ambiente, en el ejercicio de buenas prácticas de diseño, selectividad y confiabilidad.
- ✓ En función a la gestión energética del país, se debería considerar la socialización de la Ley de régimen del sector eléctrico que en su artículo 67, señala la exoneración del: “pago de aranceles, impuestos adicionales y gravámenes que afecten a la importación de materiales y equipos no producidos en el país; para la investigación, producción, fabricación e instalación de sistemas destinados a la utilización de energía solar, eólica, biomasa, entre otras”, “el pago del impuesto a la renta, durante un periodo de cinco años a partir de su instalación a las empresas que con su inversión, instalen y operen centrales de producción de electricidad usando los recursos energéticos no convencionales”.
- ✓ Un punto estratégico, sería el establecimiento de convenios de cooperación institucionales, que fortalezcan la implementación del sistema fotovoltaico, como un proyecto piloto dentro de la ciudad de Latacunga y se consoliden alternativas coyunturales de inversión.
- ✓ Las prestaciones que tiene el sistema fotovoltaico de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría de acuerdo con el diseño planteado, en un futuro podría ser integrado sin ninguna dificultad y riesgo al sistema paralelo conectado a la red pública de la ciudad de Latacunga.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ Aguilera, J. (2011). Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos. 26. (D. d. Jaén, Ed.) Grupo IDEA.
- ✓ Aimacaña, E. (24 de Abril de 2015). Estudio y diseño de paneles solares para el abastecimiento de energía eléctrica en el Instituto Tecnológico Superior Ramón Barba Naranjo. 215. Latacunga, Ecuador.
- ✓ Cabello, M., & Sánchez, M. (2014). *Instalaciones eléctricas interiores*. EDITEX.
- ✓ Castejón, A., & Santamaría, G. (2016). *Instalaciones solares fotovoltaicas* (2 ed.). EDITEX.
- ✓ Consejo Nacional de Electricidad [CONELEC]. (Agosto de 2008). *Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica*. Quito, Pichincha, Ecuador: CIE.
- ✓ Cuervo, R., & Méndez, J. (2007). *Energía Solar Fotovoltaica* (Vol. 2). Madrid, España: FUNDACIÓN CONFEMETAL.
- ✓ Díaz Corcobado, T., & Carmona Rubio, G. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas* (1 ed.). España: McGraw-Hill Interamericana.
- ✓ Domínguez, H. (22 de Noviembre de 2012). Diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el COBAEV 35 Xalapa. México DF, México.
- ✓ Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central [FOCER]. (Septiembre de 2008). Solar fotovoltaica. *Manual sobre energía renovable*, 42. San José, Costa Rica.
- ✓ Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables [INER]. (2016). Solar. *Energías Renovables*, 10.
- ✓ Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, [IDAE]. (23 de abril de 2011). *Índice Plan de Acción Nacional de Energías Renovables 2011-2020*. Madrid, España.
- ✓ Mateo, M. (2016). Gestión del montaje de instalaciones solares fotovoltaicas. *Gestión del montaje de instalaciones solares fotovoltaicas*, 1, 272.
- ✓ Mellado, M. (2007). *Evaluación de proyectos de inversión*. Santiago de Chile: Universidad Central de Chile.
- ✓ Mesias, D. (Julio de 2014). Diseño de un sistema solar fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica en el nuevo campus de la Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga. Latacunga, Cotopaxi, Ecuador: ESPE-L.
- ✓ Ministerio de Electricidad y Energía Renovable [MEER] & Consejo Nacional de Electricidad [CONELEC]. (2012). *Plan maestro de electrificación 2012-2021*. Quito, Pichincha, Ecuador: CIE.

- ✓ Orbegozo, C., & Arivilca, R. (2010). Energía Solar Fotovoltaica. En *Manual técnico para instalaciones domiciliarias* (pág. 49). ded.
- ✓ Perales, T. (2012). *El Universo de las energías renovables*. Barcelona: MARCOMBO, Primera Edición.
- ✓ Renewable Energy Policy Network for the 21st Century [REN21]. (2016). Reporte de la situación mundial. *Energías Renovables 2016*, 32. Obtenido de <http://www.ren21.net/>

ANEXOS

Anexo 1. Indicadores de energía renovable, año 2015.	98
Anexo 2. Instrumento de validación de la propuesta.	99
Anexo 3. Capacidad y adiciones anuales de energía solar fotovoltaica, 2005–2015.	102
Anexo 4. Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica, 2008.	103
Anexo 5. Relación entre variables, dimensiones, indicadores e ítems.	104
Anexo 6. Calidad técnica y representatividad.	107
Anexo 7. Lenguaje.	110
Anexo 8. Latitud y longitud.	113
Anexo 9. Esfera celeste y coordenadas solares.	113
Anexo 10. Fichas de observación.	114
Anexo 11. Factura del consumo eléctrico de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”. ..	116
Anexo 12. Layout de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.	117
Anexo 13. Radiación solar directa tomada con el prototipo fotovoltaico en la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.	118
Anexo 14. Intensidades admisibles en conductores de instalaciones al aire y enterradas.	120
Anexo 15. Métodos de instalación de referencia.	121
Anexo 16. Factor de corrección para instalaciones al aire y temperatura distinta de 40°C... 121	
Anexo 17. Factor de corrección por agrupamiento de conductores.	121
Anexo 18. Módulos fotovoltaicos CanadianSolar MAXPOWER CS6U-320P de 330 W... 122	
Anexo 19. Baterías monoblock Trojan J185H-AC.	123
Anexo 20. Victron Energy SmartSolar MPPT 150/85.	124
Anexo 21. Victron Energy Quattro 24/5000/120-100/100.	125
Anexo 22. Cable EXZHELLENT SOLAR XZ1FA3Z-K (AS) 1,8 kV DC.	126
Anexo 23. Cable de baja tensión RZ1-K (AS) de 0,6/1 kV.	127
Anexo 24. Fusible y base portafusibles (gPV & gG).	128
Anexo 25. Interruptor seccionador de 8 polos + neutro.	129
Anexo 26. Interruptores automáticos diferenciales e interruptores automáticos magnetotérmicos.	130
Anexo 27. Diagrama esquemático y de conexionado sistema fotovoltaico de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.	131

Anexo 1. Indicadores de energía renovable, año 2015.

		2014	2015
INVERSIONES			
Inversiones nuevas (anuales) en electricidad y combustibles renovables ¹	Miles de millones de dólares (USD)	273	285,9
ELECTRICIDAD			
Capacidad de electricidad renovable (total, sin incluir hidráulica)	GW	665	785
Capacidad de energía renovable (total, incluyendo energía hidráulica)	GW	1.701	1.849
≈ Capacidad de energía hidráulica ²	GW	1.036	1.064
✚ Capacidad de bioenergía ³	GW	101	106
✚ Generación de bioenergía (anual)	TWh	429	464
⚡ Capacidad de energía geotérmica	GW	12,9	13,2
☀️ Capacidad de energía solar FV	GW	177	227
☀️ Energía solar térmica de concentración	GW	4,3	4,8
🌬️ Capacidad de energía eólica	GW	370	433
☀️ Capacidad de calentamiento solar de agua ⁴	GW _{th}	409	435
TRANSPORTE			
✚ Producción de etanol (anual)	billones de litros	94,5	98,3
✚ Producción de biodiésel (anual)	billones de litros	30,4	30,1
POLÍTICAS			
Países con objetivos de políticas	#	164	173
Estados / provincias / países con políticas de balances netos	#	110	110
Estados / provincias / países con RPS / políticas de cuota	#	98	100
Países con licitaciones / permisos públicos competitivos ⁵	#	60	64
Países con obligaciones/mandatos de calefacción	#	21	21
Estados con mandatos de biocombustibles ⁶	#	64	66

¹ Los datos sobre inversiones provienen Bloomberg New Energy Finance e incluyen: todos los proyectos de generación de electricidad a partir de biomasa, energía geotérmica y eólica mayores a 1MW; todos los proyectos hidráulicos entre 1 y 50 MW; todos los proyectos de energía solar (donde aquellos menores a 1 MW se estiman por separado y se refieren como proyectos de pequeña escala o de capacidad distribuida menor); todos los proyectos de energía oceánica y todos los proyectos con una producción anual de capacidad de 1 millón de litros o más.

² El GSR 2015 reportó un total mundial de 1055 GW de capacidad hidráulica a finales de 2014. El valor de 1036 GW aquí mostrado refleja la diferencia completa entre la capacidad existente a finales de 2015 (1064 GW) y las instalaciones nuevas en 2015 (28 GW). La capacidad a finales de 2014 pudo superar los 1036 GW si se considera la cantidad indeterminada de retiros de capacidad y la repotenciación de plantas que se dio durante el año. Note también que el GSR se esfuerza en excluir la capacidad bombeada de almacenamiento proveniente de los datos de capacidad hidráulica.

³ La capacidad de bioenergía para el 2014 se ajustó a la alza con respecto a los datos GSR del 2015 para así presentar los datos más recientes disponibles.

⁴ Los datos incluyen exclusivamente aquellos relacionados a la capacidad de calentamiento de agua solar generada por colectores de agua. La cifra de 2015 es una estimación preliminar.

⁵ Los datos de licitación / licitación pública representan a todos los países que han ofertado en cualquier momento del año indicado.

⁶ Las políticas de biocombustibles incluyen tanto las políticas enumeradas en la columna de obligación/mandato para biocombustibles presentados en la Tabla 4 (Políticas de apoyo para energías renovables) y en Referencia. La tabla R25 (Mandatos de mezcla de biocombustibles a nivel nacional y estatal). Se consideran aquellos países que cuentan con al menos con una política nacional o estatal/provincial Política en vigor.

Nota: Todos los valores se redondean a números enteros, excepto para los números <15; en biocombustibles e inversiones, se redondean a decimales.

Fuente: Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21) 2016.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSTGRADO

Anexo 2. Instrumento de validación de la propuesta.

TÍTULO DE LA PROPUESTA: Evaluación del potencial solar fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi. Propuesta del diseño de un sistema fotovoltaico autosustentable.

3 = MUY SATISFACTORIO	2 = SATISFACTORIO	1 = POCO SATISFACTORIO
-----------------------	-------------------	------------------------

ASPECTOS	3	2	1	OBSERVACIONES
1. EL TEMA: <ul style="list-style-type: none"> • Identificación de la propuesta. • Originalidad. • Impacto. 	✓			
2. OBJETIVO: <ul style="list-style-type: none"> • Determinación clara y concisa. • Factibilidad. • Utilidad. 	✓			
3. JUSTIFICACIÓN: <ul style="list-style-type: none"> • Contribuye a mejorar la organización. • Contribuye un aporte para la institución o empresa. 	✓			
4. FUNDAMENTACIÓN TEORICA: <ul style="list-style-type: none"> • Se fundamenta en teorías científicas contemporáneas. • Los conceptos son de fácil comprensión. • Utiliza terminología básica y específica. 	✓			
5. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA: <ul style="list-style-type: none"> • Presenta un orden lógico. • Tiene coherencia entre si los componentes de la propuesta. • Se ajusta a la realidad del contexto social. • Es sugestivo e interesante. • Es de fácil manejo. 	✓			
TOTAL				

VALIDADO POR:	Nombre: <i>Segundo Angel Cevallos Betin</i>		
Área de Trabajo.	Título Profesional.	Cargo u Ocupación.	Año de Experiencia.
<i>FCIYA</i>	<i>Magister en Gestión de la Producción</i>	<i>Docente-Investigador</i>	<i>13</i>
Observaciones:			
Fecha:	Telf.:	Dirección del Trabajo:	C.I:
<i>17/07/2017</i>	<i>0994793325</i>	<i>Av. Simón Rodríguez s/n.</i>	<i>0501782437</i>

f:
VALIDADOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSTGRADO

TÍTULO DE LA PROPUESTA: Evaluación del potencial solar fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi. Propuesta del diseño de un sistema fotovoltaico autosustentable.

3 = MUY SATISFACTORIO	2 = SATISFACTORIO	1 = POCO SATISFACTORIO
-----------------------	-------------------	------------------------

ASPECTOS	3	2	1	OBSERVACIONES
1. EL TEMA: <ul style="list-style-type: none"> • Identificación de la propuesta. • Originalidad. • Impacto. 	✓			
2. OBJETIVO: <ul style="list-style-type: none"> • Determinación clara y concisa. • Factibilidad. • Utilidad. 	✓			
3. JUSTIFICACIÓN: <ul style="list-style-type: none"> • Contribuye a mejorar la organización. • Contribuye un aporte para la institución o empresa. 	✓			
4. FUNDAMENTACIÓN TEORICA: <ul style="list-style-type: none"> • Se fundamenta en teorías científicas contemporáneas. • Los conceptos son de fácil comprensión. • Utiliza terminología básica y específica. 	✓			
5. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA: <ul style="list-style-type: none"> • Presenta un orden lógico. • Tiene coherencia entre si los componentes de la propuesta. • Se ajusta a la realidad del contexto social. • Es sugestivo e interesante. • Es de fácil manejo. 	✓			
TOTAL	5			

VALIDADO POR:	Nombre: <i>Gustavo Rodríguez Bécera</i>		
Área de Trabajo: <i>UTC-CIYA</i>	Título Profesional: <i>Ing. Mecánico</i>	Cargo u Ocupación: <i>Docente</i>	Año de Experiencia: <i>14</i>
Observaciones:			
Fecha: <i>17-07-2017</i>	Telf.: <i>0987658959</i>	Dirección del Trabajo: <i>Latacunga</i>	C.I: <i>1757001351</i>

f:
VALIDADOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSTGRADO

TÍTULO DE LA PROPUESTA: Evaluación del potencial solar fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”, de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi. Propuesta del diseño de un sistema fotovoltaico autosustentable.

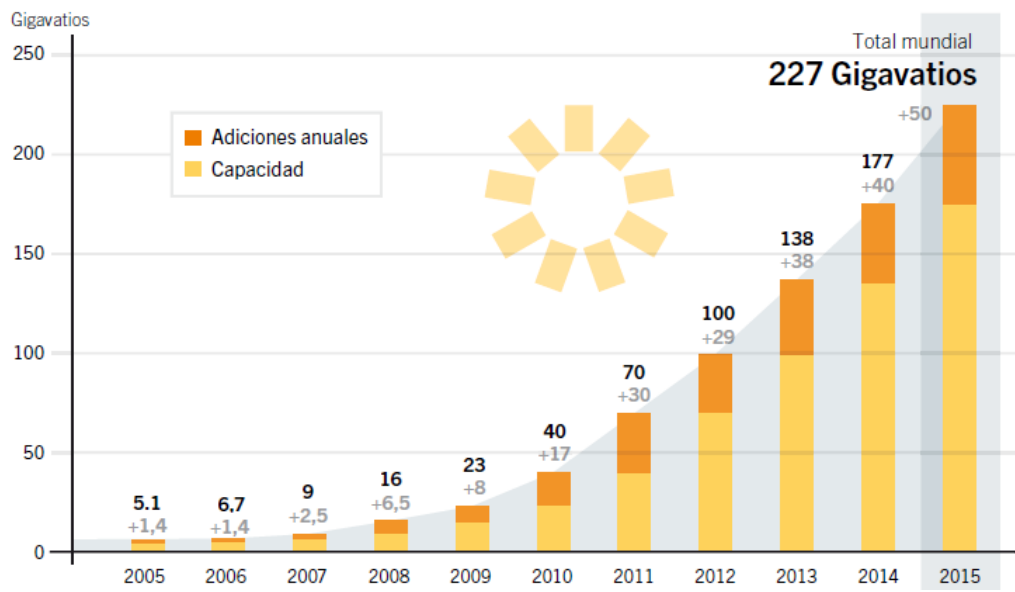
3 = MUY SATISFACTORIO	2 = SATISFACTORIO	1 = POCO SATISFACTORIO
-----------------------	-------------------	------------------------

ASPECTOS	3	2	1	OBSERVACIONES
1. EL TEMA: <ul style="list-style-type: none"> • Identificación de la propuesta. • Originalidad. • Impacto. 	✓			
2. OBJETIVO: <ul style="list-style-type: none"> • Determinación clara y concisa. • Factibilidad. • Utilidad. 	✓			
3. JUSTIFICACIÓN: <ul style="list-style-type: none"> • Contribuye a mejorar la organización. • Contribuye un aporte para la institución o empresa. 	✓			
4. FUNDAMENTACIÓN TEORICA: <ul style="list-style-type: none"> • Se fundamenta en teorías científicas contemporáneas. • Los conceptos son de fácil comprensión. • Utiliza terminología básica y específica. 	✓			
5. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA: <ul style="list-style-type: none"> • Presenta un orden lógico. • Tiene coherencia entre si los componentes de la propuesta. • Se ajusta a la realidad del contexto social. • Es sugestivo e interesante. • Es de fácil manejo. 	✓			
TOTAL				

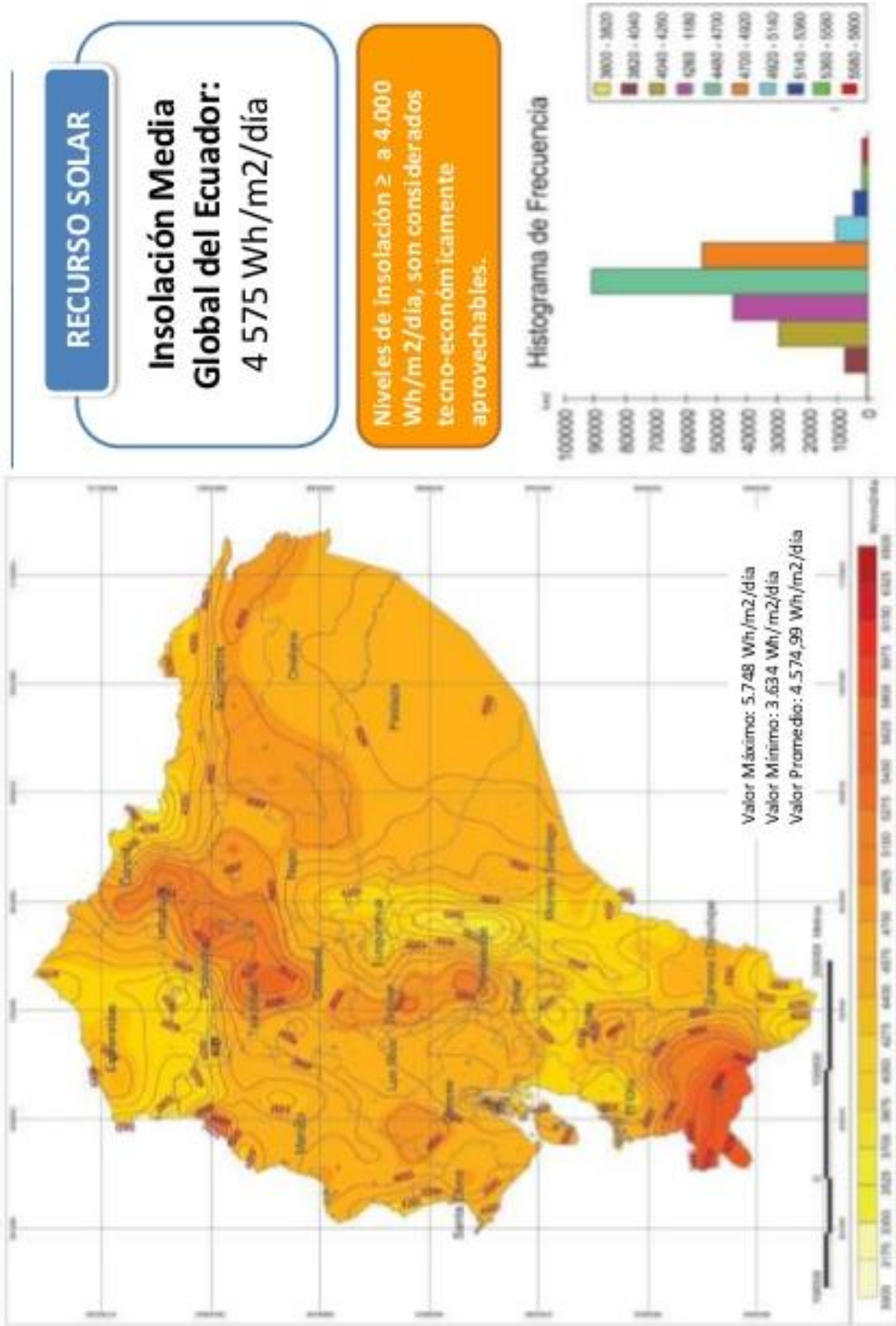
VALIDADO POR:	Nombre: <i>Cristian Fabian Cullar do Malin.</i>		
Área de Trabajo.	Título Profesional.	Cargo u Ocupación.	Año de Experiencia.
<i>UTC - CIJA</i>	<i>MASTER GESTION ENERGIA</i>	<i>DOCENTE</i>	<i>5 AÑO</i>
Observaciones:			
Fecha:	Telf.:	Dirección del Trabajo:	C.I:
<i>17-07-2017</i>	<i>098469881</i>	<i>Av Simón Rodríguez</i>	<i>050284169-2</i>

f.
VALIDADOR

Anexo 3. Capacidad y adiciones anuales de energía solar fotovoltaica, 2005–2015.



Fuente: REN21, 2016.




Fuente: CONELEC, CIE.



Anexo 5. *Relación entre variables, dimensiones, indicadores e ítems.*

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS		
P = PERTINENTE		NP = NO PERTINENTE
ITEMS	A	OBSERVACIONES
1	P	
2	P	
3	P	
4	P	
5	P	
6	P	
7	P	
8	P	
9	P	
10	P	
11	P	
12	P	
13	P	
14	P	
15	P	
16	P	
17	P	
18	P	

f:.....


VALIDADOR

CI:.....0509782437.....

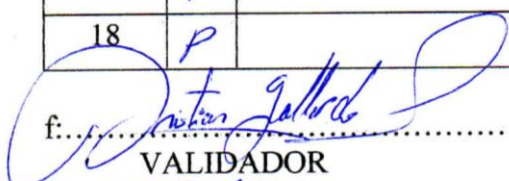


RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS		
P = PERTINENTE		NP = NO PERTINENTE
ITEMS	A	OBSERVACIONES
1	P	
2	P	
3	P	
4	P	
5	P	
6	P	
7	P	
8	P	
9	P	
10	P	
11	P	
12	P	
13	P	
14	P	
15	P	
16	P	
17	P	
18	P	

f:.....
VALIDADOR
CI.: 179001357.....



RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS		
P = PERTINENTE		NP = NO PERTINENTE
ITEMS	A	OBSERVACIONES
1	P	
2	P	
3	P	
4	P	
5	P	
6	P	
7	P	
8	P	
9	P	
10	P	
11	P	
12	P	
13	P	
14	P	
15	P	
16	P	
17	P	
18	P	

f: 
VALIDADOR
CI.: 050284769 - 2



Anexo 6. *Calidad técnica y representatividad.*

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD			
O= OPTIMA	B= BUENA	R= REGULAR	D= DEFICIENTE
ITEMS	B	OBSERVACIONES	
1	0		
2	0		
3	0		
4	0		
5	0		
6	0		
7	0		
8	0		
9	0		
10	0		
11	0		
12	0		
13	0		
14	0		
15	0		
16	0		
17	0		
18	0		

f:.....
VALIDADOR
CI:.....0501782437.....



CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD			
O= OPTIMA	B= BUENA	R= REGULAR	D= DEFICIENTE
ITEMS	B	OBSERVACIONES	
1	0		
2	0		
3	0		
4	0		
5	0		
6	0		
7	0		
8	0		
9	0		
10	0		
11	0		
12	0		
13	0		
14	0		
15	0		
16	0		
17	0		
18	0		

f. 

VALIDADOR

Cl.: 1759001357



CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD			
O= OPTIMA	B= BUENA	R= REGULAR	D= DEFICIENTE
ITEMS	B	OBSERVACIONES	
1	0		
2	0		
3	0		
4	0		
5	0		
6	0		
7	0		
8	0		
9	0		
10	0		
11	0		
12	0		
13	0		
14	0		
15	0		
16	0		
17	0		
18	0		

f. 
VALIDADOR
CI.: 05.2284161-2




Anexo 7. Lenguaje.

LENGUAJE		
A= ADECUADO		I= INADECUADO
ITEMS	C	OBSERVACIONES
1	A	
2	A	
3	A	
4	A	
5	A	
6	A	
7	A	
8	A	
9	A	
10	A	
11	A	
12	A	
13	A	
14	A	
15	A	
16	A	
17	A	
18	A	

f. 
VALIDADOR
Cl. 0501782437



LENGUAJE		
A= ADECUADO		I= INADECUADO
ITEMS	C	OBSERVACIONES
1	A	
2	A	
3	A	
4	A	
5	A	
6	A	
7	A	
8	A	
9	A	
10	A	
11	A	
12	A	
13	A	
14	A	
15	A	
16	A	
17	A	
18	A	

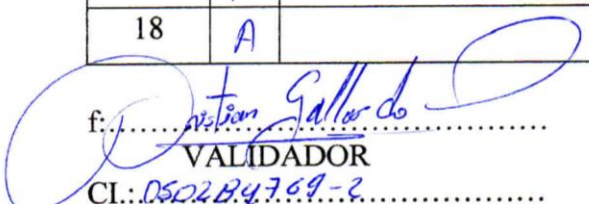
f:.....


VALIDADOR

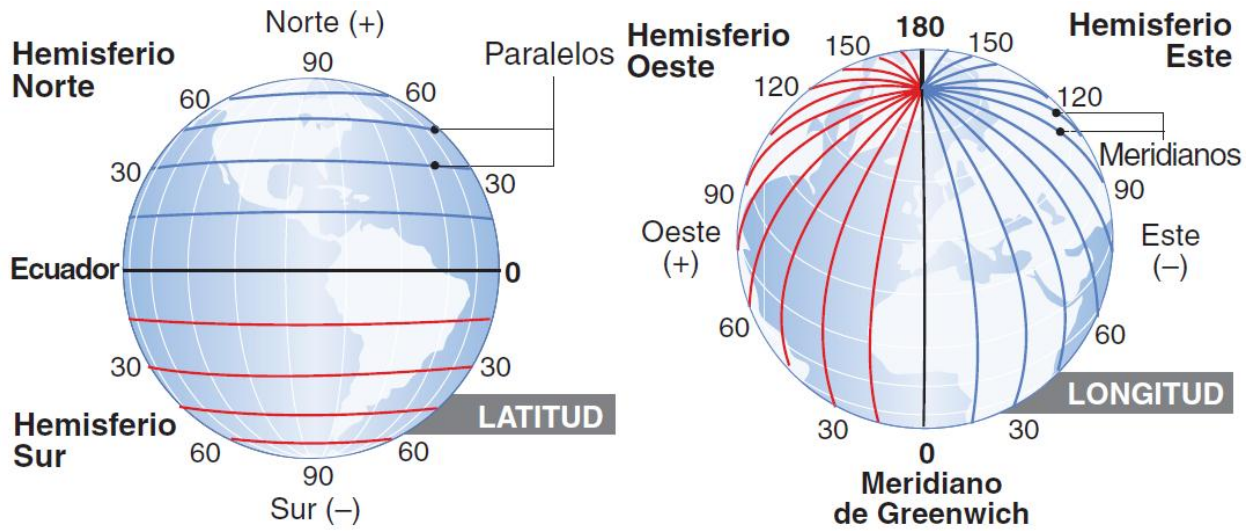
CI:..175.700.1357.....



LENGUAJE		
A= ADECUADO		I= INADECUADO
ITEMS	C	OBSERVACIONES
1	A	
2	A	
3	A	
4	A	
5	A	
6	A	
7	A	
8	A	
9	A	
10	A	
11	A	
12	A	
13	A	
14	A	
15	A	
16	A	
17	A	
18	A	

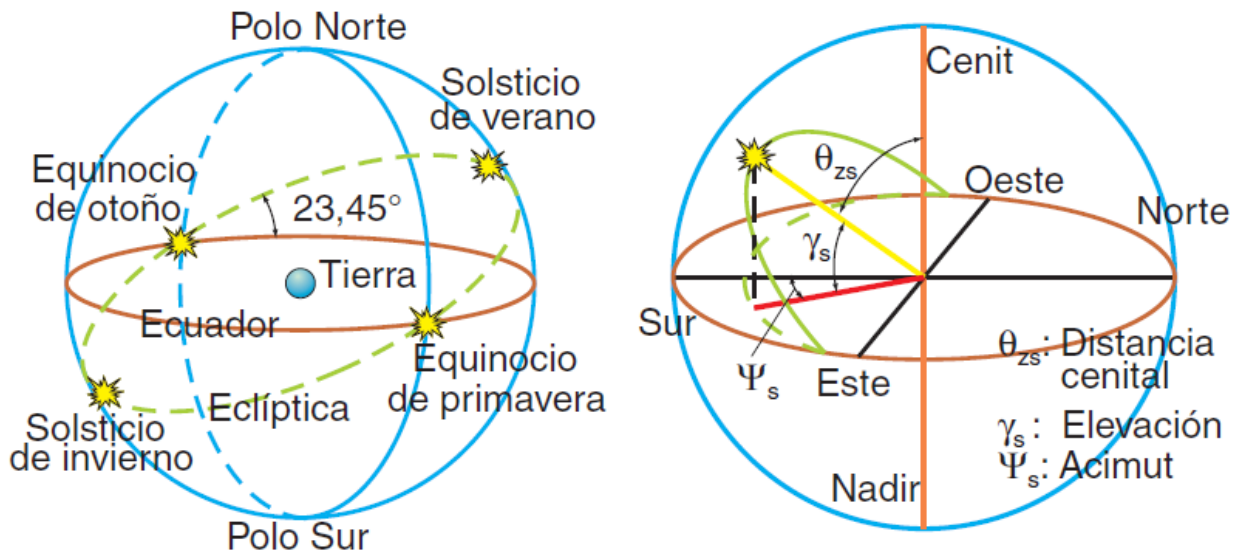
f: 
VALIDADOR
CI.: 050284769-2

Anexo 8. *Latitud y longitud.*



Fuente: Instalaciones solares fotovoltaicas de Castejón & Santamaría, 2016.

Anexo 9. *Esfera celeste y coordenadas solares.*



Fuente: Instalaciones solares fotovoltaicas de Castejón & Santamaría, 2016.

Anexo 10. Fichas de observación.

FICHA DE OBSERVACIÓN							
FICHA N°	01-001	FECHA INICIO:	2/08/2016	FECHA FINALIZACIÓN:	2/08/2016	DURACIÓN:	00:45 h
ELABORADA POR:	Osmar Fabián Mosquera Palacios						
LUGAR:	Unidad Educativa "Juan Abel Echeverría"						
TIEMPO	LO OBSERVADO						
8:00 a. m.	1. Conversación con el Msc. William Changotasig M. rector de la unidad educativa, acerca del estudio investigativo "Evaluación del potencial solar térmico para la generación de energía eléctrica en la unidad educativa "Juan Abel Echeverría", de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi. Propuesta del diseño de un sistema fotovoltaico autosustentable".						
8:15 a. m.	2. Aceptación de la propuesta investigativa, en miras de un desarrollo conjunto.						
8:15 a. m.	3. Información proporcionada por el rector acerca de la estructuración administrativa y académica del plantel						
8:30 a. m.	3. Observación del entorno de la institución (percepción de la energía radiante)						
PALABRAS CLAVES:	Aceptación de la propuesta investigativa.						

Fuente: Propia, elaborada por: Osmar Mosquera Palacios

FICHA DE OBSERVACIÓN							
FICHA N°	01-002	FECHA INICIO:	3/08/2016	FECHA FINALIZACIÓN:	30/08/2016	DURACIÓN:	20 días
ELABORADA POR:	Osmar Fabián Mosquera Palacios						
LUGAR:	Unidad Educativa "Juan Abel Echeverría"						
TIEMPO	LO OBSERVADO						
12:00 a. m.	1. Presentación con el personal docente que me brindará el apoyo necesario en la investigación (Ing. Henry Tapia e Ing. Marco Carrera.						
12:15 a. m.	2. Dialogo con el Ing. Henry Tapia, encargado de la parte eléctrica y electrónica de la institución, quien me brindó su ayuda y colaboración en datos puntuales.						
1:15 a. m.	3. Toma de datos del sector eléctrico de la institución (fotografías del transformador principal).						
	4. Luego de la inspección del sistema eléctrico de la unidad educativa, constaté que hay algunas instalaciones que necesitaban mantenimiento, como el cambio inmediato de algunas lámparas fluorescentes y focos ahorradores que debían ser sustituidos por estar rotos, otros no se encontraban instalados o en otros casos cumplieron su vida útil, estos casos se presentaron en las aulas y pasillos.						
	5. Los parlantes en algunas las aulas se encuentran desconectados, se recomienda la reinslación de estos equipos y su correcta ubicación, a fin de conservar su capacidad operativa.						
	6. Existen algunas luces led del jardín que se encuentran sin su cubierta, lo que ha ocasionado que sufran daños por el polvo, la corrosión y el agua; se recomienda el corrienmiento de este inconveniente, remplazando su hermeticidad con respuestos nuevos.						
	7. El cableado que llega al medidor eléctrico se encuentra amontonado y disperso, por lo que un acondicionamiento de tanto en lo estético como en la seguridad, que brinde al sistema.						
	8. Se pudo observar, específicamente en las aulas que se encontraban sin estudiantes y docente, se encontraban encendidas las luces; por lo que se recomendó hacer una consentización en el medio para que existan políticas de ahorro sustancial de energía eléctrica.						
PALABRAS CLAVES:	Datos del sector eléctrico.						

Fuente: Propia, elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

FICHA DE OBSERVACIÓN							
FICHA N°	01-003	FECHA INICIO:	6/02/2016	FECHA FINALIZACIÓN:	25/02/2016	DURACIÓN:	15 días
ELABORADA POR:	Osmar Fabián Mosquera Palacios						
LUGAR:	Unidad Educativa "Juan Abel Echeverría"						
TIEMPO	LO OBSERVADO						
8:00 a. m.	1. Petición al rector de la unidad educativa, que me facilite el permiso de realizar las mediciones de radiación solar.						
	2. Aceptación de la petición señalada.						
	3. Toma de los datos de corrientes de cortocircuito (Isc) y Voltaje en circuito abierto (Voc), utilizando el prototipo fotovoltaico de capacidad de 20 Wp mediante un voltímetro. Consecuentemente se tomó la temperatura a diferentes ángulos de inclinación. (Archivo digital y fotográfico).						
17:55:00 p. m.	4. Se comprobó los cambios y variones que se tenía a medida que transcurrían las mediciones a lo largo del día, y la influencia que tiene la nubosidad y el viento en la capacidad de captación solar.						
18:00:00 p. m.	5. Finalización de la jornada de trabajo, esto se efectuó por un perdio de tres semanas consecutivas.						
PALABRAS CLAVES:	Mediciones de radiación solar, prototipo fotovoltaico.						

Fuente: Propia, elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

Anexo 11. Factura del consumo eléctrico de la unidad educativa "Juan Abel Echeverría".



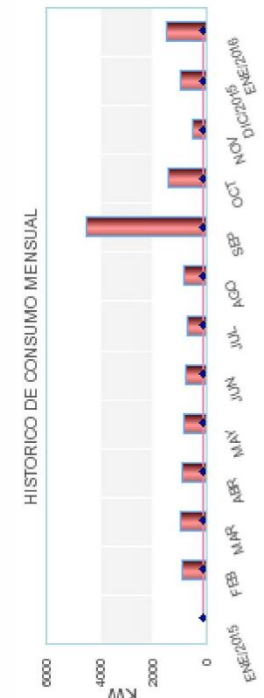
energía para el buen vivir

EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI S.A. ELEPCOSA
 R.U.C.: 05900042110001
 DIR. MATRIZ: MARQUES DE MAENZA 5-44 Y QUIJANO Y ORDOÑEZ
 TELEFONO: 032812630, 032812640, 032812650, 032812660
 CONTRIBUYENTE ESPECIAL NRO.: 4591
 OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD : SI

FACTURA No.: 001-020-001130579
 AUTORIZACIÓN SRI: 1202201620010905900421100014241325700 ::: 2016-02-12T20:01:09-05:00
 MES DE CONSUMO: ENERO/2016 --- FECHAS : Emisión : 2016-01-31 Vencimiento : 2016-02-27

INFORMACION DEL CONSUMIDOR			
Razón Social/Apellidos y Nombres: DIRECCION DISTRITAL 05D01 LATA EDUCACION	Código Único Eléctrico Nacional: 0600154826		
R.U.C./C.I.: 0560038940001	Dirección de Servicio: E ALFARO EL EJIDO		
Dirección de Notificación: E ALFARO EL EJIDO	Parroquia: Eloy Alfaro		
Correo Electrónico: cbsimonrodriguez@hotmail.com	Medidor: 30653		
Provincia: COTOPAXI	Cantón: LATACUNGA		
Ciudad: 132503	Cuenta: 154826		
Lect.Ant.: 79,222	Lect.Act.: 0	Consumo.KWH.: 1,543	Días: 31
Fac.Potenc.: 0	Dem.Factura: 0	Dem.Mes.: 0	P.I.T.: 30

FACTURACION SERVICIO ELECTRICO Y ALUMBRADO PUBLICO			
DESCRIPC.	LEC.ANT.	LEC.ACT.	CONSUMO
BASE:	0	0	
VALLE:	0	0	
PICO:	0	0	
FENADO:	0	0	
REACTIVA:	0	0	



Concepto	Val. Unit.	Desc.	Impuesto	Valor Total
Consumo + PIT	\$ 89.11	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 89.11
Comercializaci	\$ 1.41	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 1.41
Recar.Recup.Cartera	\$ 0.84	\$ 0.00	\$ 0.10	\$ 0.94
Alumbrado Público	\$ 15.61	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 15.61
SUBTOTAL SERVICIO ELECTRICO (A):				\$ 107.07
SUBTOTAL 12%				\$ 0.84
SUBTOTAL 0%				\$ 106.13
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS				\$ 106.97
IVA 12%				\$ 0.10
(A) SERV.ELECT.(Factura)				\$ 107.07
C-VALORES PENDIENTES				\$ 98.67
(D)TOT.SERVICIO.ELECTRIC.				\$ 175.68

VALORES PENDIENTES		PLANES DE FINANCIAMIENTO	
MESES IMPAGOS	1	RUBRO	CONTRATO
(C) VALOR ADEUDADO	\$ 88.67	COCINA DE INDUCCION	VAL.ADEUDADA
* Valores a la Fecha de Emisión		PLAN RENOVIA	\$ 0.00
		(E) TOTAL PLANES FINANCIAMIENTO	\$ 0.00

*** SUBSIDIO DEL ESTADO ***	
FABRICA DE LA DIGNIDAD	\$ 0.00
COCCION ELECTRICA*	\$ 0.00
CALENTAMIENTO DE AGUA:	\$ 0.00
TOTAL AHORRO:	\$ 0.00

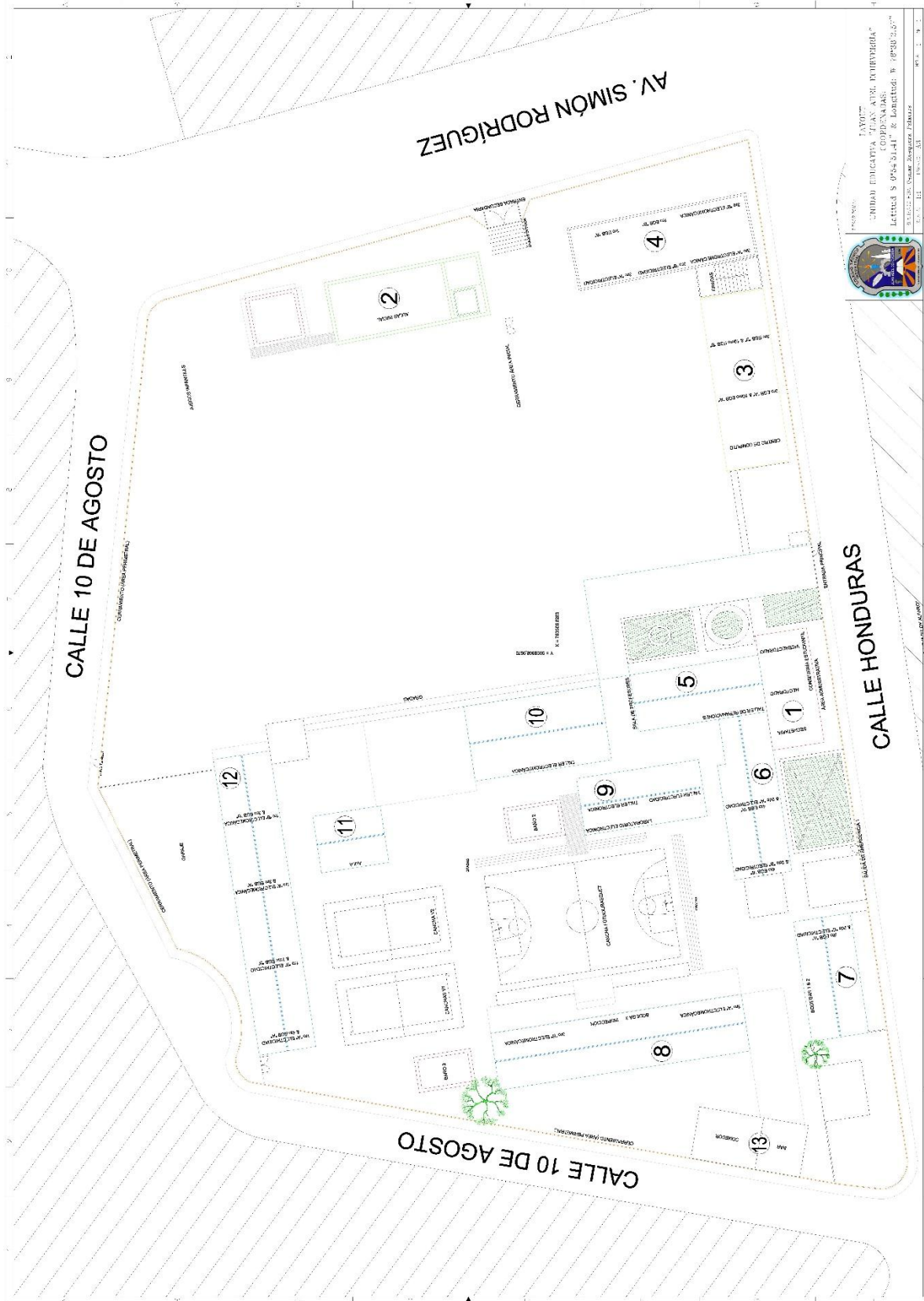
(F) ORDENES DE COBROS POR CUENTA DE TERCEROS			
ESTOS VALORES NO FORMAN PARTE DE LOS INGRESOS DE LA EMPRESA ELECTRICA			
Concepto	Val. Unit.	Desc.	Imp.
			Val.Total

*** RESUMEN DE VALORES A PAGAR ***	
(D)TOT.SERVICIO.ELECTRIC.	\$ 175.68
(+E) TOT.PLANES.FINANCIAM.	\$ 0.00
(+F) TOT.COBRRO.TERCEROS	\$ 0.00
TOTAL A PAGAR	\$ 175.68

CLAVE DE ACCESO:
 3101201601059004211000120010200011305792005091118



Anexo 12. Layout de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.



Fuente: Propia; elaborado por: Osmar Mosquera Palacios.

Anexo 13. Radiación solar directa tomada con el prototipo fotovoltaico en la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.

DÍAS	HORAS	Grados Inclinación (°)	Voltaje	Corriente	Temperatura	Potencia	Hora	Radiación (kW.h/m ²)
			(V)	(I)	°C	(W)		
Lunes 15/05/2017	6:00 a. m. a 7:00 a. m.	10°	20,4	0,09	11°	1,836	1	0,152
	7:00 a. m. a 8:00 a. m.	10°	20,9	0,19	13°	3,971	1	0,328
	8:00 a. m. a 9:00 a. m.	10°	20,8	0,17	15°	3,536	1	0,293
	9:00 a. m. a 10:00 a. m.	10°	21,1	0,99	34°	20,889	1	1,728
	10:00 a. m. a 11:00 a. m.	10°	21,9	1,11	29°	24,309	1	2,011
	11:00 a. m. a 12:00 p. m.	10°	21	1,03	28°	21,630	1	1,789
	12:00 p. m. a 13:00 p. m.	10°	20,9	1,16	25°	24,244	1	2,006
	13:00 p. m. a 14:00 p. m.	10°	21,7	1,35	30°	29,295	1	2,423
	14:00 p. m. a 15:00 p. m.	10°	21,6	0,99	28°	21,384	1	1,769
	15:00 p. m. a 16:00 p. m.	10°	21,1	0,99	33°	20,889	1	1,728
	16:00 p. m. a 17:00 p. m.	10°	21,3	1,05	30°	22,365	1	1,850
	17:00 p. m. a 18:00 p. m.	10°	18,7	0,03	19°	0,561	1	0,046
Martes 16/05/2017	6:00 a. m. a 7:00 a. m.	10°	19,7	0,04	15°	0,788	1	0,065
	7:00 a. m. a 8:00 a. m.	10°	20,5	0,1	11°	2,050	1	0,170
	8:00 a. m. a 9:00 a. m.	10°	20,9	0,21	15°	4,389	1	0,363
	9:00 a. m. a 10:00 a. m.	10°	21,8	1,31	25°	28,558	1	2,362
	10:00 a. m. a 11:00 a. m.	10°	21,7	1,17	25°	25,389	1	2,100
	11:00 a. m. a 12:00 p. m.	10°	21,9	1,39	28°	30,441	1	2,518
	12:00 p. m. a 13:00 p. m.	10°	21,9	1,82	35°	39,858	1	3,297
	13:00 p. m. a 14:00 p. m.	10°	21,4	1,3	33°	27,820	1	2,301
	14:00 p. m. a 15:00 p. m.	10°	21,9	1,41	27°	30,879	1	2,554
	15:00 p. m. a 16:00 p. m.	10°	21,2	0,79	31°	16,748	1	1,385
	16:00 p. m. a 17:00 p. m.	10°	21,2	0,67	25°	14,204	1	1,175
	17:00 p. m. a 18:00 p. m.	10°	20,9	0,25	17°	5,225	1	0,432
Miércoles 17/05/2017	6:00 a. m. a 7:00 a. m.	10°	20,2	0,07	10°	1,414	1	0,117
	7:00 a. m. a 8:00 a. m.	10°	20	0,87	14°	17,400	1	1,439
	8:00 a. m. a 9:00 a. m.	10°	21,1	0,94	26°	19,834	1	1,641
	9:00 a. m. a 10:00 a. m.	10°	19,9	0,17	21°	3,383	1	0,280
	10:00 a. m. a 11:00 a. m.	10°	19,9	0,73	33°	14,527	1	1,202
	11:00 a. m. a 12:00 p. m.	10°	21,4	0,49	22°	10,486	1	0,867
	12:00 p. m. a 13:00 p. m.	10°	20,4	0,39	27°	7,956	1	0,658
	13:00 p. m. a 14:00 p. m.	10°	20,5	0,56	26°	11,480	1	0,950
	14:00 p. m. a 15:00 p. m.	10°	21,4	1,31	31°	28,034	1	2,319
	15:00 p. m. a 16:00 p. m.	10°	21,1	0,99	33°	20,889	1	1,728
	16:00 p. m. a 17:00 p. m.	10°	19,9	0,09	18°	1,791	1	0,148
	17:00 p. m. a 18:00 p. m.	10°	20	0,08	16°	1,600	1	0,132
Jueves 18/05/2017	6:00 a. m. a 7:00 a. m.	10°	19,6	0,03	14°	0,588	1	0,049
	7:00 a. m. a 8:00 a. m.	10°	19,8	0,05	14°	0,990	1	0,082
	8:00 a. m. a 9:00 a. m.	10°	21	0,23	13°	4,830	1	0,400
	9:00 a. m. a 10:00 a. m.	10°	20,8	0,18	14°	3,744	1	0,310
	10:00 a. m. a 11:00 a. m.	10°	21,9	1,11	30°	24,309	1	2,011
	11:00 a. m. a 12:00 p. m.	10°	21,1	1,00	33°	21,100	1	1,745
	12:00 p. m. a 13:00 p. m.	10°	20,4	0,4	30°	8,160	1	0,675
	13:00 p. m. a 14:00 p. m.	10°	20,4	0,5	31°	10,200	1	0,844
	14:00 p. m. a 15:00 p. m.	10°	20,9	1,20	33°	25,080	1	2,075
	15:00 p. m. a 16:00 p. m.	10°	19,9	0,27	31°	5,373	1	0,444
	16:00 p. m. a 17:00 p. m.	10°	21,2	0,47	25°	9,964	1	0,824
	17:00 p. m. a 18:00 p. m.	10°	18,7	0,03	23°	0,561	1	0,046

Viernes 19/05/2017	6:00 a. m. a 7:00 a. m.	10°	19,7	0,04	15°	0,788	1	0,065
	7:00 a. m. a 8:00 a. m.	10°	19,9	0,05	12°	0,995	1	0,082
	8:00 a. m. a 9:00 a. m.	10°	21	0,19	13°	3,990	1	0,330
	9:00 a. m. a 10:00 a. m.	10°	20,8	0,15	12°	3,120	1	0,258
	10:00 a. m. a 11:00 a. m.	10°	21,1	1,01	33°	21,311	1	1,763
	11:00 a. m. a 12:00 p. m.	10°	21	1,47	29°	30,870	1	2,554
	12:00 p. m. a 13:00 p. m.	10°	21,2	1,47	33°	31,164	1	2,578
	13:00 p. m. a 14:00 p. m.	10°	20,9	1,24	34°	25,916	1	2,144
	14:00 p. m. a 15:00 p. m.	10°	21,6	0,99	28°	21,384	1	1,769
	15:00 p. m. a 16:00 p. m.	10°	21,2	0,89	29°	18,868	1	1,561
	16:00 p. m. a 17:00 p. m.	10°	198	0,07	19°	13,860	1	1,147
	17:00 p. m. a 18:00 p. m.	10°	16,2	0,02	10°	0,324	1	0,027

Fuente: Propia; elaborada por: Osmar Mosquera Palacios.

Datos referentes a una semana de toma de muestras experimentales.

Anexo 14. Intensidades admisibles en conductores de instalaciones al aire y enterradas.

Temperatura ambiente 40 °C en el aire

Método de instalación de la tabla 52-B1	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento											
		PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2						
A1		PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2						
A2	PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2							
B1				PVC3	PVC2		XLPE3		XLPE2			
B2			PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2					
C					PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2		
E						PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2	
F							PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Sección mm ² Cu												
1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	16,5	19	20	21	24	–
2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	23	26	26,5	29	33	–
4	20	21	23	24	27	30	31	34	36	38	45	–
6	25	27	30	32	36	37	40	44	46	49	57	–
10	34	37	40	44	50	52	54	60	65	68	76	–
16	45	49	54	59	66	70	73	81	87	91	105	–
25	59	64	70	77	84	88	95	103	110	116	123	140
35	–	77	86	96	104	110	119	127	137	144	154	174
50	–	94	103	117	125	133	145	155	167	175	188	210
70	–	–	–	149	160	171	185	199	214	224	244	269
95	–	–	–	180	194	207	224	241	259	271	296	327
120	–	–	–	208	225	240	260	280	301	314	348	380
150	–	–	–	236	260	278	299	322	343	363	404	438
185	–	–	–	268	297	317	341	368	391	415	464	500
240	–	–	–	315	350	374	401	435	468	490	552	590

Temperatura ambiente 25 °C en el terreno

Método de instalación	Sección mm ²	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento			
		PVC2	PVC3	XLPE2	XLPE3
D	Cobre				
	1,5	20,5	17	24,5	21
	2,5	27,5	22,5	32,5	27,5
	4	36	29	42	35
	6	44	37	53	44
	10	59	49	70	58
	16	76	63	91	75
	25	98	81	116	96
	35	118	97	140	117
	50	140	115	166	138
	70	173	143	204	170
	95	205	170	241	202
	120	233	192	275	230
	150	264	218	311	260
	185	296	245	348	291
240	342	282	402	336	
300	387	319	455	380	

Fuente: Instalaciones solares fotovoltaicas de Castejón & Santamaría, 2016.

Anexo 15. *Métodos de instalación de referencia.*

Método de Instalación	Descripción
A1	Conductores aislados en un conducto en una pared térmicamente aislante
A2	Cable multiconductor en un conducto en una pared térmicamente aislante
B1	Conductores aislados en un conducto sobre una pared de madera
B2	Cable multiconductor en un conducto sobre una pared de madera
C	Cable mono o multiconductor fijado sobre una pared de madera
D	Cable multiconductor en conductos enterrados
E	Cable monoconductor al aire libre
F	Cable multiconductor al aire libre
G	Conductores desnudos o aislados sobre aisladores

Anexo 16. *Factor de corrección para instalaciones al aire y temperatura distinta de 40°C.*

FACTORES DE CORRECCIÓN PARA TEMPERATURA AMBIENTE DIFERENTES DE 40 °C A APLICAR A LOS VALORES DE LAS INTENSIDADES ADMISIBLES PARA CABLES AL AIRE																
Aislamiento	Temperatura ambiente (°C)															
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	
PVC (Termoplástico)	1,41	1,35	1,29	1,22	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58	–	–	–	–	
XLPE, EPR (Termoestable)	1,26	1,22	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63	0,55	0,45	

Anexo 17. *Factor de corrección por agrupamiento de conductores.*

Factores de reducción por agrupamiento de varios circuitos o de varios cables multiconductores										
Punto	Disposición	Número de circuitos o de cables multiconductores								
		1	2	3	4	6	9	12	16	20
1	Empotrados o embutidos	1,00	0,80	0,70	0,70	0,55	0,50	0,45	0,40	0,40
2	Capa única sobre los muros o los suelos o bandejas no perforadas	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	–	–	–
3	Capa única en el techo	0,95	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	–	–	–
4	Capa única sobre bandejas perforadas horizontales o verticales	1,00	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70	–	–	–
5	Capa única sobre escaleras de cables, abrazaderas, etc.	1,00	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	–	–	–

Fuente: Instalaciones solares fotovoltaicas de Castejón & Santamaría, 2016.

Anexo 18. Módulos fotovoltaicos CanadianSolar MAXPOWER CS6U-320P de 330 W.

MAXPOWER CS6U-315 | 320 | 325 | 330P

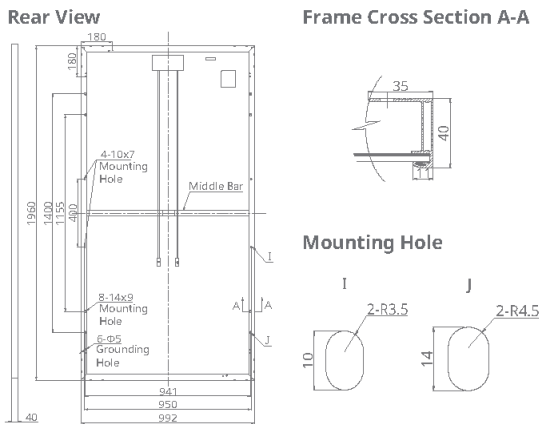


Canadian Solar's modules use the latest innovative cell technology, increasing module power output and system reliability, ensured by 15 years of experience in module manufacturing, well-engineered module design, stringent BOM quality testing, an automated manufacturing process and 100% EL testing.

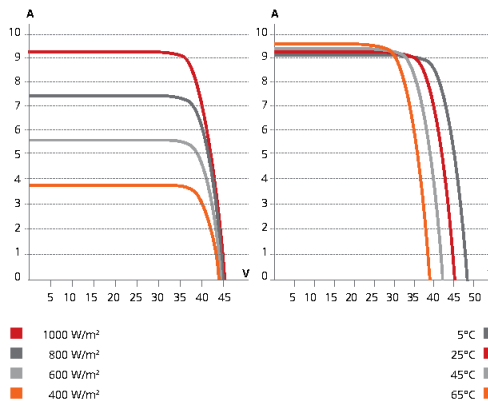
25 years linear power output warranty

10 years product warranty on materials and workmanship

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6U-320P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Nominal Max. Power (Pmax)	315 W	320 W	325 W	330 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	36.6 V	36.8 V	37.0 V	37.2 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.61 A	8.69 A	8.78 A	8.88 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.1 V	45.3 V	45.5 V	45.6 V
Short Circuit Current (Isc)	9.18 A	9.26 A	9.34 A	9.45 A
Module Efficiency	16.20%	16.46%	16.72%	16.97%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C			
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	15 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 ~ + 5 W			

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NOCT*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Nominal Max. Power (Pmax)	228 W	232 W	236 W	239 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	33.4 V	33.6 V	33.7 V	33.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.84 A	6.91 A	6.98 A	7.05 A
Open Circuit Voltage (Voc)	41.5 V	41.6 V	41.8 V	41.9 V
Short Circuit Current (Isc)	7.44 A	7.50 A	7.57 A	7.66 A

* Under Nominal Operating Cell Temperature (NOCT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6 × 12)
Dimensions	1960 × 992 × 40 mm (77.2 × 39.1 × 1.57 in)
Weight	22.4 kg (49.4 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm ² (IEC) or 4 mm ² & 12 AWG 1000V (UL), 1160 mm (45.7 in)
Connector	T4 series or PV2 series
Per Pallet	26 pieces, 635 kg (1400 lbs)
Per container (40' HQ)	624 pieces

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.41 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053 % / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45 ± 2 °C

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Outstanding performance at low irradiance, with an average relative efficiency of 96.0 % from irradiances, between 1000 W/m² and 200 W/m² (AM 1.5, 25°C).

Fuente: CanadianSolar.

Anexo 19. Baterías monoblock Trojan J185H-AC.



DATA SHEET

J185H-AC

MODEL J185H-AC with Bayonet Cap
 VOLTAGE 12
 MATERIAL Polypropylene
 DIMENSIONS Inches (mm)
 BATTERY Deep-Cycle Flooded/Wet Lead-Acid Battery
 COLOR Maroon
 WATERING Single-Point Watering Kit



12V



*Polyon™ Case

PRODUCT + PHYSICAL SPECIFICATIONS

BCI Group Size	Type	Voltage	Cell(s)	Terminal Type ⁶	Dimensions ⁶ Inches (mm)			Weight Lbs. (kg)
					Length	Width	Height ⁷	
921	J185H-AC*	12	6	6	14.97 (380)	6.91 (176)	14.67 (373)	123 (56)

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

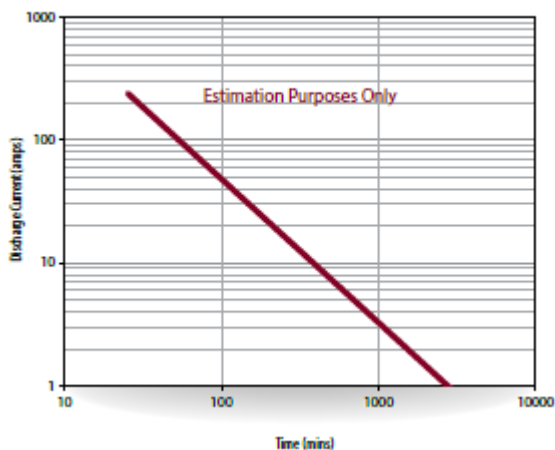
Cranking Performance		Capacity * Minutes		Capacity * Amp-Hours (AH)				Energy (kWh)	Internal Resistance (mΩ)	Short Circuit Current (amps)
CCA ⁸ @ 0°F (-18°C)	CA ⁹ @ 32°F (0°C)	@ 25 Amps	@ 75 Amps	5-Hr	10-Hr	20-Hr	100-Hr	100-Hr	—	—
—	—	440	121	185	207	225	249	2.99	—	—

CHARGING INSTRUCTIONS

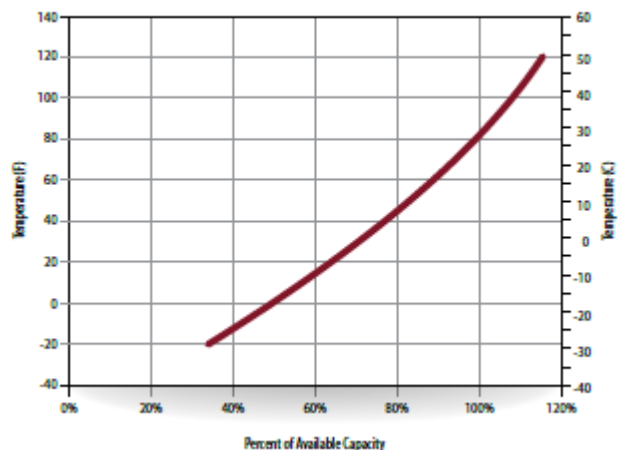
Charger Voltage Settings (at 77°F/25°C)				
System Voltage	12V	24V	36V	48V
Bulk Charge	14.82	29.64	44.46	59.28
Float Charge	13.50	27.00	40.50	54.00
Equalize Charge	16.20	32.40	48.60	64.80

Do not install or charge batteries in a sealed or non-ventilated compartment. Constant under or overcharging will damage the battery and shorten its life as with any battery.

TROJAN J185H-AC PERFORMANCE



PERCENT CAPACITY VS. TEMPERATURE



Fuente: Trojan.

Anexo 20. Victron Energy SmartSolar MPPT 150/85.

Protección de cortocircuito y polaridad inversa en los paneles FV.
Protección de corriente inversa FV.

Sensor de temperatura Interna

Compensa la tensión de carga de absorción y flotación, en función de la temperatura.



**Controlador de carga solar
MPPT 150/100-Tr
Con dispositivo conectable**



**Controlador de carga solar
MPPT 150/100-MC4
Sin pantalla**

Controlador de carga SmartSolar	MPPT 150/85	MPPT 150/100
Tensión de la batería	Ajuste automático a 12, 24 o 48V (Se precisa una herramienta de software para ajustar el sistema en 36V)	
Corriente de carga nominal	85A	100A
Potencia FV máxima, 12 V 1a,b)	1200W	1450W
Potencia FV máxima, 24 V 1a,b)	2400W	2900W
Potencia FV máxima, 48 V 1a,b)	4900W	5800W
Máxima corriente de corto circuito	70A	70A
Tensión máxima del circuito abierto FV	150V máximo absoluto en las condiciones más frías 145V en arranque y funcionando al máximo	
Eficiencia máxima	98%	
Autoconsumo	Menos de 35mA a 12V / 20mA a 48V	
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V (Regulable con: selector giratorio, pantalla, VE.Direct o Bluetooth)	
Tensión de carga de "flotación"	Valores predeterminados: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2V (Regulable con: selector giratorio, pantalla, VE.Direct o Bluetooth)	
Algoritmo de carga	adaptativo multifase	
Compensación de temperatura	-16 mV / -32 mV / -68 mV / °C	
Protección	Polaridad inversa de la batería (fusible, no accesible por el usuario) Polaridad inversa/Cortocircuito de salida/Sobretensión	
Temperatura de trabajo	-30 a +60°C (potencia nominal completa hasta los 40°C)	
Humedad	95%, sin condensación	
Puerto de comunicación de datos	VE.Direct o Bluetooth	
Interruptor on/off remoto	Sí (conector bifásico)	
Relé programable	DPST Capacidad nominal CA 240 V AC / 4 A Capacidad nominal CC 4 A hasta 35 V CC, 1 A hasta 60 V CC	
Funcionamiento en paralelo	Sí (no sincronizado)	
CARCASA		
Color	Azul (RAL 5012)	
Terminales FV 3)	35mm ² / AWG2 (Modelos Tr) Tres pares de conectores MC4 (modelos MC4)	
Bornes de batería	35mm ² / AWG2	
Grado de protección	IP43 (componentes electrónicos), IP22 (área de conexión)	
Peso	4,5kg	
Dimensiones (al x an x p) en mm	Modelos Tr: 216 x 295 x 103 Modelos MC4: 246 x 295 x 103	
NORMATIVAS		
Seguridad	EN/IEC 62109	
1a) Si se conecta más potencia FV, el controlador limitará la potencia de entrada al máximo estipulado.		
1b) La tensión FV debe exceder en 5 V la Vbat (tensión de la batería) para que arranque el controlador.		
Una vez arrancado, la tensión FV mínima será de Vbat + 1 V.		
2) Un conjunto FV con una corriente de corto circuito superior puede dañar el controlador.		
3) Modelos MC4: se podrían necesitar varios separadores para conectar en paralelo las cadenas de paneles solares.		
Corriente máxima por conector MC4: 30A (los conectores MC4 están conectados en paralelo a un rastreador MPPT)		

Fuente: Victron Energy.

Anexo 21. Victron Energy Quattro 24/5000/120-100/100.



Quattro
24/5000/120-100/100

Quattro	12/5000/200-100/100 120V	24/5000/120-100/100 120V	48/3000/35-50/50 120V	48/5000/70-100/100 120V
PowerControl / PowerAssist	SI			
Conmutador de transferencia integrado	SI			
2 entradas CA	Rango de tensión de entrada : 90-140 VAC Frecuencia de entrada: 45 – 65 Hz Factor de potencia: 1			
Corriente máxima (A)	2x100	2x100	2x50	2x100
INVERSOR				
Rango de tensión de entrada (V CC)	9,5 - 17	19 – 33	37,2 – 64,4	37,2 – 64,4
Salida (1)	Rango de tensión de entrada: 120 VAC ± 2% Frecuencia: 60 Hz ± 0,1%			
Potencia cont. de salida a 25°C / 77°F (VA) (3)	5000	5000	3000	5000
Potencia cont. de salida a 25°C / 77°F (W)	4000	4000	2400	4000
Potencia cont. de salida a 40°C / 104°F (W)	3700	3700	2200	3700
Potencia cont. de salida a 65°C / 150°F (W)	3000	3000	1700	3000
Pico de potencia (W)	10000	10000	6000	10000
Eficacia máxima (%)	94	94	94	95
Consumo en vacío (W)	30	30	25	35
Consumo en vacío en modo de ahorro (W)	20	25	20	30
Consumo en vacío en modo búsqueda (W)	10	10	12	15
CARGADOR				
Tensión de carga de 'absorción' (V CC)	14,4	28,8	57,6	57,6
Tensión de carga de "flotación" (V CC)	13,8	27,6	55,2	55,2
Modo de "almacenamiento" (V CC)	13,2	26,4	52,8	52,8
Corriente de carga batería casa (A) (4)	200	120	35	70
Corriente de carga batería de arranque (A)	4	4	n. a.	n. a.
Sensor de temperatura de la batería	SI			
GENERAL				
Salida auxiliar (A) (5)	50	50	32	50
Relé programable (6)	3x	3x	3x	3x
Protección (2)	a-g			
Puerto de comunicación VE.Bus	Para funcionamiento paralelo y trifásico, supervisión remota e integración del sistema			
Puerto com. de uso general (7)	SI, 2x			
On/Off remoto	SI			
Características comunes	Temperatura de funcionamiento: -40 to +65°C (-40 - 150°F) Humedad (sin condensación): máx. 95%			
CARCASA				
Características comunes	Material y color: aluminio (azul RAL 5012) Categoría de protección: IP 21			
Conexiones de la batería	Cuatro pernos M8 (2 conexiones positivas y 2 negativas)			
Conexión 230 V CA	Pernos M6		Borne de tornillo de 13 mm ² (6 AWG)	
Peso (kg)	75 lb 34 kg	66 lb 30 kg	42 lb 19 kg	66 lb 30 kg
Dimensiones (al x an x p en mm.)	18,5 x 14,0 x 11,2 inch 470 x 350 x 280 mm	17,5 x 13,0 x 9,6 inch 444 x 328 x 240 mm	14.3x10.2x8.6 inch 362x258x218 mm	17,5 x 13,0 x 9,6 inch 444 x 328 x 240 mm
NORMATIVAS				
Seguridad	EN 60335-1, EN 60335-2-29			
Emisiones / Inmunidad	EN55014-1, EN 55014-2, EN 61000-3-3, EN 61000-6-3, EN 61000-6-2, EN 61000-6-1			
1) Puede ajustarse a 60 Hz; 120 V 60 Hz si se solicita 2) Claves de protección: a) cortocircuito de salida b) sobrecarga c) tensión de la batería demasiado alta d) tensión de la batería demasiado baja h) temperatura demasiado alta f) 230 V CA en la salida del inversor g) ondulación de la tensión de entrada demasiado alta 3) Carga no lineal, factor de cresta 3:1 4) a 25 °C de temperatura ambiente 5) Se desconecta si no hay fuente CA externa disponible 6) Relé programable que puede configurarse como alarma general, subtenión CC o señal de arranque para el generador Capacidad nominal CA: 230V/4A Capacidad nominal CC: 4A hasta 35VDC, 1A hasta 60VDC 7) Entre otras funciones, para comunicarse con una batería BMS de Lítio-Ion				

Fuente: Victron Energy.

exZhellent SOLAR XZ1FA3Z-K (AS) 1,8 kV DC - 0,6/1 kV AC

HUERTAS SOLARES

TENSIÓN 1,8 kV DC - 0,6 / 1 kV AC

GC EXZHELLENT SOLAR XZ1FA3Z-K (AS) 1,8 kV DC - 0,6/1 kV AC

LA MEJOR PROTECCIÓN MECÁNICA DURANTE EL TENDIDO,
LA INSTALACIÓN Y EL SERVICIO

EXZHELLENT SOLAR XZ1FA3Z-K (AS) 1,8 kV DC-0,6/1 kV AC

Conductor:	Cobre Clase 5 para servicio fijo (-k)
Aislamiento:	Polietileno Reticulado XLPE (X)
Asiento de Armadura:	Poliolefina libre de halógenos (Z1)
Armadura:	Fleje corrugado de AL (FA3)
Cubierta:	Elastómero termoestable libre de halógenos (Z). Color Negro
Norma:	AENOR EA 0038



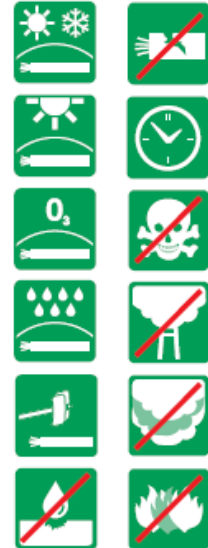
Ecológico



Resistente a la acción de los roedores



SERVICIO FIJO



Código	Sección	Diámetro exterior	Peso	Radio Mín. Curvatura	Intensidad al Aire ⁽¹⁾	Intensidad Enterrado ⁽²⁾	Caída tensión en DC
	mm ²	mm ²	kg/km	mm ²	A	A	V/A.km
1618110	1x10	12,0	230	120	80	77	4,87
1618111	1x16	13,0	290	130	107	100	3,09
1618112	1x25	14,8	405	150	140	128	1,99
1618113	1x35	15,9	510	160	174	154	1,41
1618114	1x50	17,5	665	175	210	183	0,984
1618115	1x70	19,8	895	200	269	224	0,694
1618116	1x95	21,6	1.125	220	327	265	0,525
1618117	1x120	23,6	1.390	240	380	302	0,411
1618118	1x150	25,6	1.695	260	438	342	0,329
1618119	1x185	27,5	2.010	275	500	383	0,270
1618120	1x240	30,8	2.615	310	590	442	0,204
1618121	1x300	34,4	3.245	345	659	500	0,163

(1) Al aire a 40°C según UNE 20460-5-523 Tabla A.52-1 bis Método F, 2 conductores cargados

(2) Enterrado, 25°C, 0,7 m de profundidad, 1,5 K m/W según UNE 20460-5-523 Tabla A.52-2 bis Método D

Fuente: General Cable.

Anexo 23. Cable de baja tensión RZ1-K (AS) de 0,6/1 kV.

CABLENA S.A.
Grupo CONDUMEX

Cables de Energía
Baja Tensión
RZ1-K 0,6/1kV

CABLE RZ1-K 0,6/1kV



Cables industriales de tensión asignada 0,6/1kV., aislados con polietileno reticulado (XLPE) y cubierta de Poliolefina.

Especificaciones Generales Cables RZ1-K 0,6/1kV. (*)

Conductor de Cobre				Peso del Cable Kg/Km	Intensidad (A)	Caída de tensión cos F = 1 V/A km	Radio mínimo de curvatura mm
Sección Nominal mm ²	Diametro aislamiento mm	Díametro Exterior Mm	Resistencia a 20°C max. Ω/km				
1 x 1,50	2,90	5,7	13,3	50	18	26,72	23
1 x 2,50	3,40	6,2	7,98	60	26	16,37	25
1 x 4,00	3,90	6,7	4,95	75	35	10,18	27
1 x 6,00	4,40	7,2	3,30	95	46	6,8	29
1 x 10,00	5,70	8,5	1,91	145	64	4,04	35
1 x 16,00	6,80	9,6	1,21	205	86	2,54	39
1 x 25,00	8,40	11,2	0,780	295	120	1,61	45
1 x 35,00	10,0	12,8	0,554	395	145	1,16	55
1 x 50,00	11,7	14,5	0,386	540	180	0,85	60
1 x 70,00	13,9	16,7	0,272	745	230	0,59	70
1 x 95,00	15,4	18,4	0,206	960	285	0,43	71
1 x 120,00	17,5	20,5	0,161	1.205	335	0,34	85
1 x 150,00	19,6	22,8	0,129	1.500	385	0,27	95
1 x 185,00	22	25,2	0,108	1.810	450	0,22	130
1 x 240,00	24,9	28,3	0,0801	2.360	535	0,17	145
2 x 1,50	2,90	6,40	13,3	100	17	30,86	34
2 x 2,50	3,40	9,30	7,98	130	25	18,9	38
2 x 4,00	3,90	10,30	4,95	170	34	11,76	42
2 x 6,00	4,4	11,40	3,30	225	44	7,85	46
3 x 1,50	2,90	8,90	13,3	115	17	26,72	38
3 x 2,50	3,40	9,80	7,98	155	25	16,37	40
3 x 4,00	3,90	10,90	4,95	205	34	10,18	44
3 x 6,00	4,40	12,10	3,30	275	44	6,8	49
4 x 1,50	2,90	9,60	13,3	135	17	26,72	39
4 x 2,50	3,40	10,70	7,98	185	25	16,37	43
4 x 4,00	3,90	11,9	4,95	250	34	10,18	48
4 x 6,00	4,40	13,3	3,30	340	44	6,8	55
5 x 1,50	2,90	10,50	13,3	170	17	26,72	42
5 x 2,50	3,40	11,70	7,98	225	25	16,37	47
5 x 4,00	3,90	13,01	4,95	310	34	10,18	55
5 x 6,00	4,40	14,60	3,30	420	44	6,8	60

*Cablena se reserva el derecho de llevar a cabo cualquier modificación sin previo aviso. Estos datos son meramente informativos

Fuente: General Cable.

Anexo 24. Fusible y base portafusibles (gPV & gG).



gPV photovoltaic fuses and holders for photovoltaic applications 1000Vdc

PV fuse-links for photovoltaic applications have been developed for safety and economic protection in photovoltaic installations where, due to the increase of power and technological evolution, no load voltages above 800Vdc are achieved. Meets requirements for instruments and traction equipment auxiliary circuits. Provides protection against overloads and short-circuits.

gPV 10x38 cylindrical fuses 1000 Vdc

491601	1A	10 x 38	30kA	1000Vdc	gPV photovoltaic fuse link
491602	2A	10 x 38	30kA	1000Vdc	gPV photovoltaic fuse link
491604	3A	10 x 38	30kA	1000Vdc	gPV photovoltaic fuse link
491605	4A	10 x 38	30kA	1000Vdc	gPV photovoltaic fuse link
491606	5A	10 x 38	30kA	1000Vdc	gPV photovoltaic fuse link
491610	6A	10 x 38	30kA	1000Vdc	gPV photovoltaic fuse link
491620	10A	10 x 38	30kA	1000Vdc	gPV photovoltaic fuse link
491630	16A	10 x 38	30kA	1000Vdc	gPV photovoltaic fuse link
491635	20A	10 x 38	30kA	1000Vdc	gPV photovoltaic fuse link

Industrial cylindrical fuse holders for photovoltaic applications 1000 Vdc

481033	32A	10 x 38	1-pole	1	gPV photovoltaic fuse holder
481233	32A	10 x 38	2-pole	2	gPV photovoltaic fuse holder

In (A)	REFERENCE		U (V)	BREAKING CAPACITY (kA)	REFERENCE WITH STRIKER	U (V)	BREAKING CAPACITY (kA)	PACKING Uni/BOX	
	WITHOUT INDICATOR	WITH INDICATOR							
22x58	50	422050	422150	690	80	422250	690	80	10/5
	63	422063	422163	690	80	422263	690	80	10/5
	80	422080	422180	500	120	422280	500	120	10/5
	100	422000	422100	500	120	422200	500	120	10/5
	125*	422015	422115	400	120	422215	400	120	10/5

* OVERRATING FUSES

PMX MODULAR FUSE HOLDERS

POLES	MODULES	REFERENCE		In (A)	U (V)	PACKING Uni/BOX	
		WITHOUT INDICATOR	WITH INDICATOR				
22x58	1	2	485301 cRU US	485308 cRU US	100*	690	6/48
	N	2	485302 cRU US	-	100*	690	6/48
	1+N	4	485303 cRU US	485309 cRU US	100*	690	3/24
	2	4	485304 cRU US	485310 cRU US	100*	690	3/24
	3	6	485305 cRU US	485311 cRU US	100*	690	2/16
	3+N	8	485306 cRU US	485312 cRU US	100*	690	1/8
4	8	485307 cRU US	485313 cRU US	100*	690	1/8	
22x58 24VDC	1	2	-	485314 cRU US	100*	24	6/48
	1+N	4	-	485315 cRU US	100*	24	3/24
	2	4	-	485316 cRU US	100*	24	3/24

* ACCEPT 125A FUSE-LINKS

Fuente: df electric.

Anexo 25. Interruptor seccionador de 8 polos + neutro.





Kraus & Naimer

BLUE LINE switchgear

since 1907

Switch Disconnectors of the KG and KH series

Switch Disconnectors $\bigcirc - $ 6 pole, Types of Mounting				Switch Disconnectors $\bigcirc - $ 8 pole, Types of Mounting								
Technical Data	KG10A KG10B		KG20B		KG80		KG100		C316			
Ratings 3 x 380 V/440 V AC-23A, AC-23B AC-3 Thermal Current I_{th}	KW kW A	7,5 5,5 16	5,5/10 ² 3,7/6,5 ² 20	7,5/12 ² 5,5/7,5 ² 25	11/16 ² 7,5/11 ² 32	15/20 ² 11/15 ² 40	22/30 ² 18,5/22 ² 63	30/40 22/30 80	37 30 100	45 37 125	55 45 160	132 55 315
Version Protection	Four Hole Panel Mounting		EAN- Code 9004257	Version Protection	Four Hole Panel Mounting		EAN- Code 9004257					
IP 66 ¹ 	KG10A KG10B KG20B KG32B KG41B KG64B KG80 KG80C KG100 KG100C KG125 KG160 C316	T306 E T306 E T306 E T306 E T306 E T306 E T306 E T306 E T306 E T306 E T306 E T306 E T306 E	01296 1 01297 8 00925 1 00926 8 00927 5 00928 2 00929 9 00930 5 00931 2 00932 9 03683 7 03685 1 00935 0	IP 66 	KH16 KH16B KH20 KH20B KH25 KH25B KH32 KH40	T308 E T308 E T308 E T308 E T308 E T308 E T308 E T308 E	09323 6 09324 3 09325 0 09326 7 09327 4 09328 1 09329 8 09330 4					

¹C80, C125 and C316 protection IP 40. Higher protection available on request. ²The values after the slash are valid for KH switches.

Fuente: Kraus & Naimer.

Anexo 26. Interruptores automáticos diferenciales e interruptores automáticos magnetotérmicos.

Interruptor diferencial iID

Protección diferencial

Certificación
AENOR



UNE-EN 61008-1 Clase Asi

Interrumpen automáticamente un circuito en caso de defecto de aislamiento entre conductores activos y tierra, igual o superior a 30 o 300 mA.



Interruptor diferencial iID					
Clase	Asi				Ancho en pasos de 9 mm
Producto	iID				
Auxiliares	Puede aceptar auxiliares				
2P	Sensibilidad	30 mA	300 mA		
	Calibre	25 A	A9R61225 ⁽¹⁾	—	4
		40 A	A9R61240 ⁽¹⁾	—	
		63 A	A9R61263 ⁽¹⁾	—	
		100 A	—	—	

Interruptores automáticos iC60N

Protección magnetotérmica de circuitos y receptores

Certificación
AENOR



Corriente alterna (CA) 50/60 Hz

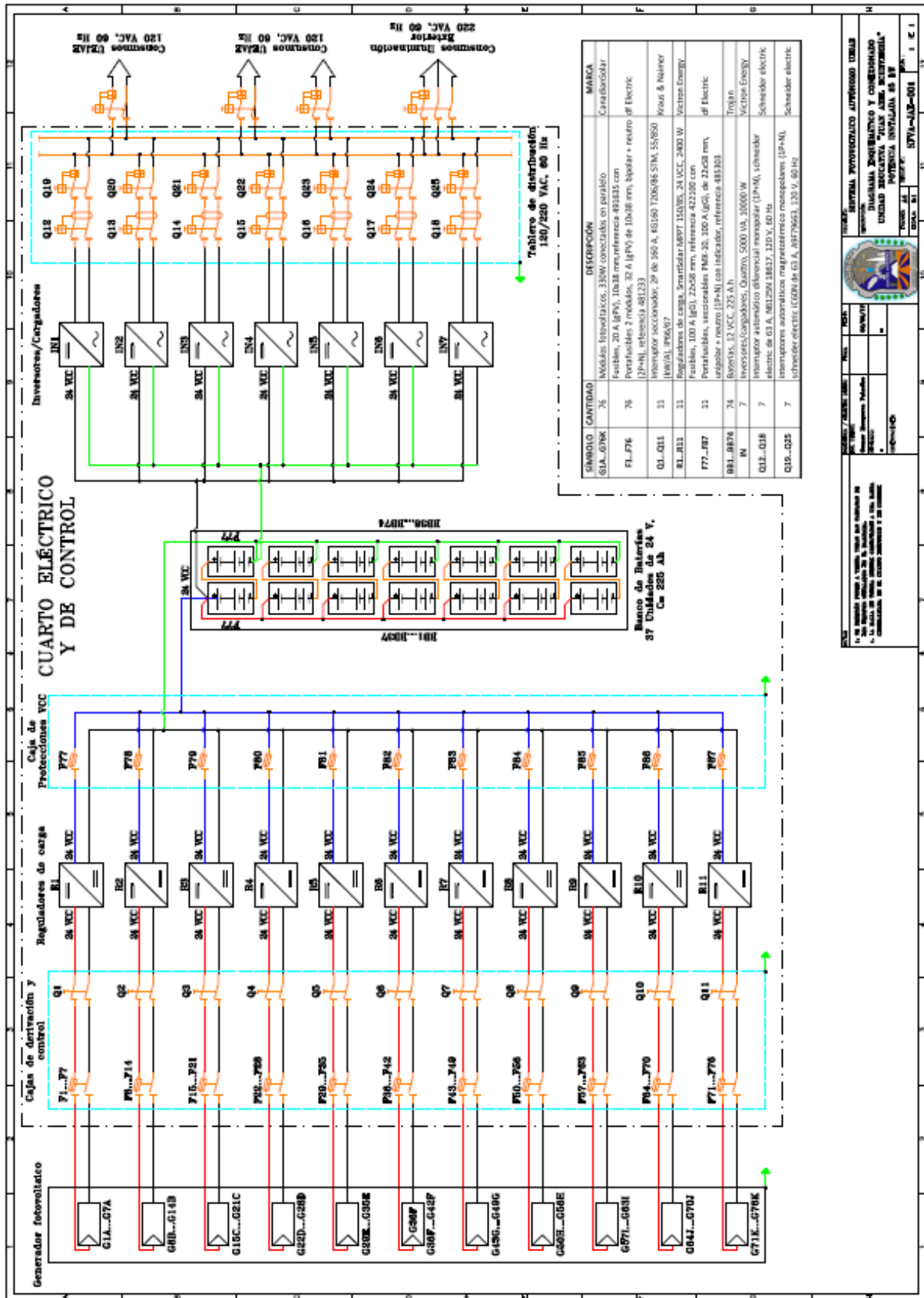


Poder de corte (Icu) según la norma UNE-EN 60947-2						
	Tensión (Ue)				Poder de corte de servicio (Ics)	
	12 a 133 V	220 a 240 V	380 a 415 V	440 V		
F/F (2P, 3P, 4P)	12 a 133 V	220 a 240 V	380 a 415 V	440 V		
F/N (1P, 1P+N)	12 a 60 V	100 a 133 V	220 a 240 V	—		
Calibre (In)	0,5 a 4 A	50 kA	50 kA	50 kA	25 kA	100 % de Icu
	6 a 63 A	36 kA	20 kA	10 kA	6 kA	75 % de Icu
Poder de corte (Icn) según la norma UNE-EN 60898-1						
	Tensión (Ue)					
F/F	400 V					
F/N	230 V					
Calibre (In)	0,5 a 63 A				6.000 A	

Interruptor automático iC60N					
Tipo	1P			1P+N	
Auxiliares	Indicación y disparo remotos, ver página 1/109			Indicación y disparo remotos, ver página 1/109	
Quick Vigi iC60	Dispositivo de protección diferencial Quick Vigi iC60, ver página 1/63			Dispositivo de protección diferencial Quick Vigi iC60, ver página 1/63	
Calibre (In)	Curva			Curva	
40 A	B A9F78140	C ⁽¹⁾ A9F79140	D A9F75140	B A9F78640	C ⁽¹⁾ A9F79640
50 A	A9F78150	A9F79150	A9F75150	A9F78650	A9F79650
63 A	A9F78163	A9F79163	A9F75163	A9F78663	A9F79663
Ancho en módulos de 9 mm	2			4	

Fuente: Schneider electric.

Anexo 27. Diagrama esquemático y de conexión sistema fotovoltaico de la unidad educativa “Juan Abel Echeverría”.



Fuente: Propia; elaborado por: Osmar Mosquera Palacios.