



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD DE POSGRADOS

TESIS EN OPCIÓN AL GRADO ACADÉMICO
DE MAGISTER EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

Título:

“Evaluación del potencial de energía solar, en la Parroquia Belisario Quevedo del Cantón Latacunga, en función del consumo energético del Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara de la ESPE Extensión Latacunga, periodo 2012 - 2013. Análisis de prefactibilidad para su inclusión”.

Autor: Ing. Fausto Vinicio Acuña Coello

Tutor: PhD. Gustavo Rodríguez Bárcenas

LATACUNGA – ECUADOR

Diciembre – 2013



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD DE POSGRADO

Latacunga – Ecuador

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe en consideración de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el maestrante: Acuña Coello Fausto Vinicio, con el título de tesis: **“Evaluación del potencial de energía solar, en la Parroquia Belisario Quevedo del Cantón Latacunga, en función del consumo energético del Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara de la ESPE Extensión Latacunga, periodo 2012 - 2013. Análisis de prefactibilidad para su inclusión”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Tesis.

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

Latacunga diciembre 2013

Para constancia firman:

.....
Msc. Giovanna Parra
PRESIDENTA

.....
Msc. Lorena González
MIEMBRO

.....
PhD. Secundino Marreno
MIEMBRO

.....
Msc. Fabián Salazar
OPONENTE

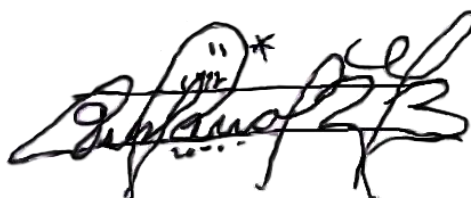
AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS

Latacunga, Diciembre del 2013

En mi calidad de Director de Tesis presentada por el Ing. Acuña Coello Fausto Vinicio, Egresado de la Maestría en Gestión de Energías, previa a la obtención del mencionado grado académico, cuyo título es **“Evaluación del potencial de energía solar, en la Parroquia Belisario Quevedo del Cantón Latacunga, en función del consumo energético del Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara de la ESPE Extensión Latacunga, periodo 2012 - 2013. Análisis de prefactibilidad para su inclusión”**.

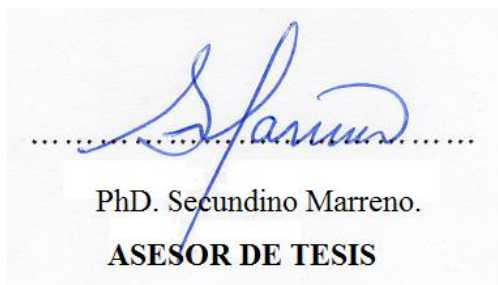
Considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador.

Atentamente



PhD. Gustavo Rodríguez Bárcenas.

DIRECTOR DE TESIS



PhD. Secundino Marreno.
ASESOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, Fausto Vinicio Acuña Coello, portador del número de cédula 0501510267, declaro que la presente Tesis de Grado, es fruto de mi esfuerzo, responsabilidad y disciplina, logrando que los objetivos propuestos se culminen con éxito.

Atentamente

Fausto Vinicio Acuña Coello

C.I. 0501510267

AGRADECIMIENTO

A Dios por enseñarme el camino de la sabiduría y la felicidad junto a mis seres queridos, por darme la oportunidad de obtener el sustento para mi familia y por estar presente en los momentos más difíciles.

A los docentes de Posgrado de la Universidad Técnica de Cotopaxi, a los docentes del ISMMM de Cuba, en especial al PhD. Secundino Marreno, quién con su profesionalismo y don de gente me encaminó para cumplir los objetivos propuestos.

A mi tutor, PhD. Gustavo Rodríguez Bárcenas, por sus sabios consejos y apoyo incondicional.

Fausto Vinicio

DEDICATORIA

Con todo cariño para mi bella esposa Norma y mis tres lindos tesoros Carol, Evelyn y Jhair, quienes en todo momento me brindaron su apoyo para culminar con éxito este trabajo que servirá como base para nuestro sustento.

A mi querida madrecita que tengo la gracia de su compañía y a toda mi familia que siempre está pendiente y presta arrimar el hombro para que nuestra familia siga adelante.

A mis seres queridos que están en la gracia de nuestro señor.

Fausto Vinicio

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD DE POSGRADOS**

PROGRAMA: “MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS”

“Evaluación del potencial de energía solar, en la Parroquia Belisario Quevedo del Cantón Latacunga, en función del consumo energético del Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara de la ESPE Extensión Latacunga, periodo 2012 - 2013. Análisis de prefactibilidad para su inclusión”

Autor: Fausto Vinicio Acuña Coello

Fecha: Diciembre 2013

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

TÍTULO:

Evaluación del potencial de energía solar, en la Parroquia Belisario Quevedo del Cantón Latacunga, en función del consumo energético del Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara de la ESPE Extensión Latacunga, periodo 2012 - 2013. Análisis de prefactibilidad para su inclusión.

AUTOR: ACUÑA COELLO Fausto Vinicio.

TUTOR: PhD. RODRÍGUEZ BÁRCENAS Gustavo.

RESUMEN

En la presente investigación se evalúa el potencial de energía solar con fines de generación eléctrica de la Parroquia Belisario Quevedo y del Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara, de la ESPE Extensión Latacunga, basándose en el Atlas Solar del Ecuador emitido por el CONELEC, el Mapa de Irradiación Solar Global, emitido por el INAMHI, la Base de Datos de la NASA, la Base de Datos de la UML y la Estación Meteorológica de la ESPE-EL. Se evalúa el consumo energético del Campus mediante un analizador de la energía y de la calidad eléctrica instalado en el bloque de aulas por el lapso de una semana, se comprueba el consumo realizando un inventario de cargas, en especial de luminarias instaladas en todo el edificio. Se realiza una revisión bibliográfica para establecer una metodología adecuada que permita diseñar un sistema solar fotovoltaico conectado a la red (SFCR) en función del área útil de generación. Se analiza la factibilidad técnica y económica de incorporar un sistema de generación de energía solar fotovoltaica tipo SFCR, al sistema energético del Campus, en cumplimiento con la regulación 004/11 del CONELEC, la Ley de Régimen del sector Eléctrico y la Constitución. Finalmente se propone el diseño de un sistema de generación por energía solar fotovoltaica, como fuente alternativa de energía eléctrica, que mejor se adapte a las instalaciones del Campus.

Descriptor: Potencial de energía solar, generación de energía fotovoltaica, consumo energético.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
GRADUATE UNIT
MATER IN ENERGY MANAGEMENT**

TITLE:

Evaluation of Solar Power potential in Belisario Quevedo Parish, Latacunga Canton, depending on consumption energy at General Guillermo Rodriguez Lara Campus, ESPE Latacunga Extensión, 2012-2013 period. Feasibility analysis included.

AUTHOR: ACUÑA COELLO Fausto Vinicio.

TUTOR: PhD. RODRÍGUEZ BÁRCENAS Gustavo.

ABSTRACT

In this research, Evaluation of Solar Power potential in Belisario Quevedo Parish, Latacunga Canton, depending on consumption energy at General Guillermo Rodriguez Lara Campus, ESPE Latacunga Extensión. An energy consumption campus is evaluated using an energy analyzer of power quality and installed on the classroom block for a week period. Consumption is checked by performing an inventory of loads, especially fixtures installed throughout the building. A bibliographic review was performed to establish a suitable methodology to design a photovoltaic solar system connected to the (SFCR) network based on the useful area of generation. The technical and economic feasibility in order to incorporate a photovoltaic solar power generation system SFCR type, the energy system campus in agreement with regulation 004/11 of CONELEC the Electrical System Act and the Constitution industry is analyzed. Finally, a design for generating solar energy system is proposed as an alternative power source that best suited to Campus facilities.

Key words: Solar energy potential, photovoltaic solar energy, energy.

Firma del Aval _____

MSc. Amparo Romero

0501369185

ÍNDICE

Contenidos	Páginas
PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	ii
AVAL DEL DIRECTOR DE TÉSIS.....	iii
AUTORÍA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA.....	2
1.1.- Antecedentes del Problema.....	2
1.2.- Formulación del Problema.....	5
1.3.- Objeto de estudio.....	6
1.4.- Justificación de la Investigación.....	6
1.5.- Objetivos.....	8
1.5.1- Objetivos Generales.....	8
1.5.2- Objetivos Específicos.....	8
1.5.3- Campo de acción.....	8
1.6.- Hipótesis.....	8
1.7.- Enfoque de la investigación.....	9
1.8. - Conclusión del capítulo.....	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	10
2.1.- Antecedentes de la Investigación.....	10
2.2.- Fundamentación Teórica.....	11
2.3.- Fundamentación Legal.....	19
2.4.- Definición de Términos Básicos.....	21
2.5. - Conclusión del capítulo.....	23
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	24
3.1.- Diseño de la investigación.....	24
3.2.- Modalidad de la investigación.....	24

3.3.- Tipo de investigación.....	24
3.3.1.- Bibliográfica.....	24
3.3.2.- De campo.....	25
3.3.3.- Experimental.....	25
3.3.4.- Correlacional y causal.....	25
3.4.- Nivel de la investigación.....	25
3.5.- Unidad de estudio (población y muestra).....	25
3.6.- Operacionalización de variables.....	26
3.7.- Instrumentos de la investigación.....	26
3.8.- Métodos y técnicas.....	27
3.9.- Procedimiento.....	30
3.9.1.- Delimitación del campo de estudio.....	30
3.9.2.- Ubicación geográfica del Campus.....	31
3.9.3.- Estación meteorológica ESPE-EL.....	31
3.9.4.- Componentes de la estación.....	32
3.9.5.- Registro de mediciones de la radiación solar.....	33
3.9.6.- Descripción del sistema eléctrico del Campus.....	33
3.9.7.- Determinación de la demanda del bloque de aulas.....	34
3.10.- Conclusión del capítulo.....	35
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.	36
4.1.- Fuentes de energía renovables en la zona.....	36
4.2.- Evaluación del recurso eólico de la zona.....	37
4.3. Evaluación del recurso solar de la zona.....	39
4.3.1 Análisis de la irradiación global promedio HT.....	41
4.4. Evaluación de la heliofanía de la zona.....	42
4.4.1.- Análisis de la heliofanía.....	42
4.5.- Determinación de las horas pico solares HPS	42
4.6.- Determinación de la irradiación solar sobre superficie inclinada HI.	43
4.7.- Determinación del área útil para generación.....	44
4.8.- Determinación del consumo energético del Campus.....	44
4.9.- Impacto ambiental.....	46
4.10.- Conclusión del capítulo.....	47

CAPÍTULO V: LA PROPUESTA.....	48
5.1.- Título.....	48
5.2.- Justificación.....	48
5.3.- Objetivos.....	50
5.4.- Estructura de la propuesta.....	50
5.5.- Desarrollo de la propuesta.....	50
5.5.1.- Alternativa No 1.....	50
5.5.2.- Alternativa No 2.....	67
5.5.3.- Alternativa No 3.....	76
5.6.- Conclusión del capítulo.....	88
CONCLUSIONES GENERALES.....	90
RECOMENDACIONES.....	92
BIBLIOGRAFÍA.....	93
LINKOGRAFÍA.....	95
ANEXOS.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.- Descomposición de la Radiación Solar.....	13
Figura 2.2.- Piranómetro.....	14
Figura 2.3.- Actinógrafo.....	15
Figura 2.4.- Heliógrafo de Campbell-Stokes.....	15
Figura 2.5.- Sistema fotovoltaico aislado de la red.....	16
Figura 2.6.- Sistema fotovoltaico conectado a la red	17
Figura 2.7.- Principio de una celda fotovoltaica	18
Figura 3.1.- Metodología para el diseño de un SFCR.....	29
Figura 3.2.- Ubicación geográfica de la parroquia Belisario Quevedo.....	30
Figura 3.3.- Ubicación geográfica Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara..	31
Figura 3.4.- Estación meteorológica ESPE-EL.....	32
Figura 3.5.- Componentes de la estación meteorológica ESPE-EL.....	32
Figura 3.6.- Registro de mediciones promedio de radiación solar global.....	33
Figura 3.7.- Curva de carga del CT-06.....	34

Figura 4.1.- Cerro Putzalahua y Mini Central Hidroeléctrica Illuchi.....	36
Figura 4.2.- Potencial eólico bruto de la provincia de Cotopaxi.....	38
Figura 4.3.- Velocidad media anual del viento a 30 metros de altura.....	38
Figura 4.4.- Densidad de potencia media anual del viento.....	39
Figura 4.5.- Insolación mensual global en Wh/m2/día.....	39
Figura 4.6.- Irradiación solar global del Campus y la Parroquia.....	40
Figura 4.7.- Irradiación mensual solar.....	41
Figura 4.8.- Heliofanía diaria.....	42
Figura 4.9.- Áreas de los bloques de aulas y laboratorios.....	44
Figura 4.10.- Lámparas fluorescentes de 17W instaladas en el edificio.....	45
Figura 5.1. Modulo Mono-cristalino.....	51
Figura 5.2. Inversor para conexión a la red.....	52
Figura 5.3.- Arreglo de los paneles FV.....	54
Figura 5.4. Dimensiones y área para instalación de los paneles del Bloque A	55
Figura 5.5. Dimensiones y área para instalación de paneles del Bloque AB	56
Figura 5.6. Panel fotovoltaico con 20 módulos.....	56
Figura 5.7. Panel fotovoltaico con 18 módulos.....	56
Figura 5.8.- Panel fotovoltaico con 20 módulos.....	57
Figura 5.9.- Panel fotovoltaico con 8 módulos.....	57
Figura 5.10.- Trayectoria del sol.....	58
Figura 5.11.- Orientación estructura fija para maximizar la captación solar	59
Figura 5.12.- Distancia entre paneles.....	59
Figura 5.13.- Distancia entre aristas inferiores.....	61
Figura 5.14.- Distancia entre paneles.....	61
Figura 5.15.- Distribución del panel FV en el Bloque A.....	62
Figura 5.16.- Distribución del panel FV en el Bloque A-B.....	62
Figura 5.17.- Conexión del panel FV.....	62
Figura 5.18.- Estructura para el módulo fotovoltaico.....	63
Figura 5.19.- Cables tipo PV ZZ-F (AS).....	63
Figura 5.20.- Conexión del Diodo de Bloqueo.....	64
Figura 5.21.- Áreas de los bloques de aulas y laboratorios.....	67
Figura 5.22.- Área útil del Bloque A.....	68

Figura 5.23.- Panel FV Serie 7T2 de 300 Wp marca Helios.....	68
Figura 5.24.- Orientación estructura para la captación de radiación solar....	69
Figura 5.25.- Distancia mínima entre paneles.....	69
Figura 5.26.- Sistema de protección y conexión para el SFCR.....	73
Figura 5.27.- Luminaria Senso.....	78
Figura 5.28.- Curva de Intensidad-Tensión y Potencia-Tensión.....	78
Figura 5.29.- Inversor Sunny Boy 3000.....	79
Figura 5.30.- Regulador Atersa MPPT 80C.....	79
Figura 5.31.- Baterías BAE, serie OPzS2500.....	79
Figura 5.32.- Disposición de la fuente de luz.....	80
Figura 5.33.- Distribución fotométrica para la luminaria.....	81
Figura 5.34.- Disposición de luminarias.....	82
Figura 5.35.- Valores de entrada para el cálculo en el programa Ulysse.....	82
Figura 5.36.- Circuito de conexión del sistema.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1- Instrumentos de medida	14
Tabla 2.2.- Precios Preferentes Energía Renovables en (¢USD/kWh).....	21
Tabla 3.1.- Variable Independiente: Potencial energético.....	26
Tabla 3.2.- Variable Dependiente: Consumo energético.....	26
Tabla 3.3.- Clima de la Parroquia Belisario Quevedo	31
Tabla 3.4.- Distribución de Centros de Carga.....	34
Tabla 4.1.- Características ambientales de la zona.....	37
Tabla 4.2.- Datos de la NASA Surface Meteorology.....	40
Tabla 4.3.- Irradiación global promedio en kWh/m ² *día.....	41
Tabla 4.4.- Irradiación solar global de superficie inclinada.....	43
Tabla 4.5.- Sectores y áreas aprovechables generación energía fotovoltaica	44
Tabla 4.6. Carga instalada en cada Bloque-Aulas (A y B).....	45
Tabla 4.7.- Carga instalada en el Bloque A-B.....	45
Tabla 5.1.- Presupuesto y material utilizado.....	65
Tabla 5.2.- Desglose de costos anuales.....	66

Tabla 5.3.- Sectores y áreas aprovechables generación energía fotovoltaica	67
Tabla 5.4.- Número de paneles para el área útil del edificio.....	70
Tabla 5.5.- Características generales del inversor.....	70
Tabla 5.6.- Arreglos de paneles fotovoltaicos.....	71
Tabla 5.7.- Potencia asociada al arreglo fotovoltaico.....	71
Tabla 5.8.- Arreglo final serie – paralelo.....	72
Tabla 5.9.- Presupuesto y material utilizado.....	74
Tabla 5.10.- Resultados del cálculo del VAN y TIR.....	75
Tabla 5.11.- Cálculo del flujo luminoso a diferentes ángulos.....	81
Tabla 5.12.- Breve resumen de los valores calculados por el software Ulysse	83
Tabla 5.13.- Determinación de la energía demandada por día.....	83
Tabla 5.14.- Costos de implementación del sistema fotovoltaico.....	87
Tabla 5.15.- Desglose de costos anuales.....	88

INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como finalidad evaluar el potencial de energía solar de la Parroquia Belisario Quevedo del Cantón Latacunga, el consumo energético del Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara de la ESPE Extensión Latacunga y establecer un sistema de generación eléctrica fotovoltaica como fuente de energía alternativa para el Campus. Está estructurada en cinco capítulos distribuidos de la siguiente manera:

En el CAPÍTULO I, se plantea el problema con su contextualización, análisis crítico, pronóstico, control de la pronóstico, delimitación temporal y espacial, formulación del problema, justificación y significación, interés, utilidad teórica, práctica y metodológica, novedad científica, factibilidad, relevancia social. Se formulan los objetivos generales y específicos y el enfoque de la investigación.

En el CAPÍTULO II, se establece el marco teórico, los antecedentes, la conceptualización, el marco legal y reglamentario vigente, necesarios para la fundamentación legal del proyecto.

En el CAPÍTULO III, se establece la metodología, el diseño, la modalidad, forma, tipo y nivel de investigación, la población y muestra, los métodos y técnicas a ser empleadas, la hipótesis, la operacionalización de las variables, el procedimiento de la investigación y se plantea una metodología para el diseño de un SFCR.

En el CAPÍTULO IV, se evalúa el potencial energético de la parroquia Belisario Quevedo, las posibles fuentes de energía aprovechables en la zona con fines de generación eléctrica para el Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara de la ESPE Extensión Latacunga, utilizando mapas solares, eólicos, bases de datos emitidos por instituciones dedicadas a esta área, se plantea alternativas de solución y se realiza un análisis de impacto ambiental.

Finalmente en el CAPÍTULO V, se plantea la mejor alternativa a la solución del problema analizando tres propuestas de acuerdo a la regulación 004/11 del CONELEC, se justifica, plantea objetivos, se desarrolla y evalúa tanto técnica como económicamente la alternativa, se formulan las conclusiones y recomendaciones pertinentes basadas en los resultados de la investigación.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

En el presente capítulo se plantea el problema con su contextualización, análisis crítico, pronóstico, control de la pronóstico, delimitación temporal y espacial, formulación del problema, justificación y significación, interés, utilidad teórica, práctica y metodológica, novedad científica, factibilidad, relevancia social. Se formulan los objetivos generales y específicos y el enfoque de la investigación.

1.1. Antecedentes del Problema

El IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, publicó en mayo del 2011, un informe especial sobre fuentes de energía renovable y mitigación del cambio climático en el cual indica que la mayor parte de la energía que se genera en el mundo (85,1%) sigue sustentándose en fuentes denominadas no renovables como los llamados combustibles fósiles: petróleo y sus derivados (34,6%), carbón (28,4%) y gas natural (22,1%), recursos naturales que requieren un largo periodo de tiempo, hasta siglos, para regenerarse de forma natural.

En este informe se determina que este tipo de energía es responsable del 60% de las emisiones de gases de efecto invernadero que afectan a la capa de ozono y aceleran el calentamiento global.

En tanto que las denominadas fuentes de energía renovables, conocidas así por su capacidad ágil y natural de autogenerarse, cubren apenas el 12,9% de la demanda global de energía. Este último porcentaje se desglosó así: biomasa energía generada con elementos orgánicos derivados de cultivos (10,2%), hidráulica (2,3%), energía eólica (0,2%), geotérmica y solar (0,2%). El 2% restante se generó mediante fuentes nucleares.

Estos porcentajes evidencian la necesidad de que los países ejecuten políticas para reducir la dependencia de combustibles fósiles considerados como más contaminantes.

El desarrollo de fuentes de energía renovables es prioritario para evitar y reducir el calentamiento del planeta, según el Informe sobre Desarrollo Humano del 2011 del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Según datos de la Agencia Internacional de Energía de las Naciones Unidas el 68% de la energía utilizada en América Latina proviene de fuentes no renovables, cifra que pese a ser elevada, deja a la región mejor posicionada que otras áreas del planeta.

Sin embargo la situación no es tan buena como parece, de entre las energías renovables predomina la hidroeléctrica y los biocombustibles, no siendo éstas en todos los casos las más adecuadas. La dependencia de la energía hidroeléctrica causa problemas cuando hay sequías y los niveles de agua descienden significativamente, como resultado del cambio climático. Los biocombustibles han sido objeto de fuertes críticas una de ellas es la contaminación que generan por su extracción y la otra que no contribuyen a reducir el efecto invernadero.

Según OLADE (2011) y el CONELEC (2010) el “Ecuador es un país en desarrollo que con la explotación petrolera empezó la modernización de su economía, moviéndose hacia un mayor crecimiento económico y consumo energético. Como resultado de ello, ha tenido una demanda de energía creciente y una modernización de su matriz energética que constituyó a los combustibles fósiles en la fuente principal de energía para el país y a la hidroelectricidad en la principal fuente de electricidad. Así, en el 2008, el petróleo representaba el 84% de la matriz energética en el país y la hidroelectricidad el 59% de la matriz eléctrica, con un 38% de electricidad generada en centrales térmicas de combustibles fósiles, mientras que otras fuentes de energía renovable como solar, eólica y geotérmica no constituían ni el 1%”.

El crecimiento poblacional de nuestro país se triplicó desde 1960, de 4'438.761 a más de 14'200.000 según INEC (2009), incrementando con ello el consumo de energía procedente de combustibles fósiles, aumentando la emisión de contaminantes, con afcción a la calidad de aire local y regional, afectando la biodiversidad, la calidad del recurso hídrico e incumpliendo con la meta 4.3.3 del Plan Nacional para el Buen Vivir (PNBV) que consiste en alcanzar el 6% de

fuentes de energía renovable diferentes de la hidroelectricidad en la matriz eléctrica del Ecuador.

Según el CONELEC (2011), en su publicación anual “Estadística del sector Eléctrico Ecuatoriano”, la potencia de generación instalada del país es de 4.838,16 MW, de ésta 2.303,01 MW corresponde a energías renovables que equivale al 47,60% del total existente. Del total de energía renovable generada 2.207,17 MW corresponde a hidroeléctrica esto es el 45.62%, 93,4 MW a biomasa que corresponde el 1,93%, 2,4 MW a eólica que equivale al 0,05% y apenas 0,04 MW a solar que corresponde al 0,001%; quedando evidenciado que nuestro país tiene muy baja oferta de producción de energía eléctrica mediante fuentes de energías renovables no convencionales y que dependemos del 52,4% de energía no renovable.

La ESPE Extensión Latacunga, es una extensión de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ubicada en la ciudad de Latacunga provincia de Cotopaxi, constituye uno de los centros de educación superior más prestigioso del Ecuador, el Consejo Nacional de Evaluación y Acreditación de la Educación Superior del Ecuador (CONEA), en el año 2009 la ubicó en la categoría "A", la máxima calificación otorgada a los Centros de Educación Superior en el país, fundada el 4 de julio de 1984, oferta en la actualidad 6 carreras técnicas, 3 administrativas, 2 programas de idioma extranjero y el Kichwa, acoge en la actualidad a aproximadamente 3000 estudiantes.

Para cumplir con su misión y visión, el 30 de mayo del 2012 la ESPE Extensión Latacunga inauguró la primera fase de su nuevo campus “Gral. Guillermo Rodríguez Lara”, ubicado en la parroquia Belisario Quevedo del Cantón Latacunga, una vez culminada tendrá una capacidad para 2080 estudiantes, todo dependerá de los recursos que asigne el gobierno en favor de la educación.

En la actualidad el consumo eléctrico aproximado bordea los 50 kW/h. No se dispone de un sistema alternativo de energía en caso de emergencia y sobre todo en su sistema energético actual no se considera la utilización de fuentes de energías renovables para satisfacer su demanda energética.

Si no se diseña un plan para incorporar al menos una fuente de energía renovable al sistema energético del “Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara” de la ESPE Extensión Latacunga, se dependerá de una única fuente de energía eléctrica, se deberá adquirir un generador de energía de combustible fósil para casos de emergencia; al ocurrir esto se contribuirá con la emisión de contaminantes, afectando la calidad de aire local, la biodiversidad, incumpliendo con la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, en la cual menciona que se debe fomentar el desarrollo y uso de los recursos energéticos no convencionales a través de los organismos públicos, las universidades y las instituciones privadas.

Evaluando las fuentes de energía solar y eólica que se pueden aprovechar en la Parroquia Belisario Quevedo del Cantón Latacunga, así como el consumo energético del Campus, se podrá diseñar un sistema que incorpore al menos una fuente de energía alternativa al sistema energético del Campus “Gral. Guillermo Rodríguez Lara” de la ESPE Extensión Latacunga.

La presente investigación se lo realizará durante los periodos 2012 - 2013, en Campus “Gral. Guillermo Rodríguez Lara” de la ESPE Extensión Latacunga, ubicado en la Parroquia Belisario Quevedo, del Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, en el área de energías renovables, para la determinación del potencial de fuentes de energía renovables aprovechables en el lugar y diseñar un plan para su incorporación al sistema energético actual.

La incorporación de energías renovables en los sistemas energéticos existentes, es posible desde el punto de vista tecnológico y legislativo, sin embargo existen obstáculos como: la falta de infraestructura que permita el desarrollo nacional de esta industria, se hace difícil competir con costos de energía actuales, porque el ahorro de las renovables son a muy largo plazo.

1.2. Formulación del Problema

El sistema energético actual del Campus “Gral. Guillermo Rodríguez Lara” de la ESPE Extensión Latacunga no considera la utilización de energías renovables como fuente de energía alterna.

1.3. Objeto de estudio

Energía solar con fines de generación eléctrica en la parroquia Belisario Quevedo del cantón Latacunga

1.4. Justificación de la Investigación

El crecimiento de la población mundial y la búsqueda de mejores estándares de vida, muestran un crecimiento en la demanda de energía eléctrica para sostener a la sociedad moderna, la cual se incrementa exponencialmente. Como medida para neutralizar este exceso de demanda, se ha optado por la explotación de fuentes de energía alternativas y renovables, para la generación de energía eléctrica y de esta manera disminuir la dependencia de los combustibles fósiles por ende la contaminación del medio ambiente.

El gobierno a través de sus ministerios está implementando nuevas políticas para el cambio de la Matriz Energética Nacional hacia el 2020 mediante estrategias, proyectos y acciones tendientes a desarrollar y aplicar planes de energía renovable y el uso eficiente de la misma, en todo el país.

La ventajosa localización geográfica del Ecuador, permite que el recurso solar sea abundante y con condiciones muy favorables de radiación, tanto para aplicaciones de energía solar fotovoltaica como para energía solar térmica, esto se debe a que el ángulo de incidencia de la luz solar es perpendicular a su superficie durante todo el año, situación que no ocurre en otros sitios del planeta, en donde el ángulo de incidencia de la luz solar, varía acorde a las estaciones del año.

Evaluando el potencial de energía solar existente en la Parroquia Belisario Quevedo del Cantón Latacunga, se podrá diseñar un plan para incorporar una fuente de energía renovable al sistema energético actual del Campus “Gral. Guillermo Rodríguez Lara” de la ESPE Extensión Latacunga, minimizando la dependencia de una única fuente de energía alterna, prescindiendo de una central de generación térmica de combustible fósil, contribuyendo con la búsqueda de nuevas formas de energía que reemplacen a las contaminantes, sin deteriorar el medio ambiente, afectar el ecosistema y cumpliendo con la reglamentación existente.

El estudio de las energías limpias se viene dando e implementando ya en varios países, se requiere para ello de recursos, que costeen los gastos de implementación, pero debemos tomar en cuenta que a largo plazo una inversión de este tipo puede representar un ahorro significativo en las planillas que paga mensualmente la ESPE Extensión Latacunga, de la misma manera podemos contribuir con el medio ambiente ya que con éstas energías la contaminación es mínima.

El artículo 5, literal k de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico menciona, “Fomentar el desarrollo y uso de los recursos energéticos no convencionales a través de los organismos públicos, las universidades y las instituciones privadas”.

El artículo 63, de la LRSE “El Estado fomentará el desarrollo y uso de los recursos energéticos no convencionales a través de los organismos públicos, la banca de desarrollo, las universidades y las instituciones privadas. El CONELEC asignará con prioridad fondos del FERUM a proyectos de electrificación rural a base de recursos energéticos no convencionales tales como energía solar, eólica, geotérmica, biomasa y otras de similares características” por ello es factible la ejecución del presente proyecto”.

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

Por razones tanto económicas (agotamiento del recurso hidrocarburífero) como ecológicas (alteración de la atmósfera y el suelo), es imperativo el desarrollo de nuevas alternativas energéticas que sean menos agresivas contra el ambiente.

Por todo ello, es conveniente apostar por las Energías Renovables No Convencionales, un recurso limpio, inagotable, de fácil instalación y que se adapta perfectamente al ámbito rural y urbano.

1.5. Objetivos

1.5.1. Generales

1. Evaluar el potencial de energía solar de la Parroquia Belisario Quevedo del Cantón Latacunga así como el consumo energético del Campus “Gral. Guillermo Rodríguez Lara” de la ESPE Extensión Latacunga.
2. Analizar la factibilidad de incorporar un sistema de generación limpia como fuente de energía alternativa al sistema energético del Campus “Gral. Guillermo Rodríguez Lara” de la ESPE Extensión Latacunga.

1.5.2. Específicos

1. Analizar el marco teórico relacionado con la generación de energía a través de fuentes alternativas.
2. Evaluar el potencial de energía solar de la Parroquia Belisario Quevedo del Cantón Latacunga.
3. Determinar el consumo energético del Campus “Gral. Guillermo Rodríguez Lara” de la ESPE Extensión Latacunga.
4. Analizar la factibilidad de incorporar la fuente de energía solar al sistema energético del Campus “Gral. Guillermo Rodríguez Lara” de la ESPE Extensión Latacunga.
5. Proponer un sistema de generación eléctrica por energía solar fotovoltaica, como fuente alternativa energía eléctrica, que mejor se adapte a las instalaciones del Campus.

1.5.3. Campo de acción

Generación a través de energía solar fotovoltaica del Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara de la ESPE Extensión Latacunga.

1.6. Hipótesis.

Evaluando el potencial de la fuente de energías solar existente en la parroquia Belisario Quevedo del cantón Latacunga en función del consumo energético del Campus “Gral. Guillermo Rodríguez Lara de la ESPE Extensión Latacunga, se

podrá proponer un sistema de generación por energía solar fotovoltaica, como fuente alternativa energía eléctrica al sistema energético del edificio.

1.7. Enfoque de la investigación.

Este trabajo se enfoca a determinar en forma técnica y económica el potencial solar útil de la parroquia Belisario Quevedo del cantón Latacunga, el consumo energético del Campus “Gral. Guillermo Rodríguez Lara” y analizar la factibilidad de incorporar al menos energía fotovoltaica al sistema energético actual del edificio.

1.8. Conclusiones del capítulo.

Se evidenció que nuestro país tiene muy baja oferta de producción de energía eléctrica mediante fuentes de energías renovables no convencionales y que dependemos más de energía no renovable.

Que el sistema energético actual del Campus “Gral. Guillermo Rodríguez Lara” de la ESPE Extensión Latacunga no considera la utilización de energías renovables como fuente de energía alterna y si no se diseña un plan para incorporar al menos una fuente de energía renovable a su sistema se dependerá de una única fuente de energía eléctrica y se deberá adquirir un generador de energía de combustible fósil para casos de emergencia.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se establece el marco teórico, los antecedentes, la conceptualización, el marco legal y reglamentario vigente, necesarios para la fundamentación legal del proyecto.

2.1. Antecedentes de la Investigación.

Por razones económicas, como es el agotamiento del recurso hidrocarburífero, así como ecológicas, la alteración de la atmósfera y el suelo, es imprescindible el desarrollo de nuevas fuentes de energía alternativas que sean menos agresivas contra el ambiente.

A nivel mundial las diferentes energías renovables no convencionales han tenido avances sustanciales en la tecnología para aprovechar los recursos cada vez de manera más eficiente. Europa, Estados Unidos, Canadá y los países de Asia oriental han invertido gran cantidad de recursos económicos y humanos para el desarrollo de las ERNC. La energía eólica, fotovoltaica y calórica son las que mayores progresos han logrado en los últimos años. En la primera década del siglo XXI, este tipo de energías ha tenido un aumento considerable en lo que ha capacidad instalada se refiere.

En el Ecuador se han conseguido algunos avances importantes en este tema como: la construcción del parque eólico Villonaco, en la provincia de Loja, con una capacidad de generación de 16.5 MW; la instalación de tres aerogeneradores en la isla San Cristóbal, con una capacidad de 2.4 MW; la instalación de la primera planta de energía solar fotovoltaica en el cantón Pimampiro de la provincia de Imbabura, con una capacidad de 1MW, la instalación del parque fotovoltaico en la isla Floreana entre otros de carácter aislado instaladas en las diferentes regiones rurales del país, hasta el 2015 está previsto que en el Ecuador se instalen 15 nuevos proyectos fotovoltaicos que bordean los 287 MW. MEER (2013)

La ubicación geográfica del Ecuador, lo convierte en un país privilegiado en lo que a recurso solar se refiere, esto se debe a que el ángulo de incidencia de la luz solar es perpendicular a su superficie durante todo el año, situación que no ocurre en otros sitios del planeta, en donde el ángulo de incidencia de la luz solar, varía acorde a las estaciones del año.

Sin embargo en nuestro país el tema de generación eléctrica fotovoltaica es nuevo, sobre todo el sistema solar fotovoltaico conectado a la red, hay escasa investigación en este campo, mayormente se han desarrollado proyectos orientados a la electrificación rural aislada, proyectos muy puntuales se han desarrollado como: Basantes Eduardo, Lechón Luis, “Análisis Técnico Económico para la Implementación de una Central Solar Fotovoltaica en la parroquia San Antonio de Pichincha”, Tesis EPN (2011). Roldán Pablo, “Evaluación de las energías renovables no convencionales factibles de desarrollarse en el Ecuador”. Tesis EPN (2009). Herrera Vanessa, “Sistema híbrido eólico-fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa”, Tesis UTA (2011). Bejarano Néstor, “Diseño de un sistema de generación eléctrico solar para la iluminación externa del modular de la Escuela de Ingeniería en Ecoturismo”, Tesis ESPOCH (2011). Loaiza Juan, Manitio Dany, “Aplicación de la energía solar en una casa rural”, Tesis EPN, (2006), entre otras.

2.2. Fundamentación Teórica.

Entre los diferentes sistemas que utilizan fuentes de energía renovables, los basados en tecnología fotovoltaica son muy prometedores gracias a sus cualidades intrínsecas: tienen costes de funcionamiento muy reducidos porque el "combustible" es gratis y unas necesidades de mantenimiento limitadas, son fiables, no producen ruido y son fáciles de instalar. Además, la energía fotovoltaica en algunas aplicaciones aisladas es definitivamente mejor que otras fuentes energéticas, sobre todo allí donde la instalación de líneas eléctricas tradicionales resulta difícil y costosa. A nivel mundial, la energía fotovoltaica está aumentando enormemente gracias a la política de tarifas reguladas, un mecanismo para financiar el sector FV que subvenciona, por medio de incentivos concedidos por los gobiernos, la energía eléctrica producida por plantas conectadas a la red.

Energías Renovables.- Castro Miguel (2011) define: “Se conoce como energía renovable a toda aquella energía que se la obtiene de fuentes naturales prácticamente inagotables. Se las denomina renovables ya que están en permanente renovación por medios naturales. La renovación de estas energías es

posible ya que dependen de ciclos cerrados, los cuales a su vez dependen de factores externos a la corteza terrestre, que es la capa terrestre donde se aprovechan las energías renovables”.

La energía solar o irradiación solar es el motor fundamental para el movimiento de grandes masas de agua y aire, así como el responsable directo de la vida. Las energías eólica, hidráulica, fotovoltaica, biomasa, térmica, etc. son energías que dependen de alguna manera de la energía proveniente del sol, WWF, Fundación Natura (2003).

Otro tipo de energía renovable es la geotérmica, este tipo de energía se la obtiene del calentamiento interno de la tierra. Es la energía que se emite desde el centro del planeta tierra hacia sus capas exteriores.

Los océanos son masas de agua gigantes que se encuentran en constante movimiento, el desplazamiento total de la masa de agua se mueve como un solo cuerpo de lado a lado, a este fenómeno se denomina marea. Las mareas son causadas por el acercamiento o distanciamiento de la luna con respecto a nuestro planeta Tierra. El aprovechamiento de la energía producida por las mareas se denomina energía mareomotriz.

Además de la energía mareomotriz, existen otros tipos de energías renovables que tienen origen en los mares y océanos. La energía undimotriz aprovecha el movimiento superficial del agua de los océanos, el movimiento de las olas; la energía mareotérmica que aprovecha la diferencia de temperaturas a diferentes profundidades del mar.

Energías no renovables.- Buitrón y Burbano (2010) definen como las fuentes de energía que se encuentran de forma limitada en el planeta y que se pueden agotar o “su regeneración es muy lenta” para poder volver a ser utilizada. Dentro de este tipo se encuentran los combustibles fósiles (carbón, gas natural, petróleo y sus derivados). Estas fuentes son las más comunes y las más utilizadas por el hombre como fuente principal de energía, las cuales impulsan incluso la economía de muchos países como el Ecuador, provocando muchos daños ambientales por su combustión y por los desechos creados a partir de sus derivados.

Energía solar o radiación solar.- Castro y Colmenar (2011) mencionan “La radiación solar está formada por una mezcla de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias. Algunas de ellas, las de longitud de onda comprendida entre 0,4 y 0,7 μm , pueden ser detectadas por el ojo humano, constituyendo lo que se conoce como luz visible. Otras, aunque no visibles, hacen notar sus efectos, al ceder a los cuerpos la energía que transportan”.

Hans (1994) en su libro Aplicaciones Prácticas Energía Solar explica: “La radiación que llega a la superficie terrestre no es constante, sino que varía de forma aleatoria debido a muy diversos efectos que provoca sobre ella la atmósfera terrestre. Una gran parte de la radiación es absorbida o dispersada en la atmosfera como consecuencia de su propia estructura y de los agentes variables que allí se encuentran, como la polución y la nubosidad”.

Hauliaquet Ch., Baratcabal D. y Batellier J (2005) concluyen “En la superficie terrestre se puede descomponer la radiación solar en tres tipos como muestra la Figura 2.1 y que depende muy directamente de la naturaleza del suelo.

a) Radiación solar directa.- Es aquella que se recibe del Sol sin haber sufrido ningún cambio de dirección por reflexión o difusión.

b) Radiación solar difusa.- Es la que se recibe del sol después de haber sufrido cambios de dirección al atravesar la atmosfera.

c) Radiación reflejada o de albedo.- Procede del suelo, debida a la reflexión de parte de la radiación incidente sobre él.

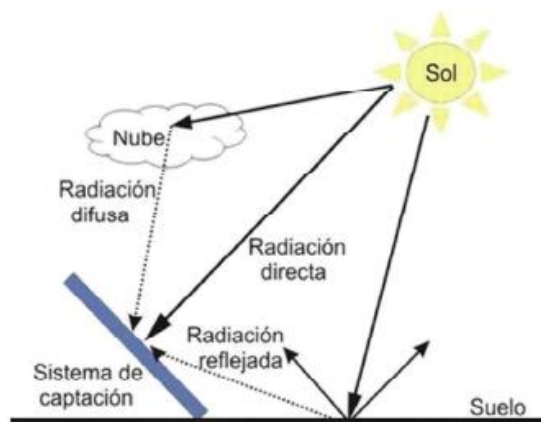


Figura 2.1.- Descomposición de la Radiación Solar.

La radiación solar total sobre la superficie terrestre es la suma de estas tres componentes y se miden con diferentes instrumentos como lo describe la tabla 2.1

Tabla 2.1- Instrumentos de medida.

Instrumento de Medida	Detalle de la Medición
Piranómetro	Radiación global, directa, difusa, reflejada
Pirheliómetro	Radiación solar directa e incidencia normal
Actinógrafo	Radiación global
Heliógrafo	Brillo solar
Solarímetro	Brillo solar

Piranómetro.- Es un instrumento utilizado para medir la radiación solar directa y difusa, consiste de una serie de termocuplas, formadas por la unión de dos placas metálicas de diferente material y conductividad térmica, pintadas de color blanco y negro en un pequeño disco. El cambio de temperatura en estas placas produce un cambio de voltaje que es proporcional a la radiación. Para neutralizar los factores ambientales como la lluvia, el viento, polvo y polución, que pueden alterar la medición, posee una cúpula de vidrio óptico protector, como se observa en la figura 2.2

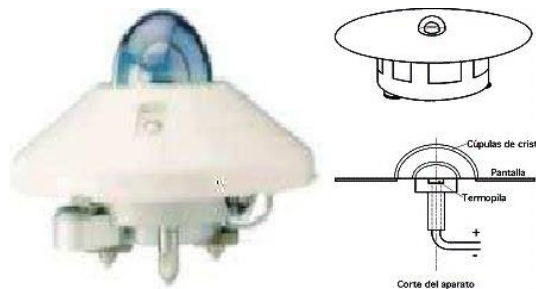


Figura 2.2.- Piranómetro

Actinógrafo.- Es un instrumento utilizado para medir radiación global, funciona mediante un sensor termomecánico, protegido por una cúpula en vidrio, está formado por un arreglo bimetalico de dos superficies, la una pintada de color negro para que absorba las ondas electromagnéticas de radiación solar y la otra de color blanco para que las refleje, y así generar una diferencia de temperatura, ésta provoca una curvatura en la placa de color negro que se amplifica por medio de

palancas y se transmiten a un tambor movido por un mecanismo de reloj para describir una gráfica que registra los valores de radiación global. Figura 2.3



Figura 2.3.- Actinógrafo

Heliógrafo.- Este instrumento registra las horas de sol efectivas en el día, insolación o brillo solar. Opera focalizando la radiación solar por medio de una esfera de vidrio, en una cinta con escalas de horas, que por la exposición a la radiación solar directa se quema formando líneas, como indica la Figura 2.4



Figura 2.4.- Heliógrafo de Campbell-Stokes

El estudio de la energía solar, el desarrollo tecnológico y la medición de los valores de radiación solar sirven para el diseño de varias aplicaciones y usos, como son la generación eléctrica, generación térmica, biomasa, eólica, hidroeléctrica.

Energía Fotovoltaica¹.- Entre las diferentes manifestaciones de la energía solar, la energía fotovoltaica aprovecha directamente la radiación solar para generar energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos. La energía fotovoltaica aprovecha la energía de los fotones de la radiación solar. El fotón al chocar con un

¹ http://www.energia-solar-fotovoltaica.info/2_Breve_Historia/2_Antecedentes_de_la_energia_solar_Fotovoltaica.html

metal libera electrones, los cuales generan corriente eléctrica. La cantidad de electrones liberados depende directamente de la frecuencia de onda de los mismos. A mayor frecuencia, mayor energía liberada, por tanto mayor cantidad de electrones. Si se cuenta con una gran cantidad de fotones se obtiene una cantidad de electrones suficientes para generar energía eléctrica de forma continua.

Generador fotovoltaico².- Está formado por conjuntos de módulos fotovoltaicos, utilizados para transformar la energía solar disponible en energía eléctrica, conectados en arreglos en serie y/o paralelo, con la combinación adecuada para obtener la corriente y el voltaje necesarios para una determinada aplicación.

Generalmente los sistemas fotovoltaicos se emplean en aquellos lugares, donde no se tiene acceso la red eléctrica y resulta más económico instalarlos, que la extensión de la misma, pero también se podría tener sistemas dentro de la ciudad o interconectados a la red eléctrica.

Sistema Fotovoltaico Aislado de la Red.- Son un conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que son utilizados para transformar la energía solar disponible en energía eléctrica, por medio de una celda fotovoltaica, son autónomas y de poca potencia, destinadas a cubrir necesidades básicas de electrificación rural o de zonas aisladas, sistemas de bombeo, alumbrado público, señalización, telecomunicaciones, telemetría, espacial y satelital, entre otras. En la figura 2.5 se muestran sus componentes.

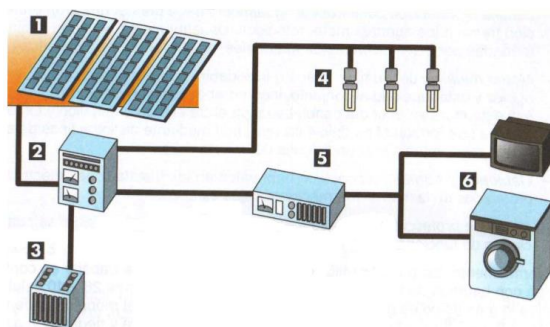


Figura 2.5- Sistema fotovoltaico aislado de la red: 1) Módulos fotovoltaicos, 2) Regulador, 3) Acumulador, 4) Carga en CD, 5) Inversor CD/AC, 6) Carga en AC

² García A., Romero E., (2011), Instalación Fotovoltaicas, Universidad de Sevilla

Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red.- Son componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que se utilizan para transformar la energía solar disponible en energía eléctrica por medio de una celda fotovoltaica, conectadas directamente a la red, destinadas a atender la demanda propia y vender los excedentes al sistema interconectado. La ventaja de realizar este tipo de instalación es que no poseen baterías ni reguladores, componiéndose únicamente de módulos fotovoltaicos y del inversor. Tienen la ventaja de que su producción se genera justamente cuando la demanda de electricidad aumenta, es decir durante el día, siendo muy importante los kilovatios generados de esa forma. Entre las principales aplicaciones están los huertos solares y los edificios fotovoltaicos. La figura 2.6 muestra sus componentes.

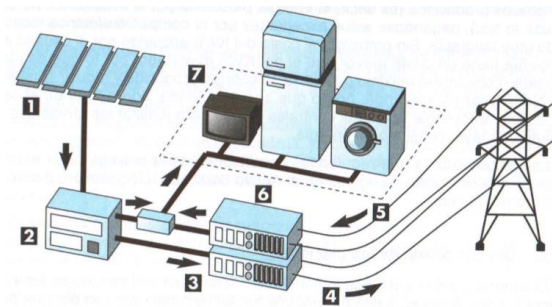


Figura 2.6.- Sistema fotovoltaico conectado a la red: 1) Generador fotovoltaico, 2) Convertido DC/AC, 3) Contador de energía, 4) Energía generada vertida a la red, 5) Energía tomada de la red, 6) Contador de energía consumidos de la red, 7) Carga en AC.

Celdas Fotovoltaicas.- Son sistemas fotovoltaicos que convierten directamente parte de la luz solar en electricidad, están contruidos con materiales fotoeléctricos compuestos de un ánodo y un cátodo recubierto de un material fotosensible. La luz que incide sobre el cátodo libera electrones que son atraídos hacia el ánodo, de carga positiva, originando un flujo de corriente proporcional a la intensidad de la radiación, que hace que absorban fotones de luz y emitan electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad. Las celdas fotovoltaicas se fabrican principalmente de silicio. En la figura 2.7 se grafica su principio de funcionamiento.

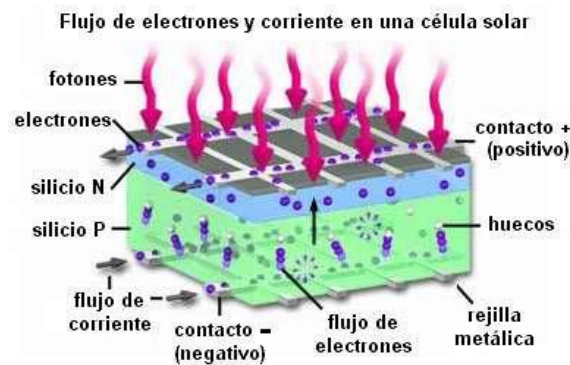


Figura 2.7.- Principio de una celda fotovoltaica

Inversor.- Es el elemento que transforma la energía eléctrica (corriente continua) producida por los paneles en corriente alterna de las mismas características que la de la red eléctrica. Existen diferentes tipos de inversores, pero se considera recomendable escogerlo en función del tamaño de la instalación a realizar.

Contadores.- El generador fotovoltaico necesita dos contadores ubicados entre el inversor y la red, uno para cuantificar la energía que se genera e inyecta a la red para su facturación, y otro para cuantificar el pequeño consumo del inversor fotovoltaico en ausencia de radiación solar, así como garantía para la compañía eléctrica de posibles consumos que el titular de la instalación pudiera hacer.

Consumo energético.- OLADE (2011), define “Es el gasto total de energía para un proceso determinado. En el caso de los hogares, el consumo energético está integrado por el consumo de energía eléctrica y de gas, gasoil y biomasa, además del que se realiza con los medios de transporte particulares (automóviles, motocicletas, etc.), que se concreta en el consumo de productos derivados del petróleo. El concepto de consumo energético está inversamente relacionado con el concepto de eficiencia energética, puesto que en la medida en que aumenta el consumo de energía por servicio prestado es cada vez menor la eficiencia energética.

Consumo sostenible.- WCED (1987) manifiesta: “El término, consumo sostenible, tiene su origen en el término, desarrollo sostenible. La definición más común de desarrollo sostenible es la utilizada por la Comisión Brundtland: Desarrollo sostenible es aquel desarrollo que cubre las necesidades presentes sin poner en riesgo la habilidad de próximas generaciones para cubrir sus propias necesidades”. Debemos considerar la necesidad de adoptar nuevos conceptos de

riqueza y prosperidad, lo cual no sólo permitirá alcanzar mayores estándares de vida mediante el cambio de los estilos de vida, sino también nos hará menos dependientes de los recursos finitos de la Tierra y nos colocará en armonía con las capacidades de ésta, Cumbre de la Tierra (2000).

Cadena Energética.- OLADE (2011) define: “Es la serie de etapas, actividades y eventos, por los que una fuente energética debe pasar desde su origen hasta su aprovechamiento, como producción, transporte, transformación, almacenamiento.

Matriz energética de un país.- OLADE (2011) define: “Es el estudio del sector energético en que se cuantifica la oferta, demanda y transformación de cada una de las fuentes energéticas al interior del país, así como al inventario de recursos energéticos disponibles; considerando para estas variables su evolución histórica y proyección a futuro. El conocimiento y análisis de la matriz energética es un elemento básico para la planificación y aseguramiento del abastecimiento energético”.

Balance energético.- OLADE (2011) define: “Contabilización de los flujos de energía en cada una de las etapas de la cadena energética y las relaciones de equilibrio entre la oferta y la demanda, por las cuales la energía se produce, se intercambia con el exterior, se transforma y se consume; tomando como sistema de análisis el ámbito de un país o una región; y para un período determinado (generalmente un año).

Eficiencia energética.- La eficiencia energética o ahorro de energía es una práctica empleada durante el consumo de energía que tiene como objeto procurar disminuir el uso de energía pero con el mismo resultado final. Esta práctica conlleva un aumento del capital financiero, ambiental, seguridad nacional, seguridad personal y confort humano.

2.3. Fundamentación Legal

En los últimos años, en el Ecuador se han dado varios cambios significativos a nivel legislativo y regulatorio, como fue en el 2008, la aprobación de la nueva Constitución, que posee varios artículos que beneficia a la investigación, entre los más destacados tenemos:

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

Art. 313.- 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.

Se consideran sectores estratégicos la energía en todas sus formas, las telecomunicaciones, los recursos naturales no renovables, el transporte y la refinación de hidrocarburos, la biodiversidad y el patrimonio genético, el espectro radioeléctrico, el agua, y los demás que determine la ley.

Art. 314.- El Estado será responsable de la provisión de servicios públicos de agua potable y riego, saneamiento, energía eléctrica, telecomunicaciones, vialidad, infraestructuras portuarias y aeroportuarias y los demás que determine la ley.

Art. 413.- El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.

El instrumento con el cual el Gobierno Nacional articula las políticas públicas con la gestión y la inversión pública, denominado “Plan Nacional para el Buen Vivir”, cuenta con 12 estrategias y objetivos nacionales, de los cuales se puede destacar:

Estrategia.- La producción, transferencia y consumo de energía debe orientarse radicalmente a ser ambientalmente sostenible a través del fomento de energías renovables y eficiencia energética.

Política 4.3.- Diversificar la matriz energética nacional, promoviendo la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles.

También hay que destacar, la creación del Ministerio de Electricidad y Energías Renovables MEER, con lo cual se evidencia el interés del gobierno en las energías renovables.

Ley de Regulación del Sector Eléctrico (LRSE).- Esta ley contiene normas relacionadas con la estructura del sector eléctrico y de su funcionamiento. En el capítulo IX se fomenta el desarrollo y uso de recursos energéticos no convencionales. Se establece este tipo de recurso energético como prioritario a la hora de asignar los recursos del Fondo de Electrificación Rural Urbano Marginal (FERUM) a proyectos de electrificación rural.

Regulación CONELEC No-004/1.- Establece los precios de la energía producida con recursos energéticos renovables no convencionales. Tabla 2.2

³Tabla 2.2.- Precios Preferentes Energía Renovables en (¢USD/kWh)

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

2.4. Definición de Términos Básicos

Energía.- Galeón (2009) define: “Es la capacidad que tiene un cuerpo en un determinado instante para realizar un trabajo”.

Fuentes de energía primaria renovables.- OLADE (2011) define: “Se consideran energías renovables a aquellos recursos no fósiles de períodos de formación relativamente cortos o continuos, es decir que bajo un régimen de explotación racional, su disponibilidad no disminuye con el tiempo.

La energía solar.- Antonio Martínez, Justo Lobato (2004) definen: “Es la energía obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol”.

Hora solar pico (H.S.P.).- Se define como la cantidad de horas de sol con una intensidad de radiación de 1000 W/m², que incide sobre la superficie del módulo solar.

³ http://www.conelec.gob.ec/normativa/CONELEC_004_11_ERNC.pdf

Watio pico (WP).- Se define como la máxima potencia que puede recibir un panel o módulo fotovoltaico y coincide con una intensidad de radiación constante de 1000 W/m^2 a una temperatura de 25°C .

Consumo energético.- OLADE (2011) define: “Es toda la energía que se entrega a los sectores de consumo, para su aprovechamiento como energía útil, como electricidad y calor. Se excluye de este concepto, las fuentes utilizadas como insumo o materia prima para producir otros productos energéticos ya que esto corresponde a la actividad transformación”.

Celda solar o celda fotovoltaica.- Elemento que transforma la luz solar (fotones) en electricidad. Es el insumo fundamental de los módulos solares fotovoltaicos.

Módulo solar fotovoltaico.- Conjunto de celdas solares interconectadas dentro de una unidad sellada.

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

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

Constante solar.- Cantidad de energía solar que incide sobre una superficie de 1m^2 por segundo, cuando ésta se halla en el tope de la atmósfera a la distancia media sol-tierra. Su valor es aproximadamente 1.36 kW/m^2 .

Contador eléctrico.- Instrumento que mide la energía producida (kWh) y enviada a la red. Puede ser propiedad del cliente o de la empresa suministradora. Un contador secundario mide los pequeños consumos de los equipos fotovoltaicos (kWh) para descontarlos de la energía producida.

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

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

Sistema Híbrido.- Sistema fotovoltaico que incluye otras fuentes que generan electricidad, tales como generadores eólicos o grupos electrógenos.

Albedo.- La proporción reflejada de la radiación solar incidente en la superficie de la tierra. Un alto albedo aumenta la radiación solar reflejada.

Azimut.- Orientación del panel en plano horizontal norte 0° , este = 90° , sur = 180° y oeste = 270°

Radiación solar.- Es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol. La intensidad de la radiación solar depende de los siguientes factores: Altura solar (latitud, fecha, y hora del día), ubicación del panel (azimut e inclinación), condición atmosférica (humedad, nubosidad y polución) y altura sobre el nivel del mar. La intensidad de la radiación solar incidente (o global) es la suma de la radiación solar directa, difusa y reflejada.

2.5. Conclusiones del capítulo.

Se investigó que en nuestro país el tema de generación eléctrica fotovoltaica es nuevo, sobre todo el Sistema solar Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCCR), hay escasa investigación en este campo. Los SFCCR se utilizan para transformar la energía solar en energía eléctrica por medio de una celda fotovoltaica, conectada directamente a la red, destinada a atender la demanda propia y vender los excedentes al sistema interconectado. Su ventaja es que no poseen baterías ni reguladores, únicamente módulos fotovoltaicos e inversor. Su producción se genera cuando la demanda aumenta, esto es durante el día.

El gobierno nacional mediante leyes y regulaciones está fomentando el desarrollo y uso de recursos energéticos no convencionales, establece precios preferenciales como incentivo a instituciones o entidades que generen electricidad mediante energías alternativas.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

En este capítulo se establece la metodología, el diseño, la modalidad, tipo y nivel de investigación, la población y muestra, los métodos y técnicas que se utilizaron, la operacionalización de las variables y el procedimiento de la investigación.

3.1. Diseño de la investigación.

En la presente investigación se evaluó el potencial de energía solar aprovechable en la parroquia Belisario Quevedo del cantón Latacunga, el consumo energético del Campus “Gral. Guillermo Rodríguez Lara” de la ESPE Extensión Latacunga, durante el periodo 2012 – 2013, y se estableció un sistema de generación eléctrica por energía solar fotovoltaica como fuente alternativa de energía para el edificio.

Este trabajo se lo realizó bajo la modalidad de campo, de carácter exploratorio, con nivel descriptivo explicativo.

3.2. Modalidad de la investigación.

Esta investigación se relacionó con la modalidad de campo, tipo exploratoria y nivel descriptiva, debido a que para su elaboración fue necesaria la medición de las variables en el mismo lugar, la utilización de atlas y mapas con fines de generación eléctrica en el país, la recopilación de información de diversas fuentes bibliográficas para determinar el potencial energético de la Parroquia Belisario Quevedo del Cantón Latacunga y se recreó diversos escenarios para caracterizar el potencial energético del lugar y proponer un sistema de generación limpio como fuente alternativa de energía eléctrica que se adapte a las instalaciones del Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara de la ESPE Extensión Latacunga.

3.3. Tipo de investigación.

3.3.1. Bibliográfica.- Se utilizó la investigación bibliográfica para recopilar, organizar, valorar y sistematizar definiciones y teorías referentes al potencial solar fotovoltaico con fines de generación eléctrica mediante fuentes renovables.

3.3.2. De campo.- Se utilizó la investigación de campo ya que se realizaron medidas in situ para evaluar el potencial energético, comparar con los obtenidos de la revisión bibliográfica y establecer causas y efectos, de tal manera que se pueda llegar a plantear una alternativa de solución para utilizar fuentes de energía limpias con fines de generación eléctrica para el edificio.

3.3.3. Experimental.- Se empleó la investigación experimental para describir y caracterizar las fuentes de energía alternativas existentes en la parroquia Belisario Quevedo del cantón Latacunga y que pueden ser aprovechables y adaptables al Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara.

3.3.4. Correlacional y causal.- Se recurrió a la investigación correlacional y causal para establecer la relación existente entre las variables a través de la validación estadísticas de los resultados y la interpretación de los fundamentos y causa de dicha relación

3.4. Nivel de investigación.

Por la naturaleza de los datos se llegó al nivel descriptivo cuantitativo, ya que el objeto de estudio es externo al sujeto a investigar tratando de lograr la máxima objetividad. Los instrumentos utilizados recogieron datos cuantitativos los cuales también incluyeron la medición sistemática, y se empleó el análisis estadístico como característica resaltante, convirtiendo en una investigación interpretativa que va de lo general a lo particular.

3.5. Unidad de Estudio (población y muestra).

En forma general, la población es un conjunto de individuos de la misma clase, limitada por el estudio. Al respecto Ramírez (2009), dice que “La población, es la reunión de individuos, objetos, entre otros, que pertenece a una misma clase, con la diferencia que se refiere a un conjunto limitado por el ámbito del estudio a realizar”. Según Hernández, (2010) dice que: “La muestra es, un subgrupo de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características a los que llamamos población”. Un muestreo intencional, según Ramírez (2009), “Es un tipo de muestreo que implica que el investigador obtiene información de unidades

de la población escogidas de acuerdo con criterios previamente establecidos, seleccionando unidades tipo o representativas”.

Hernández (2010) “Para seleccionar una muestra, lo primero entonces es definir nuestra unidad de análisis: personas, organizaciones, periódicos, etc. El quiénes van a ser medidos”, depende de precisar claramente el problema a investigar y los objetivos de la investigación.

Estas definiciones facilitan delimitar la población que para la presente investigación serán las fuentes solar y eólica existentes en la parroquia Belisario Quevedo, del Cantón Latacunga y la muestra será las que se puedan aprovechar en función del consumo energético del Campus “Gral. Guillermo Rodríguez Larra” de la ESPE Extensión Latacunga.

3.6. Operacionalización de variables

Tabla 3.1.- Variable Independiente: Potencial energético

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Cantidad total de energía presente en el lugar por acción de la naturaleza, posible de ser aprovechada mediante el uso de tecnología	Energía Solar	Radiación solar Heliofanía	w/m2/día h/día	Cálculos	Atlas solar y/o Bases de datos
		Potencial energético	W	Cálculos	Ecuaciones
	Energía Eólica	Potencial energético	W	Cálculos	Mapa eólico

Tabla 3.2.- Variable Dependiente: Consumo energético

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Necesidad o demanda de energía de un equipo o área para mantenerlo funcionando por un espacio de tiempo	Demanda	Energía consumida	kWh	Cálculos	Medidor de energía Planillas de pagos
	Prefactibilidad	Costo	\$	Cálculos	Ecuaciones

Fuente: Fausto Acuña

3.7. Instrumentos de la investigación.

La recolección de la información fue por observación y trabajos de campo, se utilizó atlas y mapas solares, mediciones in situ y bases de datos que permitieron

evaluar el potencial energético de las fuentes de energías renovables de la parroquia Belisario Quevedo, del cantón Latacunga.

Para evaluar el consumo de energía del Campus “Gral. Guillermo Rodríguez Lara” de la ESPE Extensión Latacunga, se utilizó un Analizador de la Energía y de la Calidad Eléctrica tipo industrial, de propiedad de ELEPCO S.A., instalado por una semana, para detectar y registrar todos los detalles de las perturbaciones eléctricas, realizar análisis de tendencias y verificar la calidad del suministro eléctrico durante intervalos de tiempo.

3.8. Métodos y técnicas.

Existen algunos métodos, a parte del de medición in situ, que se han desarrollado para poder estimar valores de radiación solar en emplazamientos en los que no se disponen de medidas históricas, entre los más nombrados: utilizar datos de estaciones cercanas, válida únicamente si el terreno llano y la distancia entre estaciones es menor a 10 Km., interpolar valores a partir de medidas de la radiación solar en otras estaciones, aplicable cuando la red de estaciones de radiación solar tiene una densidad de entre 20 y 50 Km de distancia entre estaciones, modelos de interpolación que tienen en cuenta la topografía del terreno, precisan una densidad de estaciones de medida en el orden de los 100Km., modelos de tratamiento de imágenes satelital, estas imágenes son el resultado de la reflexión de los rayos solares en la superficie de la Tierra, por lo que ya han sufrido y llevan implícitas los posibles efectos de la topografía así como de los principales fenómenos atmosféricos que se producen cuando los rayos solares atraviesan la atmósfera.

Como fuente de información primaria se utilizó la observación y medición in situ, para determinar el entorno natural del lugar en busca de fuentes de energía alternativas, se efectuó trabajos de campo mediante mediciones obtenidas de la Estación Meteorológica ESPE-EL, instalada en la azotea del edificio desde diciembre del 2012. Para determinar el consumo energético del edificio, se utilizó un analizador de calidad de energía eléctrica, con el cual se obtuvo la curva de carga.

Como fuente de información secundaria se utilizó el análisis documental, a través del Atlas Solar del CONELEC, el Mapa de Irradiación Solar del INHAMI, la Base de Datos de la NASA y la base de datos de la University of Massachusetts Lowell, para comprobar si el potencial energético solar y eólico del lugar concuerdan con el obtenido mediante medición. De igual manera para corroborar el consumo energético del edificio se realizó un inventario de los equipos instalados, en especial de las luminarias instaladas en cada piso del edificio.

El CONELEC emitió el “Atlas Solar del Ecuador” elaborado por la Corporación para la Investigación Energética CIE, en el cual se cuantifica el potencial solar disponible y con posibilidades de generación eléctrica, en base a mapas mensuales de insolación directa, global y difusa y sus correspondientes isohelias. Esto con el fin de ubicar proyectos locales más específicos que permitan utilizar esta tecnología para obtener calor y electricidad para diversas aplicaciones como fabricar colectores térmicos y módulos fotovoltaicos.

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INHAMI, emitió el Mapa de Irradiación Solar Global, en base a mediciones de sus estaciones meteorológicas distribuidas en todo el país, con datos históricos de irradiación solar global en kWh/m²/día.

La NASA pone al servicio de los cibernautas su Base de Datos de mediciones meteorológicas de radiación solar a nivel mundial, con datos de 22 años atrás, mediante el método de mapeo por satélite.

La UML (University of Massachusetts Lowell) dispone de una base de datos de radiación solar a nivel mundial, que pone al servicio de los usuarios a través de su página oficial, con datos desde hace 20 años atrás.

Metodología.- Para el diseño del sistema de generación fotovoltaico para el Campus se plantea tres posibles escenarios: el primero es el diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR) en función de la demanda de carga, el segundo es el diseño de un SFCR en función de la máxima potencia generada que depende del área y el tercero es diseñar un Sistema Fotovoltaico Autónomo (SFA). En la figura 3.1 se describe la metodología a seguir para el diseño de SFCR, en función de la demanda como del área de generación, el cual inicia por

determinar la carga o área de generación, calcular los módulos, celdas, inversores, arreglos, emplazamiento, diagrama de distribución y conexión, luego se evaluará económicamente la alternativa y se establecerá conclusiones, se planteará una segunda y tercera alternativa, se evaluará económicamente y recomendará la mejor selección.

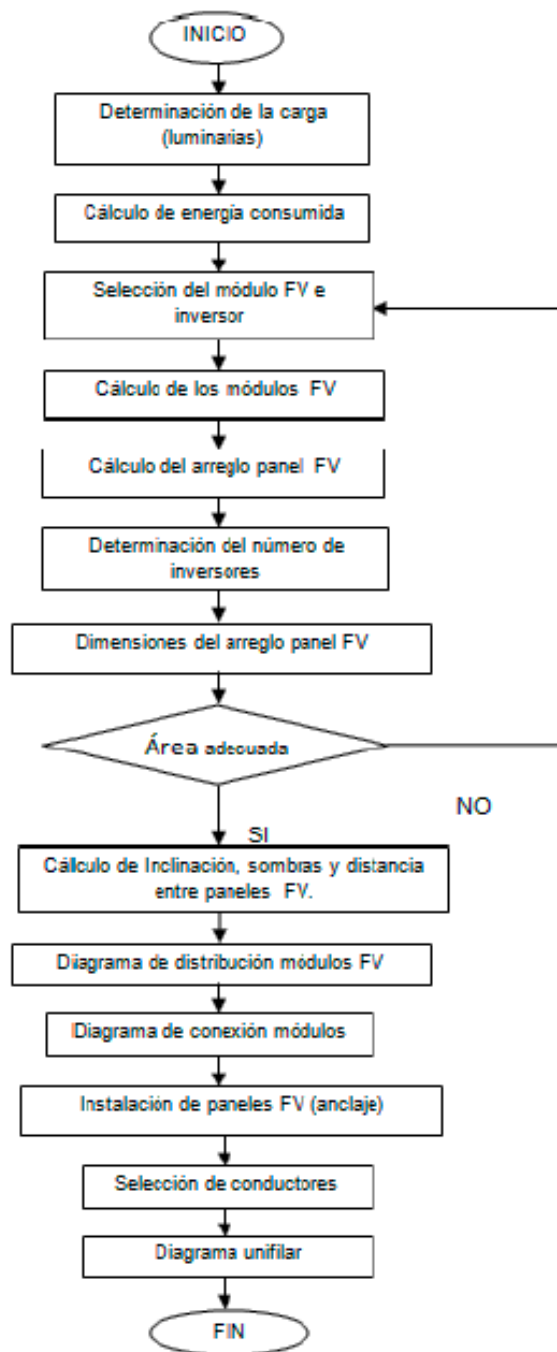


Figura 3.1.- Metodología para el diseño de un SFGR

Para el diseño del SFA, la metodología es similar, con la diferencia que se necesita calcular los acumuladores de energía ya que se trata de un sistema de generación autónomo, el proceso inicia determinando la carga, luego se calculan los módulos, celdas, inversores, arreglos, acumuladores, emplazamiento, diagrama de distribución y conexión, se efectuará una evaluación técnica económica y se establecerá conclusiones.

3.9. Procedimiento

3.9.1.- Delimitación del campo de estudio.- La parroquia rural de Belisario Quevedo, pertenece al cantón Latacunga de la provincia de Cotopaxi. Es una de sus 11 parroquias rurales. Se ubica al sur-oeste de Latacunga en las coordenadas 0°56'19''S de latitud, y 78°35'49''O de longitud (GAD de Latacunga 2011)



Figura 3.2.- Ubicación geográfica de la parroquia Belisario Quevedo

Su extensión territorial es de 63 Km², se compone de 21 barrios y 3 comunidades ubicados en dos zonas agroecológicas: la parte alta y baja. Cuenta con una población de 6.359 personas con una tasa de evolución demográfica de 1,66. En cuanto a los servicios básicos, el 24% de viviendas cuenta con servicio de telefonía fija, el 84% tiene acceso al servicio eléctrico y el 48% se provee de agua para consumo humano de red pública. El clima varía según la zona baja o alta, tanto la temperatura como la precipitación y la velocidad del viento varían, en la tabla 3.3 se resume el clima. (GAD de Belisario Quevedo 2011-2025)

Tabla 3.3.- Clima de la Parroquia Belisario Quevedo

Variable Meteorológica	Zona baja	Zona alta
Temperatura media anual	13.3 °C	7.7 °C
Temperatura media mensual	12.4 a 13.8 °C	6 a 12 °C
Temperatura extrema	Máx: 27.5 °C Mín: 6 °C	Máx: 18 °C Mín: 7.5 °C
Velocidad promedio anual de viento	Máx: 6.5 m/s Mín: 4.6 m/s en Octubre Mín: 3.6 m/s en Julio	Máx: julio y agosto
Precipitación media	Máx lluvia: 450 a 700 mm. de febrero a mayo, octubre y noviembre Mín secos: julio y agosto	Máx lluvia: 700 a 1500 mm. de febrero a abril Mín secos: junio a septiembre
Nubosidad media anual	6/8 de cielo cubierto 7/8 más nublado entre febrero y mayo	

Fuente: Plan de Belisario Quevedo 2000. Elaboración: Gobierno parroquial rural de Belisario Quevedo

3.9.2.- Ubicación geográfica del Campus.- El Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara de la ESPE Extensión Latacunga, está ubicado en la parroquia Belisario Quevedo del cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, en las coordenadas 0°59'53"S de latitud y 78°39'53"O de longitud, a una altitud de 2740 msnm (Figura 3.3), tiene una extensión de 380.000 m², actualmente se concluyó con la primera etapa de su construcción que consta de dos bloques de aulas con capacidad para 2080 estudiantes, fue inaugurado oficialmente el 17 de septiembre de 2012 y está previsto iniciar su segunda etapa el próximo año, al final de su culminación se prevé aglutinar a 15.000 estudiantes, el anexo A1 muestra la distribución de las áreas del Campus.

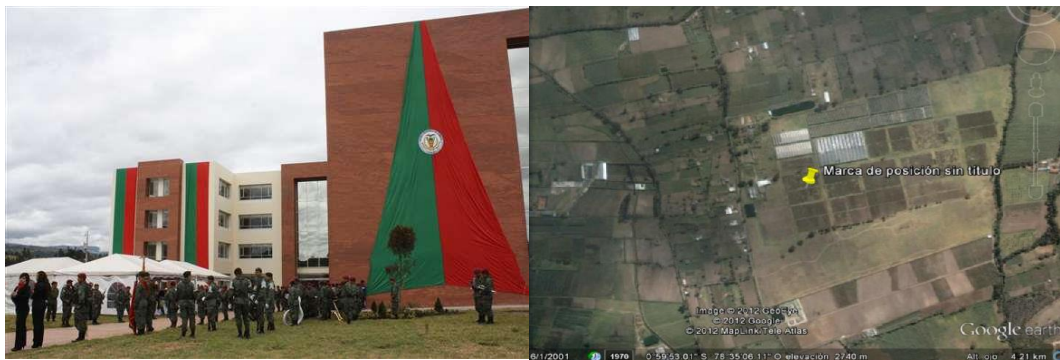


Figura 3.3.- Ubicación geográfica del Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara

3.9.3.- Estación meteorológica ESPE-EL.- Es una instalación ubicada en la azotea del edificio, está destinada a medir y registrar variables meteorológicas como: velocidad y dirección del viento temperatura, radiación solar y ultravioleta, humedad, presión barométrica, punto de rocío y precipitación. Fue instalada en diciembre del 2012. La base de datos se utiliza tanto para la elaboración de

predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos. Figura 3.4



Figura 3.4.- Estación meteorológica ESPE-EL

3.9.4.- Componentes de la estación.- Está compuesto por: 1) colector de lluvia, 2) cubierta resistente a la intemperie, 3) protector contra radiación, 4) sensores de temperatura y humedad, 5) radio spread spectrum, 6) sensor de radiación solar, 7) sensor de radiación ultravioleta, 8) consola receptor, 9) sensor de humectación de hoja, 10) sensor de humedad del suelo, 11) sonda de temperatura, 12) veleta de dirección del viento, 13) anemómetro, la figura 3.5 indica sus componentes.



Figura 3.5.- Componentes de la estación meteorológica ESPE-EL

Colector de lluvia.- Cuchara medidora de vaciado automático que mide la lluvia con resolución de 0.01" (0.2 mm). Cumple con todos los lineamientos de área de recolección establecidos por la Organización Meteorológica Mundial.

Anemómetro.- Registra velocidades de viento desde 2 mph (3km/h) hasta 180 mph (290km/h). Incluye sensores de velocidad y dirección del viento. Los robustos componentes resisten vientos con la fuerza de un huracán, pero son sensibles a las brisas más tenues.

Sensores de tempera y humedad relativa.- Localizados dentro del protector contra radiación, que protege a los sensores de la radiación solar y de otras fuentes de calor radiado y reflejado. Proveen lecturas de temperatura al aire libre de -40°F a 150°F (-40°C a 65°C). También mide la humedad relativa del 0% al 100%.

Consola receptor.- Recibe datos directamente de los sensores o es utilizada como unidad repetidores, retransmitiendo datos de una consola receptor a otra y extendiendo su alcance unos 1000 pies (300 m).

Radio Spread Spectrum.- Con salto de frecuencia asegura una transmisión constante a distancias de hasta 1000 pies (300m) entre el módulo de sensores integrados y la consola.

3.9.5.- Registro de mediciones de la radiación solar.- Utilizando la base de datos de la Estación Meteorológica ESPE-EL, se procedió tabular datos de radiación global promedio desde el mes de enero hasta mayo del 2013, la figura 3.6 registra las mediciones mensuales promedio tabuladas.

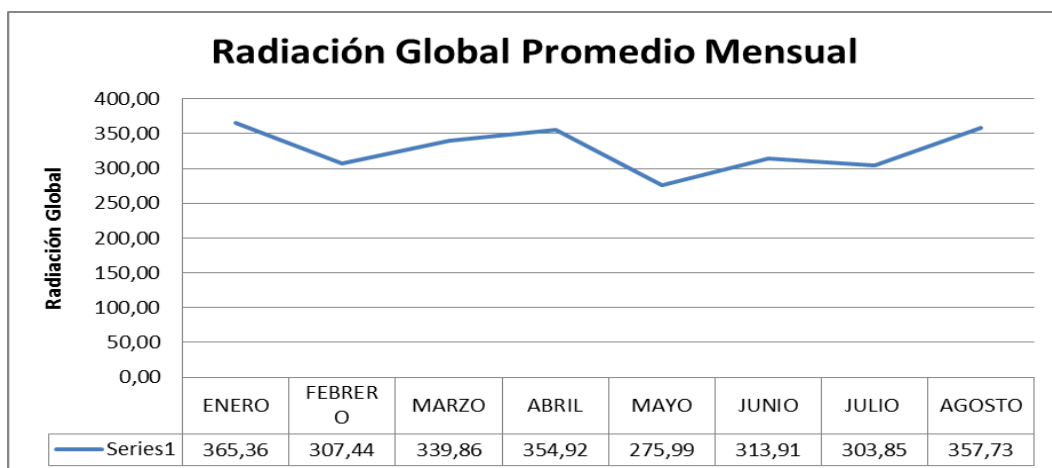


Figura 3.6.- Registro de mediciones promedio de radiación solar global.

3.9.6.- Descripción del sistema eléctrico del Campus.- El suministro de energía eléctrica del Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara provee la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi, ELEPCO S.A., desde la subestación de Salcedo por medio

de una línea de 13.8 KVA, las diferentes dependencias del Campus son alimentadas mediante 12 diferentes centros de transformación distribuidos en forma radial debido a su extensión y por la demanda que ésta exige, la Tabla 3.4 muestra la potencia instalada y en el anexo A2 se indica la distribución.

Tabla 3.4.- Distribución de Centros de Carga

C.T. No	Ubicación	P. Instalada (KVA)
CT-01	Edificio administrativo	100
CT-02	Auditorio	75
CT-03	Bloque de aulas	200
CT-04	Reciclaje y desechos	30
CT-05	Laboratorios	100
CT-06	Bloque de aulas	300
CT-07	Biblioteca	75
CT-08	Residencia Universitaria	150
CT-09	Comedor cocina	30
CT-10	Talleres	50
CT-11	Área deportiva descubierta	30
CT-12	Área deportiva cubierta	30
TOTAL		1200

3.9.7.- Determinación de la demanda del bloque de aulas.- Para determinar la demanda actual del bloque de aulas, único edificio construido y en funcionamiento, se recurrió a la utilización del analizador de calidad de energía eléctrica trifásica marca PowerPad, modelo 3945-B, de propiedad de ELEPCO S.A., el mismo que se instaló por 5 días consecutivos, obteniéndose la curva de carga que se representa en la Figura 3.7

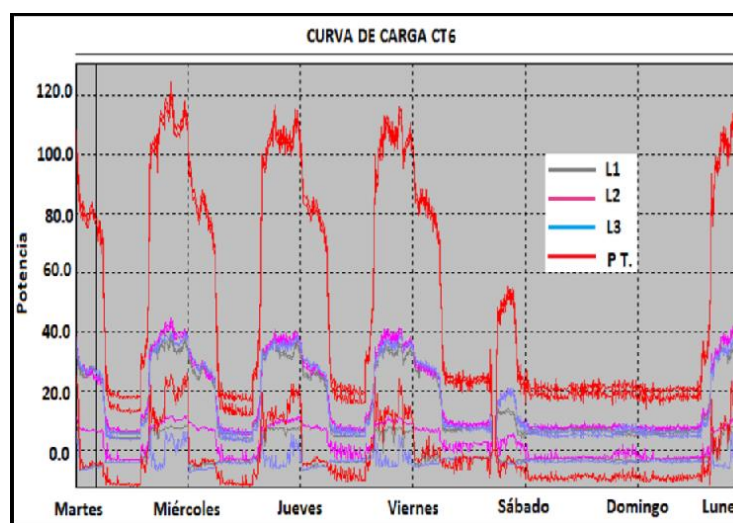


Figura 3.7.- Curva de carga del CT-06

Como se puede apreciar el consumo de carga máxima es de 115 KW.

3.10.- Conclusiones del capítulo.

Se estableció un procedimiento para diseñar sistemas de generación fotovoltaicas conectadas a la red así como autónomas. Se delimitó y ubicó geográficamente el Campus. Se describió y registró mediciones de la estación meteorológica de la ESPE-EL. Se describió el sistema eléctrico del edificio y se determinó la demanda del mismo a través de un analizador de calidad de energía eléctrica cuyos datos de carga máxima son 115 kW y promedio de 51.33 kW.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se evaluará el potencial energético de la parroquia Belisario Quevedo del cantón Latacunga, las fuentes solar y eólica de energía aprovechables en la zona con fines de generación eléctrica para el Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara de la ESPE Extensión Latacunga, se utilizará para esto mapas solares, eólicos y bases de datos emitidos por instituciones dedicadas a esta área y se correlacionará con las medidas descritas en el capítulo anterior.

4.1.- Fuentes de energía renovables en la zona

La parroquia rural de Belisario Quevedo está ubicada al sur del cantón Latacunga, en las faldas del cerro Putzalahua, su hidrografía se compone principalmente por el río Illuchi, que nace de varias lagunas de los páramos orientales, sirve para regadío, consumo humano y para la generación de energía hidroeléctrica a través de dos mini centrales en cascada la Illuchi I y II con una potencia instalada de 8.6MW, que funcionan desde el año 1951, la figura 4.1 indica el cerro Putzalahua y la mini central.

ELEPCO S.A. en julio del 2012, socializó a los moradores del sector, el impacto ambiental que ocasionaría la construcción de la nueva central hidroeléctrica Rafael Cajiao, y la repotenciación de las centrales Illuchi I y II. Por lo anterior queda descartado definitivamente el potencial hidroeléctrico aguas abajo.



Figura 4.1.- Cerro Putzalahua y Mini Central Hidroeléctrica Illuchi

El suelo de la parroquia está distribuido en tres zonas: de vivienda urbana, de producción agropecuaria con usos intensos de pastizales, y un área agrícola. La

mayor extensión de suelo se usa para pastizales y producción agrícola, no existen proyectos o estudios de aplicación de biomasa como fuente generadora de energía. El clima varía dependiendo de la zona baja o alta, tanto la temperatura, como la precipitación media y la velocidad del viento varían, en la zona baja los descensos bruscos de temperatura son el origen de las heladas que provocan problemas a la agricultura, de la misma forma no existen registros de usos de energía eólica.

Las principales características ambientales, proporcionadas por el INHAMI, son descritas en la tabla 4.1

Tabla 4.1.- Características ambientales de la zona

Características ambientales	
Nubosidad promedio	7/8
Altitud	2757 m.s.n.m.
Humedad relativa	70%
Clima	Mesotérmico con invierno seco
Temperatura promedio anual	13.5 grados centígrados
Heliofania mensual	168.14 horas
Velocidad del viento	2.5 m/s
Viento dominante	SE
Pluviosidad	550 mm anuales

4.2. Evaluación del recurso eólico de la zona.

El 7 de marzo del 2013, el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) presentó el primer Atlas Eólico del Ecuador, con fines de generación (Anexo B1), se constituye en un referente informativo energético y se elaboró mediante un mapeo satelital, que identificó las zonas más idóneas para desarrollar estudios de viento y verificar el potencial eólico a nivel nacional.

Este atlas agrupa varios mapas geo referenciados los cuales muestran indicadores importantes para la estimación del recurso eólico, tales como: velocidad y dirección del viento, densidad de potencia, altura, rugosidad y pendiente del terreno, entre otras.

Adicionalmente, y como producto del análisis hecho durante la elaboración del mismo, el atlas incluye la estimación del potencial de generación eléctrica a partir del viento a nivel nacional como provincial.

Con este atlas se puede ubicar con mayor facilidad los sitios en donde se deberán realizar campañas de medición y posterior estudios de prefactibilidad y factibilidad, para la posible construcción de nuevos parques eólicos.

En la figura 4.2 se puede apreciar que el potencial eólico bruto disponible para la provincia de Cotopaxi está en el orden de los 18 MW, distribuidos en un área de 6 Km² del total de 6.071 Km² que dispone la provincia, con velocidades de viento que van de los 7 a los 8,5 m/s, lo que significa que apenas el 0,1% del territorio de la provincia se puede aprovechar para la generación de energía eólica.


TABLA 6: POTENCIAL EÓLICO - ELÉCTRICO ESTIMADO DEL ECUADOR									
POTENCIAL BRUTO									
PROVINCIA	POTENCIAL INSTALABLE					INTEGRACIÓN ACUMULADA			
	RANGO VELOCIDAD m/s	ÁREA [km ²]	POTENCIA INSTALABLE [MW]	FACTOR DE CAPACIDAD	ENERGÍA ANUAL [GWh/año]	VIENTO [m/s]	ÁREA [km ²]	POTENCIA INSTALABLE [MW]	ENERGÍA ANUAL [GWh/año]
Cotopaxi 	7,0 - 7,5	2,51	7,54	0,20	12,95	> 7	5,99	17,98	30,87
	7,5 - 8,0	1,84	5,52	0,25	11,85	> 7,5	3,48	10,44	22,41
	8,0 - 8,5	0,80	2,40	0,30	6,18	> 8	1,64	4,92	12,67
	> 8,5	0,84	2,52	0,35	7,57	> 8,5	0,84	2,52	7,57

Figura 4.2.- Potencial eólico bruto de la provincia de Cotopaxi

En cuanto al potencial eólico factible de instalar a corto plazo, descrito en el mismo atlas, la provincia no cuenta con dicho potencial.

Para estimar la velocidad media anual del viento a 30 metros de altura sobre el suelo, se utilizó el atlas cuyo resultado arrojó 3.5 a 4 m/s. La Figura 4.3 indica los resultados.

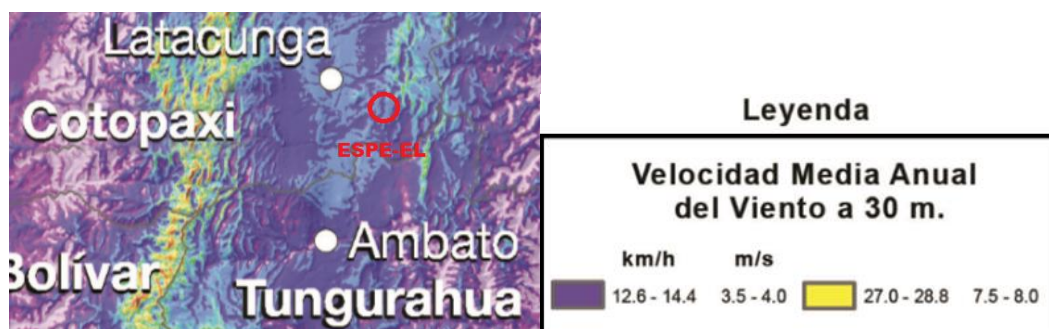


Figura 4.3.- Velocidad media anual del viento a 30 metros de altura

De la misma forma se estimó la densidad de potencia media anual del viento a 30 metros en el rango de 70 a 100 W/m², como se indica en la figura 4.4

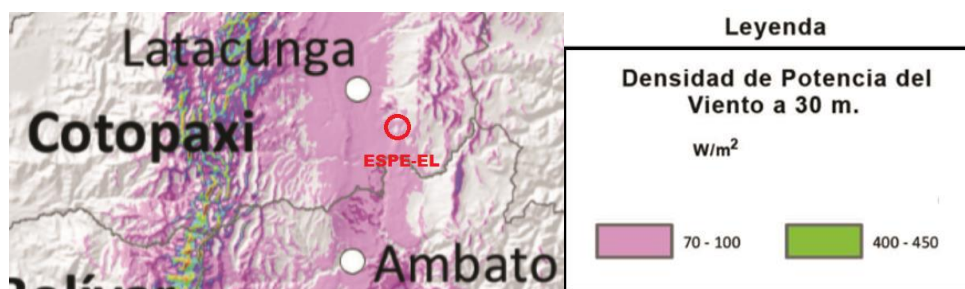


Figura 4.4.- Densidad de potencia media anual del viento a 30 metros de altura

Con los datos obtenidos es evidente que el recurso eólico en la zona es limitado. Para comprobar se utilizó la base de datos del INAMHI obtenida por mediciones en las diferentes estaciones meteorológicas distribuidas en todo el país, tabuladas y graficadas en el Anexo B2. Como se puede apreciar en el anexo, la velocidad promedio es baja y con ello tan solo se podría arrancar pero no mantener en funcionamiento una turbina eólica que como mínimo necesita 5 m/s.

4.3. Evaluación del recurso solar de la zona.

Para determinar el potencial energético solar, se tomó datos de insolación global mensual del Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica, emitido por el Consejo Nacional de Electricidad CONELEC y la Corporación para la Investigación Energética CIE en el año 2008, que recopila información histórica desde el 1 de enero de 1985 al 31 de diciembre de 1991 con un error del 10% en sus mediciones, ver Anexo B3

La figura 4.5 indica la insolación global mensual, obteniéndose un promedio de 4335,42 Wh/m²*día

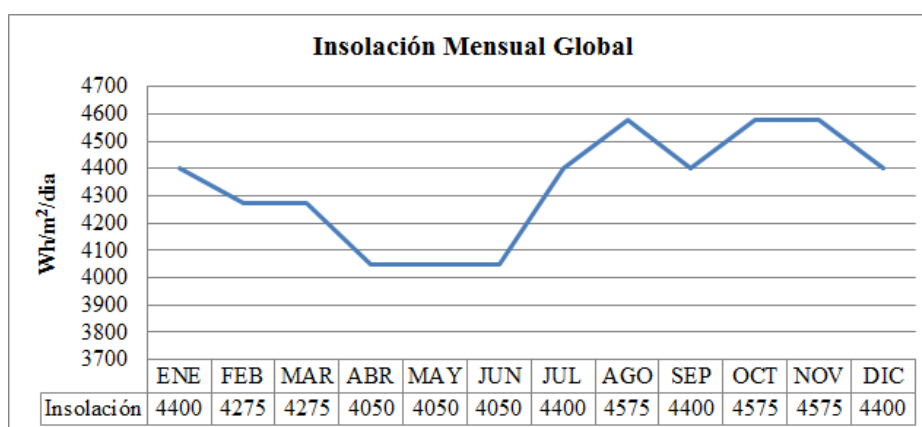


Figura 4.5.- Insolación mensual global en Wh/m²/día

Para asegurar que la insolación global promedio sea la correcta, se tomó datos del Mapa de Irradiación Solar Global emitido por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI, ver Anexo B4, que recopila datos históricos de irradiación solar global de los años 1986 a 1998, de acuerdo a la figura 4.6 la irradiación para el Campus está en el rango de 4 a 4.5 en kWh/m²/día, similar al obtenido con los datos del CONELEC.



Figura 4.6.- Irradiación solar global del Campus y la Parroquia

Otro método son los datos de la NASA *Surface Meteorology and Solar Energy* (SSE), obtenidos mediante el ingreso de coordenadas geoespaciales (0°59'53"S de latitud y 78°39'53"O de longitud) en su base de datos online, con el cual se obtiene la insolación incidente en una superficie horizontal (KWh/m²*día)⁴

Tabla 4.2.- Datos de la NASA Surface Meteorology

Latitud	Longitud	Ene	Feb	Mrz	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Anual
0	-80	4,24	4,43	5,00	4,80	4,22	3,73	3,87	4,06	4,21	3,98	3,81	4,07	4,20
0	-79	3,96	4,09	4,35	4,17	3,91	3,80	4,03	4,05	3,88	3,86	3,74	3,69	3,96
0	-78	4,14	4,08	4,20	4,13	4,13	4,20	4,29	4,39	4,40	4,42	4,34	4,15	4,24
0	-77	3,94	3,68	3,50	3,63	3,58	3,38	3,40	3,63	4,09	4,29	4,11	3,93	3,76

En la tabla 4.2 se observa que la insolación incidente promedio sobre una superficie horizontal es de 3,96 KWh/m²/día. Para este caso el promedio es relativamente inferior a los determinados por fuentes nacionales.

Existen otras fuentes internacionales como la base de datos emitida por la "University of Massachusetts Lowell" en su página oficial que dan mayor confiabilidad al potencial energético solar del lugar de estudio, ya que recopila información histórica de 17 y 20 años atrás. La figura 4.7, indica la irradiación

⁴ web: <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse> - Creado: Marzo 12, 2008

global mensual, dando un promedio anual de 4,370 kWh/m²*día coincidiendo una vez más con los valores emitidos por entidades Ecuatorianas.

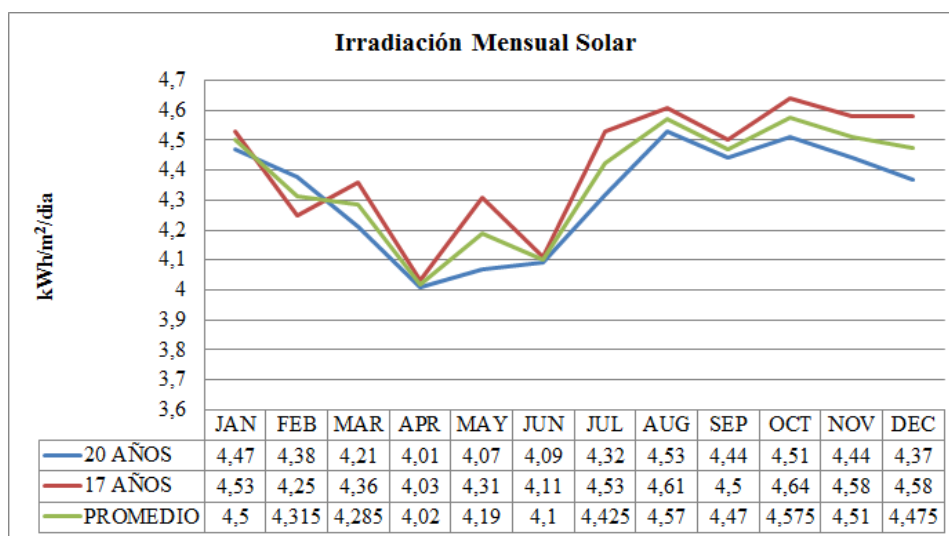


Figura 4.7.- Irradiación mensual solar

Fuente.- Base de datos de la University of Massachusetts Lowell⁵

4.3.1 Análisis de la irradiación global promedio HT.

En la tabla 4.3 se resume la irradiación solar obtenida de diferentes fuentes y la irradiación promedio final del lugar de estudio.

Tabla 4.3.- Irradiación global promedio en kWh/m²/día

CONELC	INAMHI	UML	NASA	ESPE-EL	HT
4,34	4,0	4,5	4,37	3,27	4,35

Como se puede apreciar, la radiación global de la estación meteorológica de la ESPE-EL es la más baja, considerando que apenas se ha procesado 8 meses, será conveniente acumular más datos y en un futuro analizarlos nuevamente para comparar con datos históricos del CONELC e INAMHI. De los métodos analizados y para los cálculos posteriores se trabajara con la radiación promedio de 4,35 kWh/m²/día⁶ orientado al norte.

⁵ <http://energy.caeds.eng.uml.edu/>

⁶ Norma Ecuatoriana de la Construcción Parte 14-1 Energía Renovable Sistemas de Calentamiento de agua con Energía Solar para uso Sanitario en el Ecuador

4.4. Evaluación de la heliofanía de la zona.

Según datos emitidos por el INAMHI en los anuarios meteorológicos de los años 2006 al 2010, de la estación Rumipamba, la heliofanía promedio diaria en horas de cada mes se indica en la figura 4.8

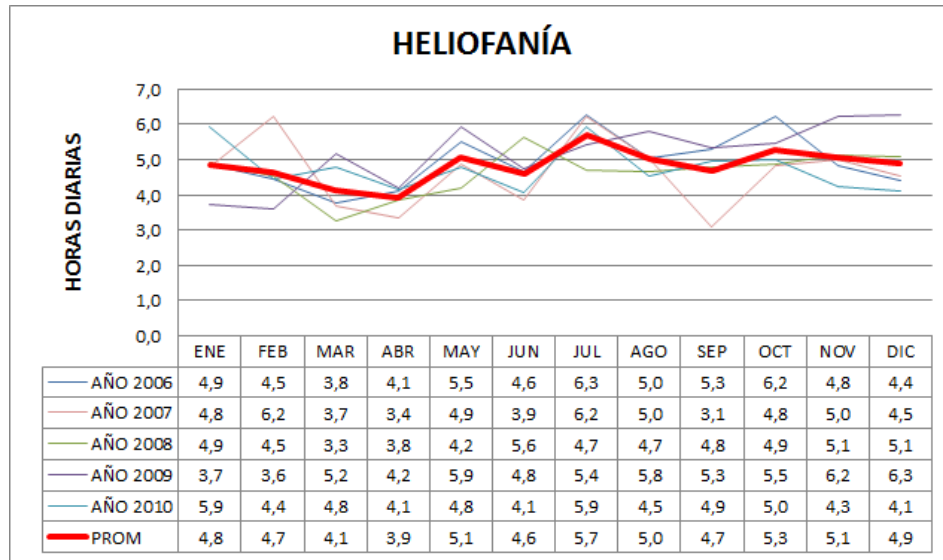


Figura 4.8.- Heliofanía diaria

Fuente: INAMHI Estación Meteorológica Rumipamba

4.4.1.- Análisis de la heliofanía.

De acuerdo a los datos de la figura 4.8, la heliofanía promedio diaria en horas de la zona de estudio es de 4,8 horas.

4.5.- Determinación de las horas pico solares HPS

Para calcular el número de horas pico solares HPS que se refiere al número de horas diarias de luz solar equivalentes referidas a una irradiancia constante $I=1\text{kWh}/\text{m}^2$ a la cual se mide siempre la potencia de los paneles, se calcula en función de la irradiación global promedio (HT) mediante la fórmula 4.1

$$\text{HPS}[\text{h}] = \frac{HT \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]}{I \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]} \quad (4.1)$$

$$\text{HPS}[\text{h}] = \frac{4,35 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]}{1 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]} = 4,35 \text{ h}$$

Considerando la heliofanía diaria promedio de 4,8 horas determinada mediante datos del INAMHI y la calculada 4,35 horas mediante las horas pico solares se puede aproximar a HPS=4 horas para próximos cálculos.

4.6.- Determinación de la irradiación solar sobre superficie inclinada HI

El cálculo de la irradiación total sobre superficie inclinada HI, según recomendaciones dadas por la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC, está dada por la fórmula 4.2

$$HI = k * HT \quad (4.2)$$

Donde HI es la media mensual diaria de irradiación global sobre superficie inclinada, k es un factor que depende de la latitud del lugar e inclinación de la superficie (entre 5° y 10° para evitar las acumulaciones de suciedades en la superficie de los módulos fotovoltaicos, en el Anexo B5 se indica los resultados) y HT es la media mensual diaria de irradiación global sobre superficie horizontal.

La tabla 4.4 muestra los resultados del cálculo, siendo el mes de junio el más desfavorable de recurso solar con un potencial de 3,772 kWh/m²/mes.

Tabla 4.4.- Irradiación solar global de superficie inclinada

LATITUD	0° 40' 41''	LUGAR	
INCLINACIÓN	10°	Campus Gral. Rodríguez Lara	
MES	HT (kWh/m ² /mes)	K	HI (kWh/m ² /mes)
Enero	4,500	1,03	4,635
Febrero	4,315	1,02	4,401
Marzo	4,285	0,99	4,242
Abril	4,020	0,96	3,859
Mayo	4,190	0,93	3,897
Junio	4,100	0,92	3,772
Julio	4,425	0,93	4,115
Agosto	4,570	0,96	4,387
Septiembre	4,470	0,99	4,425
Octubre	4,575	1,02	4,667
Noviembre	4,510	1,04	4,690
Diciembre	4,475	1,04	4,654

4.7.- Determinación del área útil para generación.

En el Anexo A1 se detalla sectores y áreas de construcción de las que se conformará el Campus una vez concluido, de aquí se deduce que el espacio disponible para colocar los paneles solares son las azoteas de los bloques 8 de aulas y bloques 9 de laboratorios como se representa en la figura 4.9

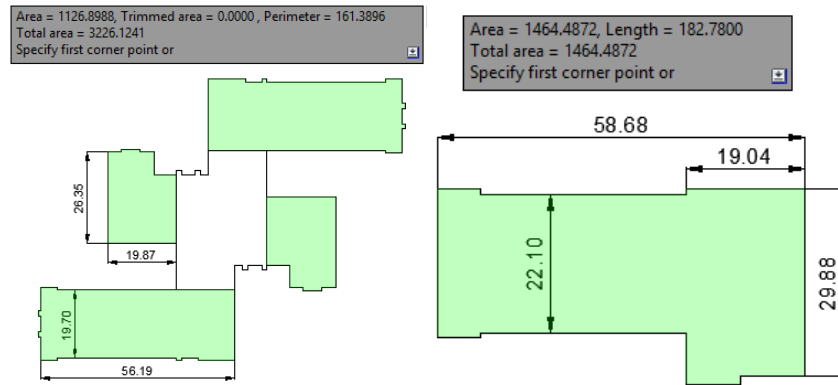


Figura 4.9.- Áreas de los bloques de aulas y laboratorios

En la tabla 4.5 se resume el total de área aprovechable para la generación de energía fotovoltaica.

Tabla 4.5.- Sectores y áreas aprovechables para generación de energía fotovoltaica

Sector	Cantidad	Área	Área Total
Bloque de aulas	2	3226,12 (m ²)	6452,24 (m ²)
Bloque de laboratorios	2	1464,48 (m ²)	2928,96 (m ²)
Área Total			9381,20 (m²)

4.8.- Determinación del consumo energético del Campus.

Para conocer cuánta energía eléctrica se requiere para electrificar el edificio, se deben tener en cuenta las características eléctricas de los equipos a alimentar y el tiempo de empleo por parte del usuario del sistema. Como se explicó en el literal 3.9.7 para determinar la demanda actual del bloque de aulas, se recurrió a la utilización del analizador de calidad de energía eléctrica trifásica marca PowerPad, modelo 3945-B, de propiedad de ELEPCO S.A., estableciéndose un consumo máximo de 115 kW, un mínimo de 0 kW y un promedio de 51.33 kW, para efectos de cálculo se estableció como consumo energético pico del Campus en 115 kW.

Para verificar el consumo energético del edificio se realizó un inventario de equipos instalados, iniciando con las luminarias existentes en cada planta del edificio, las mismas que tienen las siguientes características: lámparas fluorescente de 17W con color “luz de día” con balasto electrónico para las aulas y corredores, luminarias fluorescentes compactas de 26 y 13W para los baños y áreas específicas, figura 4.10

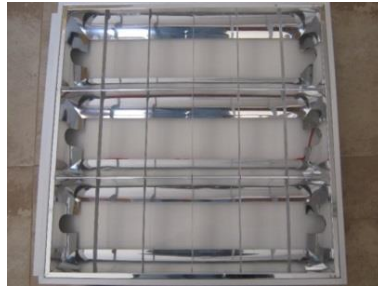


Figura 4.10.- Lámparas fluorescentes de 17W instaladas en el edificio

Se considera que las luminarias de aulas, pasillos, corredores, escaleras y baños se utilizan las 8 horas clase (07:00 a 16:00).

Tabla 4.6. Carga instalada en cada Bloque-Aulas (A y B)

Tipo de Luminaria	# Focos por luminaria	Potencia en cada luminaria (W)	Potencia Final (W)	Número de Focos	Total Focos en el Bloque	Carga Total (W)	Carga Total (kW)
Fluorescente	3	17	51	193	772	39372	
Foco ahorrador central	2	13	26	19	76	1976	
Foco ahorrador lateral	1	13	13	6	24	312	
Total					872	41660	41,66

Tabla 4.7.- Carga instalada en el Bloque A-B

Tipo de Luminaria	# Focos en cada luminaria	Potencia en cada luminaria (W)	Potencia Final (W)	Número de Focos	Total Focos en el Bloque	Carga Total (W)	Carga Total (kW)
Fluorescente	3	17	51	148	592	30192	
Foco ahorrador central	2	13	26	14	56	1456	
Foco ahorrador lateral	1	13	13	10	40	520	
Total					688	32168	32,17

En base a las tablas anteriores se tiene que la carga instalada en el Bloque A es de 41,66 kW, en el Bloque B es de 41,66 kW y en el Bloque A-B es de 32,17 kW. Por lo tanto la carga total instalada en los Bloques-Aulas es de 115,44 KW, si comparamos con la carga medida especificada en el literal 3.9.7 están en estrecha relación, esto es consumo máximo 115 KW e instalada 115,44 KW.

4.9. Impacto ambiental.

La energía solar fotovoltaica, al igual que otras energías renovables, constituye, frente a los combustibles fósiles, una fuente inagotable, contribuye al autoabastecimiento energético nacional y es menos perjudicial para el medio ambiente, evitando los efectos de su uso directo (contaminación atmosférica, residuos, etc.) y los derivados de su generación (excavaciones, minas, canteras).

La generación eléctrica a partir de la radiación solar tiene nulos o mínimos efectos ambientales. No se producen emisiones de CO₂, ni afecciones al terreno, aguas o flora y fauna y se trata de un sistema completamente silencioso. Además, en gran parte de los casos, se pueden integrar en las azoteas o tejados de las viviendas, como un elemento constructivo más.

Los efectos de la energía solar fotovoltaica sobre los principales factores ambientales son los siguientes:

Clima.- La generación de energía eléctrica directamente a partir de la luz solar no requiere ningún tipo de combustión, por lo que no se produce polución térmica ni emisiones de CO₂ que favorezcan el efecto invernadero.

Geología.- Las células fotovoltaicas se fabrican con silicio, elemento obtenido de la arena, muy abundante en la Naturaleza y del que no se requieren cantidades significativas. Por lo tanto, en la fabricación de los paneles fotovoltaicos no se producen alteraciones en las características litológicas, topográficas o estructurales del terreno.

Suelo.- Al no producirse ni contaminantes, ni vertidos, ni movimientos de tierra, la incidencia sobre las características físico químicas del suelo o su erosionabilidad es nula.

Aguas superficiales y subterráneas.- No se produce alteración de los acuíferos o de las aguas superficiales ni por consumo, ni por contaminación por residuos o vertidos.

Flora y fauna.- La repercusión sobre la vegetación es nula, y, al eliminarse los tendidos eléctricos, se evitan los posibles efectos perjudiciales para las aves.

Paisaje.- Los paneles solares tienen distintas posibilidades de integración, lo que hace que sean un elemento fácil de integrar y armonizar en diferentes tipos de estructuras, minimizando su impacto visual. Para este caso se instalará en las azoteas de los edificios.

Ruidos.- El sistema fotovoltaico es absolutamente silencioso, lo que representa una clara ventaja frente a los generadores de motor.

Medio social.- El suelo necesario para instalar un sistema fotovoltaico de dimensión media, no representa una cantidad significativa como para producir un grave impacto. Como ya se explicó se instalará en la azotea del edificio.

4.10. Conclusiones del capítulo.

Se evaluó el recurso eólico de la zona según el atlas eólico del MEER, estableciéndose una velocidad media anual del viento de 3.5 a 4 m/s a una distancia de 30 metros del suelo. Se estimó la densidad de potencia media anual del viento entre 70 a 100 W/m² a 30 metros de altura. Se evaluó el recurso solar basándose en el atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica, emitido por el CONELEC, estableciéndose un promedio de 4,34 kWh/m²*día, de la misma manera se procedió con el Mapa de Irradiación Solar Global, emitido por el INAMHI, estimándose un rango de 4 a 4,5 kWh/m²*día. Se consideró bases de datos internacionales como la NASA en un valor promedio de 3,96 kWh/m²*día y la UML en 4,37 kWh/m²*día, se estableció por tanto en un promedio de 4,35 kWh/m²*día. Se evaluó la heliofanía de la zona mediante los anuarios del INAMHI, calculándose en 4,8 horas de brillo solar. Se calculó las horas pico solares HSP en un promedio de 4 h, en función de la irradiación global promedio. Se calculó la irradiación solar sobre superficie inclinada en 3,77 kWh/m²*mes, estableciéndose el mes de junio el más desfavorable en cuanto a recurso solar. Se

calculó el área útil de generación del edificio en 9381.2 m² y su consumo energético pico de 115 KW. La generación eléctrica a partir de la radiación solar tiene nulos efectos ambientales. No se producen emisiones de CO₂, ni afecciones al terreno, aguas o flora y fauna y se trata de un sistema completamente silencioso, se instalará en la azotea del edificio.

CAPÍTULO V: LA PROPUESTA

5.1. Título.

Diseño de un sistema de generación eléctrica por energía solar fotovoltaica, como fuente alternativa de energía eléctrica, para el Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara de la ESPE Extensión Latacunga.

5.2. Justificación.

El hecho de encontrarse el Ecuador en el centro de la Tierra ha permitido a nuestro país ser beneficiado directamente por la influencia de la irradiación solar. Toda la franja ecuatorial recibe la incidencia de los rayos del sol de forma perpendicular durante todo el año. La irradiación solar es prácticamente constante y de gran magnitud todo el tiempo. Si bien se pueden definir dos estaciones climatológicas en el año, esto no implica que el ángulo de incidencia de la irradiación solar varíe, como es el caso de los países ubicados al norte o al sur del globo terráqueo y que presentan cuatro estaciones climáticas. A lo largo de todo el año podemos encontrar días soleados indistintamente de la estación, la variación entre las dos estaciones está en las precipitaciones lluviosas. En verano los días soleados se presentan con gran cantidad de viento y en invierno los días soleados son seguidos por fuertes precipitaciones en horas de la tarde principalmente. Las diferencias radican en la cercanía al sol en cada época del año. En los meses de julio y agosto el planeta Tierra se encuentra en la posición más cercana al Sol dentro de su órbita (verano). En enero y febrero la Tierra se encuentra en el punto más distante al Sol dentro de su órbita (invierno).

Una vez evaluado el potencial de energía solar existente en la Parroquia Belisario Quevedo del Cantón Latacunga, se puede plantear una propuesta de diseñar un sistema de generación eléctrica por energía solar fotovoltaica, como fuente alternativa de energía eléctrica, para el Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara de la ESPE Extensión Latacunga, minimizando la dependencia de utilizar una única fuente de energía alterna, prescindiendo de una central de generación térmica de combustible fósil, contribuyendo con la búsqueda de nuevas formas de

energía que reemplacen a las contaminantes, sin deteriorar el medio ambiente, afectar el ecosistema y cumpliendo con la reglamentación existente.

5.3. Objetivos.

Diseñar un sistema de generación eléctrica por energía solar fotovoltaica, como fuente alternativa de energía eléctrica, para el Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara de la ESPE Extensión Latacunga.

5.4. Estructura de la propuesta.

La propuesta está estructurada en 3 alternativas a saber: En la primera alternativa se dimensiona un sistema de generación fotovoltaico conectado a la red para cubrir la carga mínima instalada en el edificio. En la segunda se dimensiona un sistema de generación fotovoltaico conectado a la red de acuerdo a la capacidad de área del edificio y finalmente en la tercera alternativa se propone un sistema de generación autónomo para alumbrado público del Campus.

5.5. Desarrollo de la propuesta.

5.5.1. Alternativa No 1.- Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR) para cubrir la carga mínima instalada en el edificio.

Para el diseño del SFCR se requiere seguir los pasos del diagrama de flujo que se muestra en la figura 3.1.

A.- Determinación de la carga instalada.- En la sección 3.8.8 del capítulo anterior se determinó el consumo energético del edificio en 115 KW pico.

B.- Energía consumida.- Como la carga instalada tanto en el Bloque A (41,66 kW) como en el B (41,66 kW) es la misma, por tanto se tomará como referencia solo a un Bloque para realizar el dimensionamiento. De igual forma para el Bloque A-B (32,17 kW) se tomará la mitad de la carga instalada, es decir los 16,08 kW; ya que este se encuentra formado por dos pequeños bloques.

Para el análisis se consideró un tiempo de 8 horas de operación en las luminarias, es decir que todas las luminarias están encendidas durante las horas clase.

La energía consumida diariamente se calcula aplicando la ecuación 1, con los datos de la potencia total y el tiempo considerado, siendo esta de:

$$E_C = P_T * 8h \quad (Ec.1)$$

Bloque A

$$E_C = 41,66 \text{ kW} * 8h = 333,28 \text{ kW.h}$$

Bloque A-B

$$E_C = 16,08 \text{ kW} * 8h = 128,64 \text{ kW.h}$$

C.- Selección de los módulos FV y el inversor.- Una vez obtenida la energía consumida diaria, se selecciona un proveedor de módulos FV. Una de las principales razones para la selección de los módulos es la eficiencia y su potencia pico, ya que a mayor eficiencia y potencia, menor número de módulos por instalación y área a utilizar. En este caso se optó por los módulos mono-cristalinos serie 7T2 de 300W de la marca Helios, figura 5.1, ya que su potencia es la ideal y su material tiene una mayor eficiencia en comparación de otros materiales, además de que permite al módulo operar sin problemas en múltiples configuraciones de montaje, más datos se muestran en el Anexo C1.

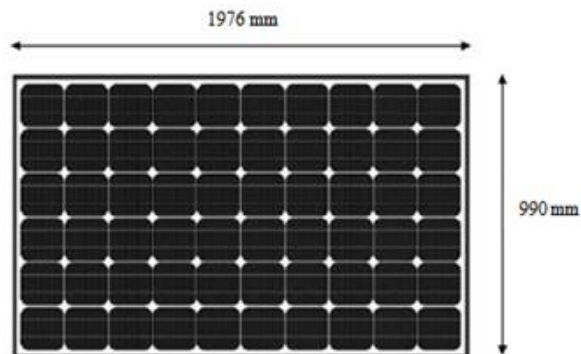


Figura 5.1. Modulo Mono-cristalino

Considerando que el inversor a utilizar debe satisfacer el requerimiento de potencia instalada y las características de la instalación sea monofásica o trifásica, en donde el caso más crítico es cuando todas las cargas (P_{Total}) están conectadas al SFV, así como los parámetros de entrada del inversor, por lo que se selecciona un inversor para conexión a la red como el indicado en la figura 5.2, con una potencia máxima de salida de 20 kW, de la marca Sunny Tripower, cuyas características se muestran en el Anexo C2.



Figura 5.2. Inversor para conexión a la red

Considerando las especificaciones de salida del módulo FV que se encuentra en el Anexo C1, las horas de sol pico HSP obtenida en el literal 4.5, se calcula el número de módulos que necesita el sistema FV con la ecuación 2

$$M = \frac{E_c}{V_M * I_M * HPS} \quad (Ec. 5.2)$$

Dónde:

M: Número de módulos FV

Ec: Energía consumida diariamente, W-h.

Vm: Tensión máxima del módulo, V.

Im: Corriente máxima del módulo, A.

HPS: Radiación en la localidad, hp.

Bloque A

$$M = \frac{333,28 \text{ KW.h}}{36,55V * 8,20A * 4h}$$

$$M = 278 \rightarrow \text{Paneles}$$

Bloque A-B

$$M = \frac{128,64 \text{ kW.h}}{36,55V * 8,20A * 4h}$$

$$M = 107,30 \approx 108 \rightarrow \text{Paneles}$$

De acuerdo al cálculo se tienen que utilizar 278 paneles para el Bloque A y 108 para el Bloque A-B, cubriendo la carga requerida de luminarias en cada edificio.

D.- Cálculo del arreglo de los paneles FV.- Para calcular el número de filas de módulos en serie que se van a conectar para un inversor, se emplea la ecuación 3, y para calcular el número de columnas de módulos en paralelo, se emplea la ecuación 4.

$$\text{No de filas en serie} = \frac{V_{inv}}{V_M} \quad (\text{Ec. 5.3})$$

$$\text{No de columnas en paralelo} = \frac{I_{inv}}{I_M} \quad (\text{Ec. 5.4})$$

Dónde:

V_{inv} : Tensión de entrada del Inversor

V_M : Voltaje del panel

I_{inv} : Corriente de entrada del Inversor

I_M : Corriente del panel

Se considera un promedio de tensión de entrada del inversor entre el intervalo de 580V y 800V de las especificaciones para tomar un solo valor de tensión de entrada.

$$V_{inv} = \frac{570V + 620V}{2} = 690 V$$

Entonces aplicando la ecuación 3 se obtiene el número de filas en serie.

$$\text{No de filas en serie} = \frac{690 V}{36,55 V} = 18,88$$

$$\text{No de filas en serie} \approx 19$$

Aplicando la ecuación 4 se obtiene el número de columnas en paralelo.

$$\text{No de columnas en paralelo} = \frac{36 A}{8,2 A} = 4,39$$

$$\text{No de columnas en paralelo} \approx 4$$

Con las filas y columnas calculadas, el arreglo quedaría como se muestra en la figura 5.5.

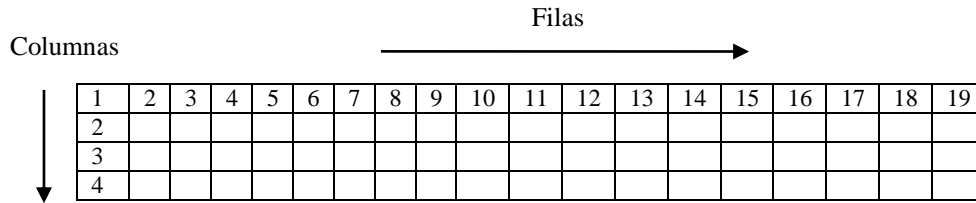


Figura 5.3.- Arreglo de los paneles FV

Se observa que cada fila y cada columna están integradas por 19 y 4 paneles respectivamente, por lo que se tiene 76 paneles conectados por inversor. Para asegurar si la tensión de los 19 paneles en serie no rebasa la tensión de entrada del inversor se hace la siguiente comprobación, multiplicando el número de paneles por la tensión de salida de cada módulo.

$$(19 \text{ paneles})(36,55 \text{ V}) = 694,45 \text{ V}$$

El valor de la tensión de los paneles se encuentra dentro del intervalo de tensión del inversor que es entre 580V y 800V, por lo que el arreglo es correcto.

Al igual que los paneles en serie, se hace la misma comprobación para los paneles en paralelo, en este caso se multiplica la corriente de salida del panel por el número de paneles en paralelo.

$$(4 \text{ paneles})(8,20 \text{ A}) = 32,8 \text{ A}$$

El valor de la corriente de los paneles se encuentra dentro del valor de corriente de entrada del inversor que es de 36 A, por lo que es correcto el arreglo.

Es importante mencionar que el arreglo fotovoltaico no necesariamente tiene que tener la configuración ni el número de módulos como el de la figura 5.3, esto solo se refiere a las conexiones en serie y paralelo entre los paneles para tener las condiciones necesarias de entrada del inversor.

E.- Determinación de número de los inversores.- Tomando el total de paneles FV en el arreglo y el número de paneles que necesita el sistema FV para cubrir la carga, el número de inversores se obtiene de la ecuación 5.

$$\text{No de inversores} = \frac{M}{\text{No de módulos del arreglo}} \quad (\text{Ec. 5.5})$$

Bloque A

$$\text{No de inversores} = \frac{278 \text{ Paneles}}{76 \text{ Paneles}} = 3,66 \approx 4$$

Bloque A-B

$$\text{No de inversores} = \frac{108 \text{ Paneles}}{76 \text{ Paneles}} = 1,42 \approx 2$$

Para asegurar que los 4 inversores en el Bloque A y los 2 inversores en el Bloque A-B cubran la potencia requerida por la carga de cada edificio, se hace la siguiente comprobación, multiplicando el número de inversores por la potencia de salida del inversor.

Bloque A

$$(4 \text{ Inversores})(20 \text{ kW}) = 80 \text{ kW}$$

Bloque A-B

$$(2 \text{ Inversores})(20 \text{ kW}) = 40 \text{ kW}$$

El valor de la potencia total de los 4 inversores (80 kW) es mayor que la potencia total de la carga (41,66 kW) en el Bloque A y el valor de la potencia total de los 2 inversores (40 kW) es mayor que la potencia total de la carga (16,08 kW); por lo que el número de inversores es adecuado para el sistema FV en cada bloque.

F.- Dimensionamiento del panel FV.- El panel FV se puede dimensionar de muchas formas dependiendo del área que se tenga disponible en el techo de cada bloque del edificio. En este caso las dimensiones de los bloques del edificio se muestran en las figuras 5.4 y 5.5.

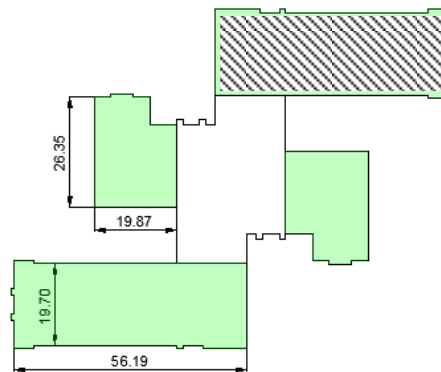


Figura 5.4. Dimensiones y área para instalación de los paneles del Bloque A.

El área sombreada representa el lugar de emplazamiento de los paneles solares tanto para el bloque A como para el A-B.

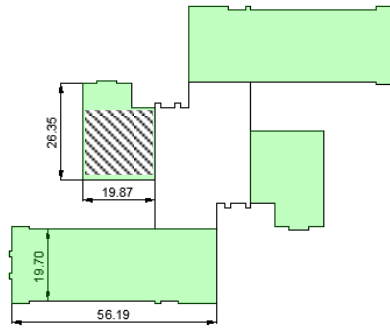


Figura 5.5. Dimensiones y área para instalación de los paneles del Bloque A-B.

Disponiendo de las dimensiones de los módulos y los arreglos por inversor, se distribuye el arreglo de la figura 5.3 de tal manera que no rebase al área a utilizar y tomando en cuenta como recomendación que el número de paneles que se pueden conectar en serie son 19 o menos, por lo que las dimensiones del tipo de paneles FV que se va a utilizar queda de acuerdo a las figuras 5.6 y 5.7

Bloque A

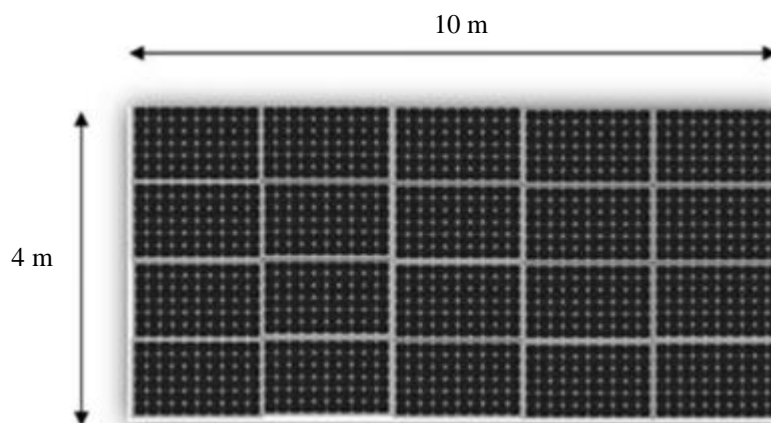


Figura 5.6. Panel fotovoltaico con 20 módulos

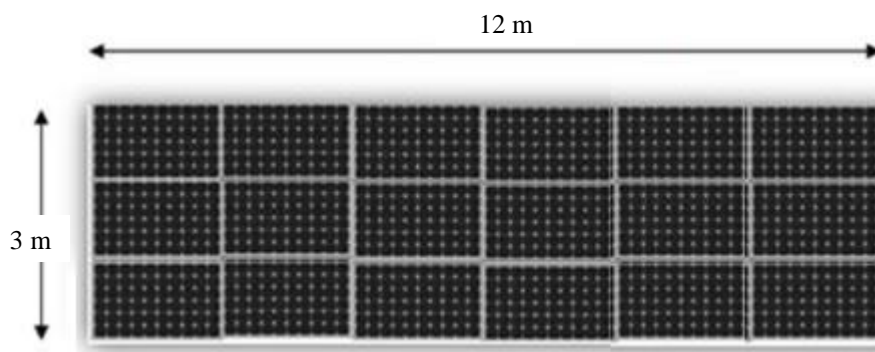


Figura 5.7. Panel fotovoltaico con 18 módulos

Por tanto se instalarán 13 paneles como el de la figura 5.6 y 1 panel como el de la figura 5.7, para así obtener las condiciones de entrada de cada inversor, además se observa que se tendrían 278 módulos en el sistema FV, igual a los calculados. Para asegurar que el área del techo es adecuada para la instalación de los paneles FV se hace la siguiente comprobación, utilizando las dimensiones del edificio y las áreas de los dos tipos de paneles.

$$\text{Área del techo del edificio} = (56 \text{ m}) * (19 \text{ m}) = 1064 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Área total de PFV} &= (40 \text{ m}^2) * (13 \text{ Paneles}) + (36 \text{ m}^2) * (1 \text{ Panel}) \\ &= 556 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Por lo que el área es suficiente para colocar los paneles FV

Bloque A-B

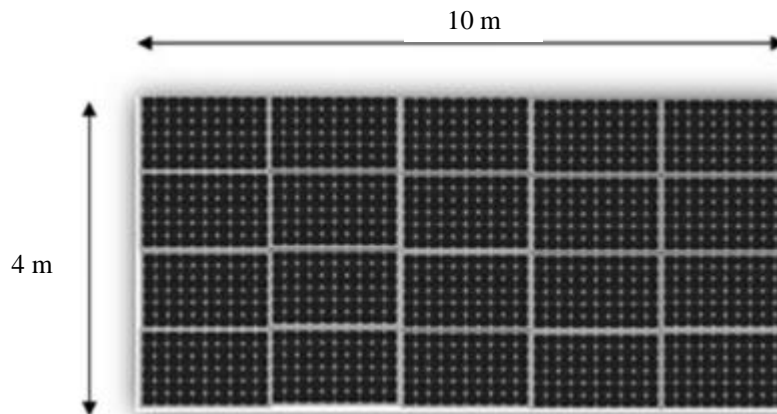


Figura 5.8.- Panel fotovoltaico con 20 módulos

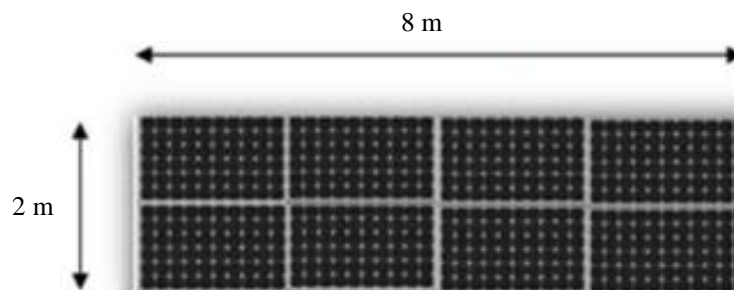


Figura 5.9.- Panel fotovoltaico con 8 módulos

De igual manera que en el caso anterior se instalarán 5 paneles como el de la figura 5.8 y 1 panel como el de la figura 5.9, teniendo 108 módulos en el sistema FV, igual a los calculados.

Para asegurar que el área del techo es adecuada para la instalación de los paneles FV se utiliza las dimensiones del edificio y las áreas de los dos tipos de paneles.

$$\text{Área del techo del edificio} = (19 \text{ m}) * (26 \text{ m}) = 494 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total de PFV} = (40 \text{ m}^2) * (5 \text{ Panles}) + (16 \text{ m}^2) * (1 \text{ Panel})$$

$$\text{Área total de PFV} = 216 \text{ m}^2$$

G.- Cálculo de inclinación, sombras y distancia entre paneles.- Teniendo en cuenta que la trayectoria del sol durante un día es de este a oeste, pero la trayectoria durante un año es de norte a sur, figura 5.10, se requiere que los paneles fijos se coloquen inclinados hacia el sur, figura 5.11. El ángulo óptimo del panel que garantice su mejor aprovechamiento varía de acuerdo al lugar, por lo que el cálculo de inclinación del panel FV se obtiene de acuerdo a la ecuación 6, donde la inclinación de los paneles deberá ser igual a la latitud del lugar más 10° , en Ecuador la inclinación de los paneles no será mayor a 15° . ⁷(Mora, 2011)

Por lo tanto el ángulo de inclinación del panel será:

$$\beta = Lat + 10^\circ \quad \text{Ec. 5.6}$$

$$\beta = 0,678^\circ + 10^\circ = 10,678^\circ \approx 11^\circ$$

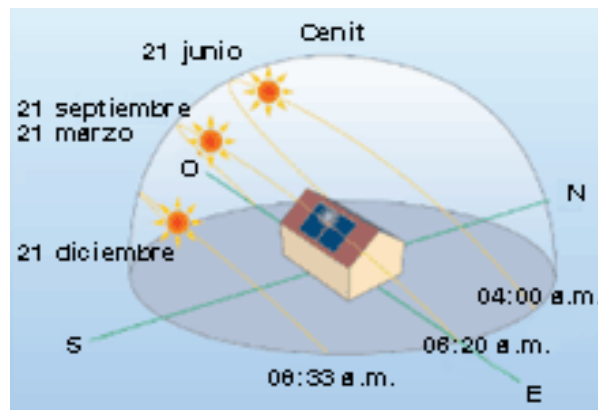


Figura 5.10.- Trayectoria del sol

⁷Mora, F. (Mayo de 2011). Escuela Politécnica Nacional. *Estudio de Factibilidad para la Incorporación de un Sistema Solar Fotovoltaico en el Edificio RTV Ecuador*. Quito, Pichincha, Ecuador. Pág.:69

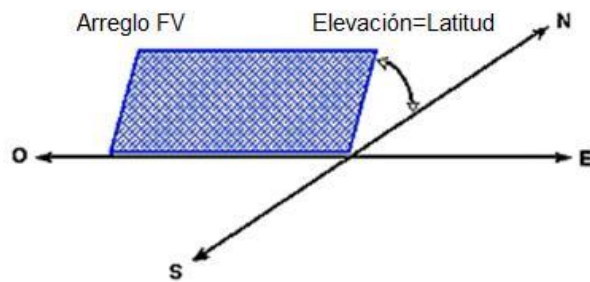


Figura 5.11.- Orientación de la estructura fija para maximizar la captación de radiación solar a lo largo del año

La distancia entre paneles se establece de tal forma que al medio día, la sombra de la arista superior del panel se proyecte, como máximo, sobre la arista inferior del panel siguiente, así como se indica en la figura 5.12.

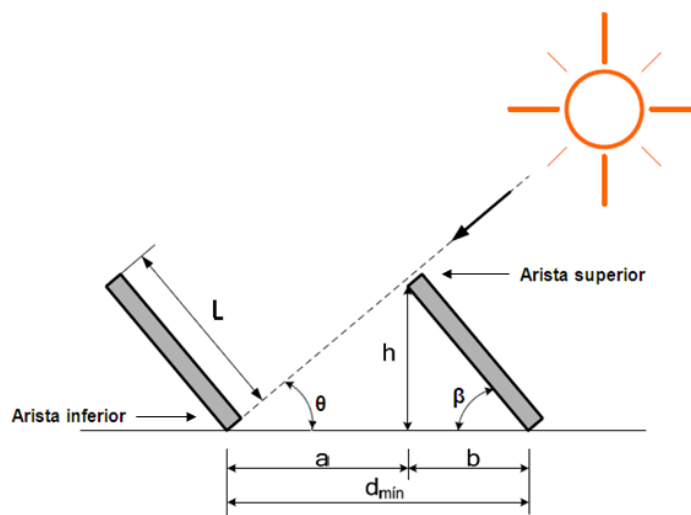


Figura 5.12.- Distancia entre paneles

Dónde:

d_{\min} : Distancia mínima entre aristas de paneles para evitar sombras (m).

L: Longitud del panel (columna de módulos en paralelo) (m).

h: Altura solar al medio día (m).

β : Grado de inclinación del panel respecto a la horizontal (°).

θ : Ángulo de la sombra respecto a la horizontal (°).

a: Distancia de la arista inferior de un panel a la arista inferior del otro (m).

b: Distancia de la arista inferior a la superior con respecto a la horizontal (m).

Una vez obtenido el grado de inclinación del panel que es 11° y la longitud del panel (L), se calcula la altura solar al medio día tanto en el Bloque A como en el Bloque A-B:

$$h = \sin \beta * L \quad \text{Ec. 5.7}$$

$$h = (\sin 11^\circ)(4m)$$

$$h = 0,69 \text{ m}$$

Con los mismos datos se calcula la distancia “b”.

$$b = \cos \beta * L \quad \text{Ec. 5.8}$$

$$b = (\cos 11^\circ)(4m)$$

$$b = 3,94 \text{ m}$$

Considerando el ángulo de inclinación del panel y los ángulos rectos que se forman, se complementan los demás ángulos y se determina que el ángulo θ es de 79° . Enseguida se calcula la distancia “a”, utilizando como dato la altura (h) de la ecuación 7 y el ángulo θ .

$$a = \frac{h}{\tan \theta}$$

$$a = \frac{0,69 \text{ m}}{\tan 79^\circ}$$

$$a = 0,24 \text{ m}$$

Por último se suma la distancia “a” más la distancia “b” para obtener la distancia mínima entre aristas de paneles, para evitar la sombra sobre otro panel.

$$d_{\text{mín}} = a + b \quad \text{Ec. 5.9}$$

$$d_{\text{mín}} = 0,24 \text{ m} + 3,94 \text{ m}$$

$$d_{\text{mín}} = 4,17 \text{ m}$$

Por lo que la distancia entre las aristas inferiores tiene que ser igual o mayor a 4.17 m. Figura 5.13.

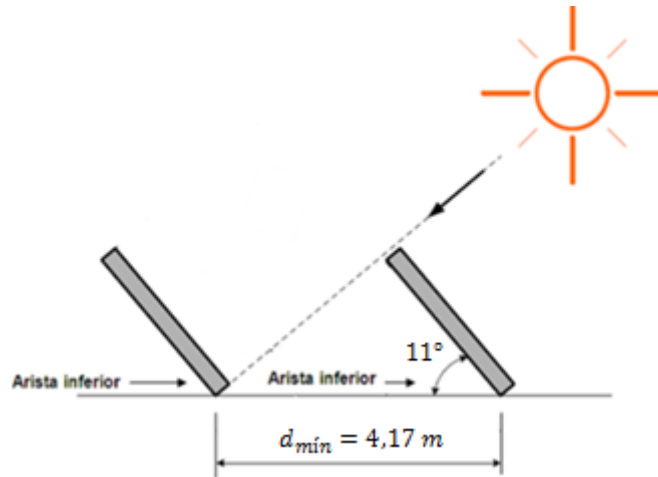


Figura 5.13.- Distancia entre aristas inferiores

La distancia que debe de haber entre el final de un panel y el inicio de otro (d) es igual a d_{\min} menos la distancia del módulo (L), por lo que la distancia (d) es igual a 0,17 m. Figura 5.14.

$$d = d_{\min} - L \quad \text{Ec. 5.10}$$

$$d = 4,17 \text{ m} - 4 \text{ m}$$

$$d = 0,17 \text{ m}$$

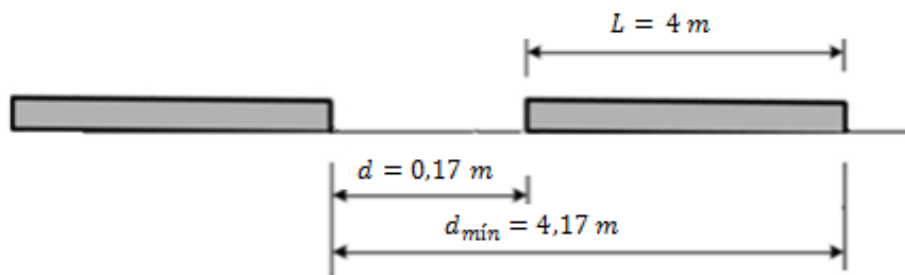


Figura 5.14.- Distancia entre paneles

H.- Diagrama de distribución de los paneles FV.- Considerando las dimensiones de los paneles y el área del techo de los bloques del edificio se asignará una distancia entre paneles de 1m, tanto para filas como para columnas, esto con la finalidad de brindar facilidades en la circulación al momento de realizar el mantenimiento o inspección, en las figuras 5.15 y 5.16 se observa que el área es suficiente para instalar las configuraciones de los paneles en los Bloques

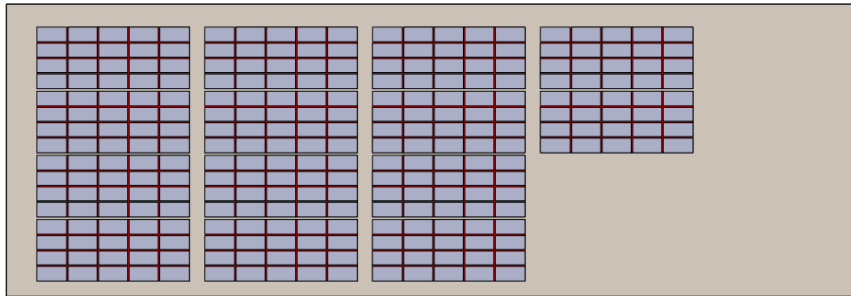


Figura 5.15.- Distribución del panel FV en el Bloque A

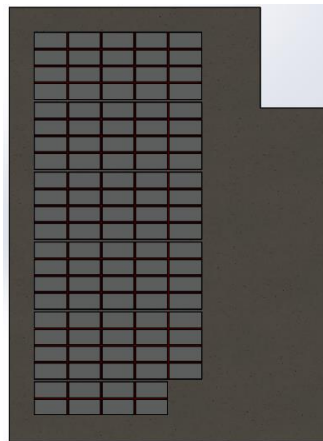


Figura 5.16.- Distribución del panel FV en el Bloque A-B

I.- Diagrama de conexión de los módulos FV.- La conexión de los módulos del tipo de panel a utilizar se hace de la siguiente manera, dos secciones de 10 módulos se conectan en serie y a su vez éstas en paralelo, por lo que el panel se encuentra en conexión mixta como se muestra en la figura 5.17.

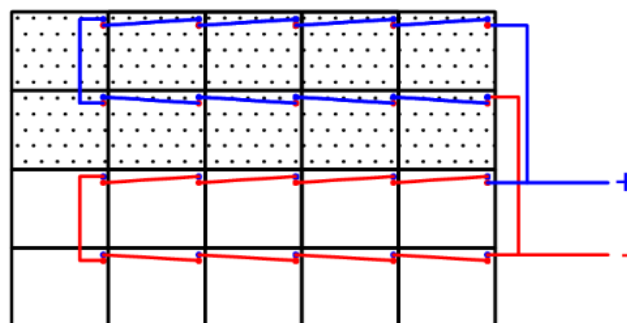


Figura 5.17.- Conexión del panel FV

J.- Diagrama de instalación de anclaje de los módulos FV.- La instalación se hará sobre la superficie del techo de los Bloques A y A-B, por lo que se considera

adecuado utilizar una estructura fija, estable, segura y altamente resistente a toda condición para que soporte los módulos FV, tal como se indica en la figura 5.18.

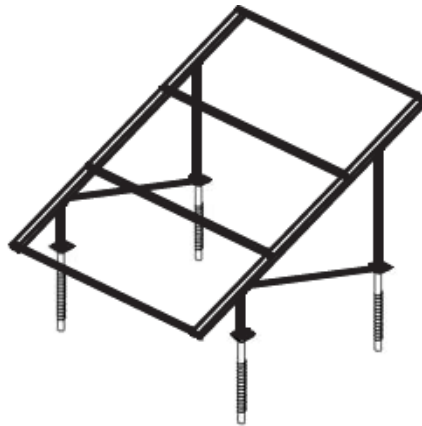


Figura 5.18.- Estructura para el módulo fotovoltaico

K.- Selección de los conductores.- Los cables adecuados para el SFCR son los cables tipo PV ZZ-F (AS) de la marca TOPSOLAR, figura 5.19, ya que las propiedades que ofrecen los convierten en los ideales para aplicaciones fotovoltaicas, para mayores detalles refiérase al Anexo C3.



Figura 5.19.- Cables tipo PV ZZ-F (AS)

Estos cables soportan temperaturas extremas, humedad, acciones químicas, servicios móviles. Todo ello garantizando las máximas prestaciones de seguridad en caso de incendio. Los cables tipo PV ZZ-F (AS) para paneles solares son de muy fácil instalación y ofrecen un rendimiento alto y fiabilidad a largo plazo en instalaciones fotovoltaicas, estos cables unipolares con doble aislamiento tienen capacidad para transportar corriente continua hasta 1800 V de manera eficiente.

La prestación más demandada para un cable fotovoltaico es la de ofrecer una vida útil de al menos 25 años de perfecta funcionalidad en cualquier instalación fotovoltaica que esté correctamente diseñada y en adecuadas condiciones de uso y mantenimiento.

L.- Cálculo de protecciones.- Con base a los resultados anteriores también es posible dimensionar los elementos de protección requeridos.

- Fusible

$$I_{Flusible} = 1.2 \times I_{Corto\ circuito\ del\ Panel} \quad Ec. 5.11$$

$$I_{Flusible} = 1.2 \times (8.77\ A) = 10.524\ A$$

- Protecciones sobretensión

$$1000\ V_{dc} / I_n\ 20kA$$

- Diodo de Bloqueo

Los parámetros eléctricos a considerar por cada rama en serie son la corriente de corto circuito y la tensión de circuito abierto del arreglo de los paneles en serie:

$$I_{cc} = 8.77 \quad V_{ca} = 36.55$$

Entonces, los diodos de bloqueo tendrán que soportar el doble como mínimo de los parámetros eléctricos antes mencionados, así se seleccionan los diodos de bloqueo que se conectan en los positivos de los ramales, que cumplan:

$$I_{cc} = 8.77 \times 2 = 17.54\ A$$

$$V_{ca} = 36.55 \times 2 = 73.1\ V$$

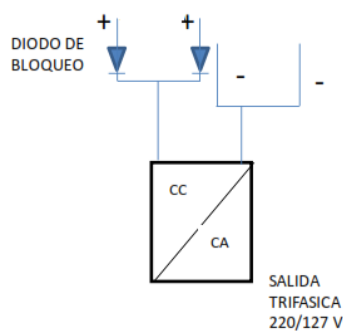


Figura 5.20.- Conexión del Diodo de Bloqueo

M.- Análisis y evaluación económica.- El correcto análisis de viabilidad económica de un proyecto es fundamental, no solo para determinar la conveniencia de efectuar una inversión, sino también para predecir el posible comportamiento de la misma, pudiendo así evitar o limitar perjuicios económicos importantes para los inversores.

La instalación del sistemas fotovoltaico se basa en que el costo de kWh generado sea igual o inferior al precio de la energía producida con recursos energéticos renovables no convencionales emitidos en la regulación No. 004/11 del CONELEC.

La capacidad de generación de energía de un panel fotovoltaico está en función de su duración y de la insolación recibida a lo largo de cada año, actualmente se diseñan para una vida útil de 20 años y son más rentables en lugares con mayor número de horas de sol anuales.

Como la generación eléctrica de los paneles solares está en función del nivel de insolación y de las condiciones climatológicas externas, se ha tomado como valor de referencia la cantidad de Wp, que se refiere a la máxima potencia que puede producir un panel en condiciones de máxima insolación, 1000 W/m² con una temperatura de la celda de 25°.

Coste de implementación.- En la tabla 5.1, se detallan los materiales y equipos de la instalación fotovoltaica que formarán la inversión inicial, éste presupuesto se considerará para cada edificio de los Bloques A y B.

Tabla 5.1.- Presupuesto y material utilizado

Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Panel Solar de 300W Mono-cristalino, Series 7T2 300 ⁸	772	400,00	308800,00
Inversor 20kw SMA Sunnyboy Tri-power ⁹	12	6390,00	76680,00
Estructura de acero	386	200,00	77200,00
Otros	1	15000,00	15000,00
TOTAL			477680,00

Considerando que el proyecto es para 20 años, a una tasa de interés del 8%, la inversión al finalizar el proyecto, calculado con la ecuación 5.12, será de:

$$VF = VA * (1 + i)^n \quad \text{Ec. 5.12}$$

$$VF = 477680 * (1 + 8\%)^{20} = \$ 2'226.446,01$$

La anualidad será de: \$ 111.322,30

⁸ <http://www.pvpower.com/helios-solar-works-300w-monocrystalline-solar-panel-7t2-series-7t2-300.aspx>

⁹ <http://www.ebay.com.au/itm/20kw-SMA-Sunnyboy-Tri-power-Three-Phase-Inverter-Commercial-Solar-Panel-PV-/181133340612>

Coste unitario de energía.- Para el cálculo del costo unitario de energía (\$/kWh), a la inversión inicial se debe añadir costos por mantenimiento, operación, y administración. Tabla 5.2

Tabla 5.2.- Desglose de costos anuales

Desglose	Valor (\$)
Operación	4560,00
Mantenimiento	1438,00
Costos administrativos	2160,00
	8158,00

De igual forma, el proyecto es para 20 años, a una tasa de interés del 8%, el costo futuro por mantenimiento será de:

$$VF = 8158 * (1 + 8\%)^{20} = \$ 38.024,09$$

Por tanto el costo total de la inversión en los 20 años será de:

$$\$ 2'226.446,01 + \$ 38.024,09 = \$ 2'264.470,10 \text{ y el anual de } \$ 113.223,50$$

Para calcular el costo unitario de energía se utilizó la ecuación 5.13

$$CUE = \frac{\text{Costo Anual}}{\text{Generación Electrica Anual}} \quad \text{Ec. 5.13}$$

$$CUE = \frac{113.223,50 \text{ usd}}{772 \times 0,3 \times 4 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} \times 365 \text{ días}} = 0,33 \frac{\text{usd}}{\text{kWh}}$$

El costo unitario de energía para este sistema resulta ser de 0,33 USD por kWh.

Comparando precios de energía fotovoltaica, emitidos por el CONELEC mediante regulación 004/11 especificado en la tabla 2.2, ya que el costo de generación es inferior al referencial, el proyecto es factible económicamente, pero técnicamente no ya que en esta misma regulación se especifica que únicamente los productores iguales o mayores a 1 MW de generación fotovoltaica tendrán acceso a dichos costos preferenciales.

Por lo anterior para que técnicamente sea factible el proyecto, habrá que generar mínimo 1 MW de energía solar fotovoltaica, razón por la cual se plantea la siguiente propuesta.

5.5.2. Alternativa No 2.- Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR) en función del área útil del edificio.

A.- Determinación del área útil para generación.- En el Anexo A1, se detalla sectores y áreas de construcción de las que se conformará el Campus una vez concluido, de aquí se deduce que el espacio disponible para colocar los paneles solares son las azoteas de los bloques 8 de aulas y bloques 9 de laboratorios como se representa en la figura 5.21

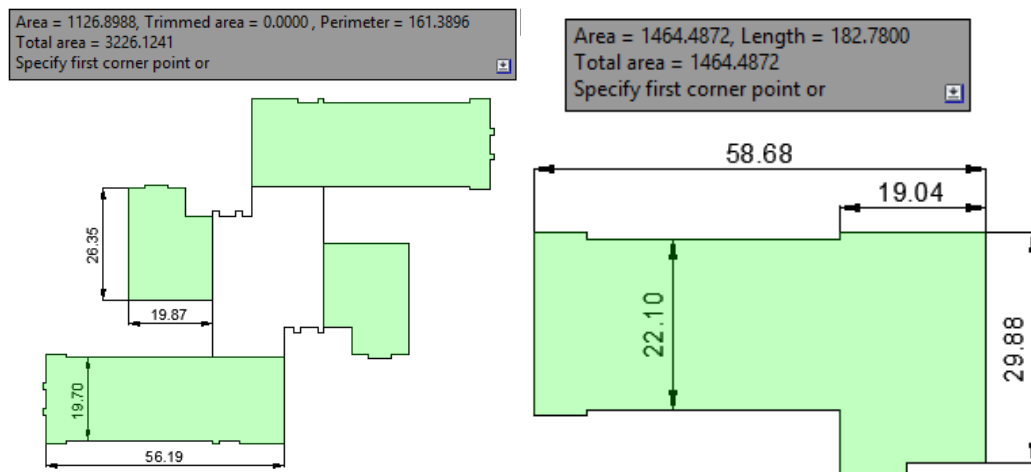


Figura 5.21.- Áreas de los bloques de aulas y laboratorios

En la tabla 5.3 se resume el total de área aprovechable para la generación de energía fotovoltaica.

Tabla 5.3.- Sectores y áreas aprovechables para generación de energía fotovoltaica

Sector	Cantidad	Área	Área Total
Bloque de aulas	2	3226,12 (m ²)	6452,24 (m ²)
Bloque de laboratorios	2	1464,48 (m ²)	2928,96 (m ²)
Área Total			9381,20 (m²)

B.- Determinación de la capacidad del área.- Como ya se explicó, el bloque de aulas consta de cuatro azoteas, de las cuales se ha seleccionado la del Bloque A para la implementación del generador fotovoltaico conectado a red (Figura 5.22) y luego realizar la evaluación por área de generación.

$$\text{Área del techo del edificio} = (56 \text{ m}) * (19 \text{ m}) = 1064 \text{ m}^2$$

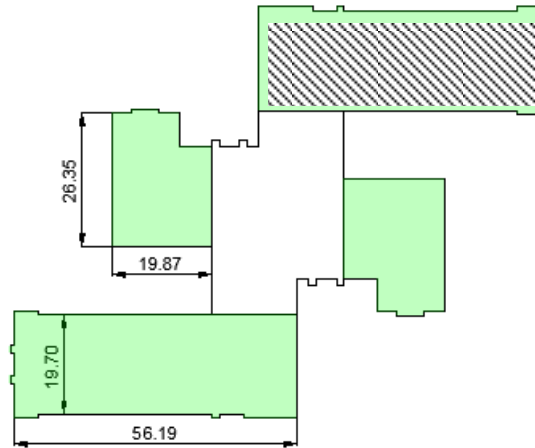


Figura 5.22.- Área útil del Bloque A

C.- Selección de los módulos FV.- Una vez obtenida el área útil, se selecciona un proveedor de módulos FV, igual que la alternativa No 1, se escogió el panel fotovoltaico Helios de 300w, que tiene las dimensiones: largo=1,976m; ancho=0.990m y espesor=0.4 m, ver detalles en el la figura 5.23 y Anexo C1.

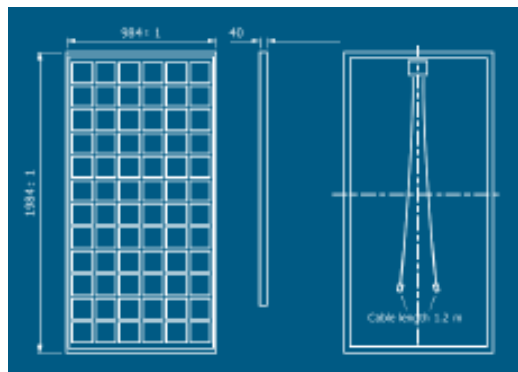


Figura 5.23.- Panel FV Serie 7T2 de 300 Wp marca Helios.

D.- Determinación del número de módulos.- Para definir el número de paneles que pueden ser colocados se consideran los siguientes datos:

Angulo de inclinación.- Para la determinación del ángulo de inclinación (Figura 5.24) debemos considerar que éste nos permitirá obtener la mejor radiación solar durante el año y también la evacuación del agua de lluvia y acumulación de polvo. De la ecuación 6 se tiene que:

$$\beta = 0,678^\circ + 10^\circ = 10,678^\circ \approx 11^\circ$$

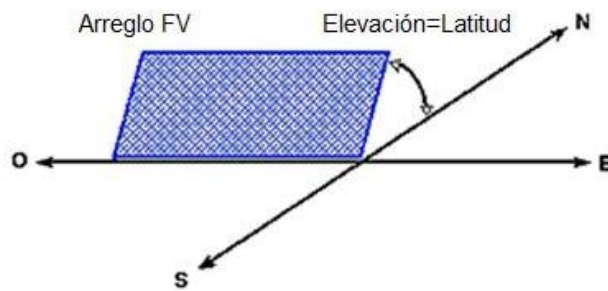


Figura 5.24.- Orientación de la estructura para la captación de radiación solar

Separación entre filas.- Será necesario calcular la distancia a la que deben posicionarse las filas de paneles para impedir que la sombra proyectada por los primeros afecte al rendimiento de las filas posteriores tal como se indica en la figura 5.25

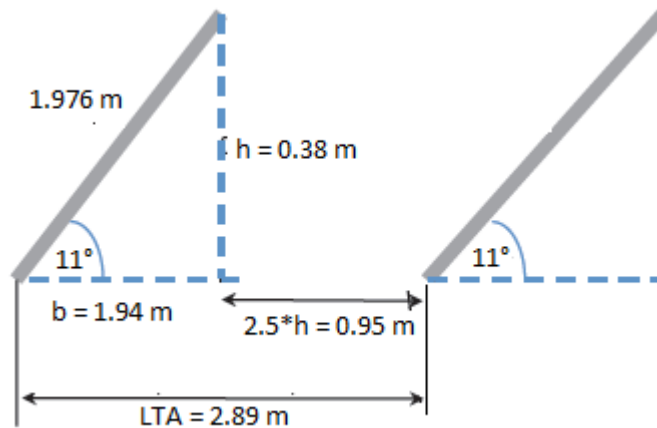


Figura 5.25.- Distancia mínima entre paneles

Para ello se utilizará las relaciones trigonométricas de acuerdo al ángulo de inclinación encontrado.

$$h = 1,976 \text{ m} * \sin 11^\circ = 0,38 \text{ m}$$

$$b = 1,976 \text{ m} * \cos 11^\circ = 1,94 \text{ m}$$

$$S = 12,5 * h = 2,5 * 0,38 \text{ m} = 0,95 \text{ m}$$

$$LTA = b + S = 1,94 + 0,95 = 2,89 \text{ m}$$

Dónde:

h: altura desde la horizontal hasta el extremo del panel inclinado.

b: distancia horizontal del panel inclinado.

S: distancia entre el extremo del panel inclinado y el inicio de la siguiente fila.

LTA: Longitud total del arreglo.

Con estas consideraciones previas se determinó el número de paneles fotovoltaicos a lo largo y ancho del área útil.

Tabla 5.4.- Número de paneles para el área útil del edificio

Determinación de número de paneles en el área del bloque A		
Largo útil (Lu): 56 m	Filas:(Lu/LTA) = 56m/2.89m	19
Ancho útil (Au): 19 m	Paneles (Au/Ap) = 19m/0.99m	19
# Paneles en el bloque A		361

E.- Determinación del número de paneles en serie (NPS) y en paralelo (NPP).- Para realizar el cálculo del número de paneles en serie y paralelo, primero se debe seleccionar un inversor que pueda satisfacer la potencia total del generador. Para este caso se adopta el criterio de seccionar la instalación con el fin de usar más de un inversor con la consecuente mejora en la confiabilidad de la instalación fotovoltaica. El inversor seleccionado es un SUNNY TRIPOWER 20000TL ver Anexo C2, que cuenta con las siguientes características:

Tabla 5.5.- Características generales del inversor

MARCA	SMA
Modelo	SUNNY TRIPOWER 20000TL
Potencia máx. de c.c (w)	20300
Rango de Tensión FV, MPPT (V)	580 – 800
Corriente máxima de entrada (A)	36

Para el cálculo del número de paneles en serie (Nps) se debe considerar que:

$Nps \times V_{m\acute{a}x_p} \leq V_{max_psi}$ (V_{max_psi} : voltaje máximo del punto de seguimiento de máxima potencia del inversor)

$$Nps \times 36.55 \text{ V} \leq 800 \text{ V}; \text{ entonces } Nps \leq 22$$

$Nps \times V_{m\acute{i}n_p} \geq V_{m\acute{i}n_psi}$ ($V_{m\acute{i}n_psi}$ punto de seguimiento de máxima potencia del inversor)

$$Nps \times 33.72 \text{ V} \geq 580 \text{ V}; \text{ entonces } Nps \geq 18$$

Teniendo estas consideraciones tenemos que el número de paneles conectados en serie está dentro del rango: $18 \leq N_{ps} \leq 22$

Para el cálculo del número de paneles en paralelo se debe cumplir que:

$$N_{pp} \times I_{cc_panel} \leq I_{max_Inv}$$

$$N_{pp} \times 8.2 \text{ A} \leq 36 \text{ A}; \text{ entonces } N_{pp} \leq 4$$

Con estos datos podemos generar una matriz de posibilidades, para las distintas configuraciones de arreglos que podríamos formar.

Tabla 5.6.- Arreglos de paneles fotovoltaicos

Arreglo				
Nps/Npp	1	2	3	4
22	22	44	66	88
21	21	42	63	84
20	20	40	60	80
19	19	38	57	76
18	18	36	54	72

Tabla 5.7.- Potencia asociada al arreglo fotovoltaico

Potencia asociada al arreglo (kW)				
Nps/Npp	1	2	3	4
22	5.6	11.2	16.8	22.4
21	5.4	10.8	16.2	21.6
20	5.1	10.2	15.3	20.4
19	4.85	9.7	14.3	19.4
18	4.6	9.2	13.8	18.4

En la tabla 5.6 se han determinado los arreglos posibles conforme las restricciones calculadas, mientras que en la tabla 5.7 se ha calculado la potencia c.c. de entrada al inversor (P_{in_inv}) en función de la siguiente expresión:

$$P_{in_inv} = P_p * f_a \tag{Ec. 5.14}$$

Dónde:

P_p : Potencia pico del panel fotovoltaico.

f_a : Factor de ajuste de 0,85, aplicable a Ecuador, que relaciona la Potencia del Campo Solar (PCS) con la del inversor.

Si se considera que la potencia c.c de entrada máxima al inversor es de 20.3 kW, según el fabricante, el arreglo que más se ajusta es el siguiente:

Tabla 5.8.- Arreglo final serie - paralelo

Nps	Npp	Total Paneles	Pp (kw)	P al invector (kw)	P nominal invector (kw)
19	4	76	22.8	19.4	20.3

Para determinar la conveniencia del arreglo se verifica que la corriente de entrada al invector no supere su potencia máxima de entrada y que el voltaje del arreglo no supere la tensión admisible del invector.

Comprobación corriente:

$$I_{max_arreglo} < I_{max_invector} \quad Ec.5.15$$

$$I_{max_arreglo} = N_{pp} * I_p$$

$$I_{max_arreglo} = 4 * 8.2 A = 32.8$$

$$**Entonces:** \quad 32.8 A < 36 A$$

Comprobación voltaje:

$$V_{max_arreglo} < V_{max_invector} \quad Ec.5.16$$

$$V_{max_arreglo} = N_{ps} * V_p$$

$$V_{max_arreglo} = 19 * 36.55 V = 694.45 V$$

$$**Entonces:** \quad 694.45 V < 800 V$$

De esta manera confirmamos que la configuración seleccionada satisface las condiciones antes mencionadas.

F.- Determinación del número de inversores.- Para calcular el número de inversores necesarios para el sistema fotovoltaico se utiliza la ecuación 5.5:

$$\# \text{ Inversores} = \frac{\# \text{ Paneles}}{\# \text{ de paneles por arreglo}}$$

$$\# \text{ Inversores} = \frac{361}{76} = 4.75 \approx 5 \text{ inversores}$$

Una vez calculado se determina la necesidad de utilizar 5 inversores para la instalación fotovoltaica con conexión a la red.

G.- Cálculo de protecciones.- Con base a los resultados anteriores también es posible dimensionar los elementos de protección requeridos.

Fusible

$$I_{Flusible} = 1.2 \times I_{Corto\ circuito\ del\ Panel} \quad Ec. 5.17$$

$$I_{Flusible} = 1.2 \times (8.77 A)$$

$$I_{Flusible} = 10.524 A$$

Protecciones Sobretensión

$$1000 V_{dc} / I_n 20kA$$

Conexión de protecciones.- Una vez calculado y seleccionado los componentes para protección del SFCR, se procede a conectarlos, la figura 5.26 indica su distribución y conexiones.

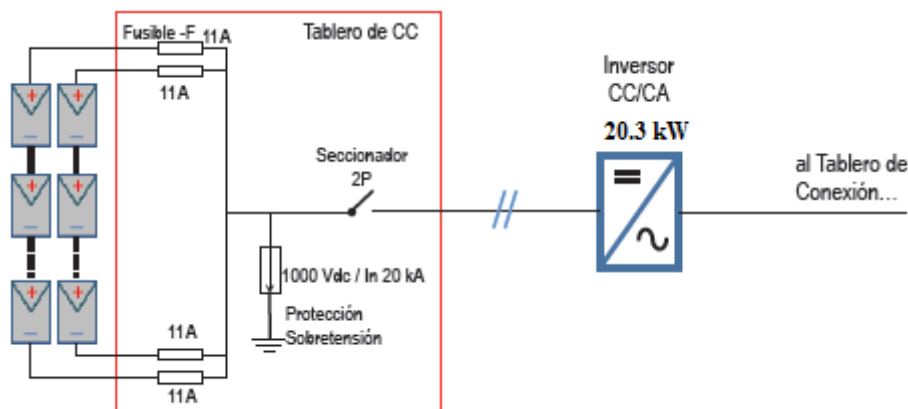


Figura 5.26.- Sistema de protección y conexión para el SFCR

H.- Medidor de energía bidireccional.- Este instrumento se encargará de registrar la energía consumida y generada por el SFCR, para de esta manera calcular costos por consumo y por generación. Los requerimientos y especificaciones del equipo son establecidos por el CONELEC en especificaciones técnicas para pequeña escala, deben contar con los siguientes parámetros:

- Tensión de referencia 220/127 V
- Corriente: 15-100 A
- Frecuencia: 50/60 Hertz

- Clase de exactitud 0.2 %
- Pantalla: LCD
- Condiciones de trabajo: -30°C~60°C

I.- Análisis y evaluación económica.- Como en la Alternativa No 1, en ésta también se debe realizar un análisis técnico financiero para determinar su factibilidad, será necesario por tanto calcular costos de implementación y unitarios para comparar con los preferenciales generados por energía no convencional y establecer la factibilidad del proyecto.

En la tabla 5.9, se detallan los materiales y equipos de la instalación fotovoltaica que formarán la inversión inicial, éste presupuesto se consideró únicamente para el Bloque A, para luego evaluar por área de construcción.

Tabla 5.9.- Presupuesto y material utilizado

Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Módulo de 300W	361	400,00	144400,00
Inversor	5	6390,00	31950,00
Estructura de acero	180	200,00	36000,00
Otros	1	7500,00	7500,00
TOTAL			219850,00

Considerando que el costo de implementación es para cubrir un área de 1064 m², el costo por metro cuadrado será de: \$ 206,62 \$/m², que invertido en los 9381,20 m² disponibles para instalar el sistema da una inversión total de **\$ 1'938.399,27**

Como el proyecto es para 20 años, a una tasa de interés del 8%, la inversión al finalizar el proyecto tendrá un valor total de:

$$VF = 1'938.399,27 * (1 + 8\%)^{20} = \$ 9'034.795,93$$

La anualidad será de: \$ 451.739,80

Coste unitario de energía.- Para el cálculo del costo unitario de energía (\$/kWh), se tomó los mismos costos por mantenimiento, operación y administración detallados en la tabla 5.2, cuyo monto asciende a \$ 38.024,09. Por tanto el costo total de la inversión en los 20 años será de:

\$ 9'034.795,93 + \$ 38.024,09 = **\$ 9'072.820,01** y el anual de \$ 453.641,00

De cálculos anteriores se estableció 361 paneles a ser instalados en un área de 1064 m², por tanto para 9381,20 m² será necesario de 3183 paneles y 45 inversores para generar 955 kWp.

Por tanto el costo unitario de energía será de:

$$CUE = \frac{453.641 \text{ usd}}{3183 \times 0,3 \times 4 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} \times 365 \text{ días}} = 0,33 \frac{\text{usd}}{\text{kWh}}$$

El costo unitario de energía para este sistema resulta ser de 0,33 USD por kWh similar a la alternativa 1, con la diferencia que en este caso si se cumple la regulación 004/11 en generar mínimo 1MW de energía solar fotovoltaica, por tanto el costo de concesión será de 0,40 USD/kWh y se constituirá en la mejor propuesta establecida.

Cálculo del VAN y el TIR.- Para comprobar la factibilidad del proyecto se calculó los límites de rendimiento a través del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), principales indicadores de acreditación.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Vt}{(1+k)^t} - I_0 \qquad VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Vt}{(1+TIR)^t} - I_0 = 0$$

Dónde:

Vt = Flujos de caja en cada periodo t

I₀ = Valor inicial de la inversión

n = Número de periodos considerado

k = Tasa de descuento

Los resultados de los flujos de caja netos, de ingresos, egresos, tasa de descuento, anualidades, número de periodos y resultados se detallan en la Tabla 5.10

Tabla 5.10.- Resultados del cálculo del VAN y TIR

Potencia Generada kWh	Costo \$/kWh	Horas Gener h	Ingresos Anuales \$	Egresos Instalación \$	Egresos Mantnto \$	Flujo Neto (Vt) \$	Inversión Inicial (I ₀) \$	Tasa Interés k	No. Años n	VAN	TIR
954,9	0,4	6	836492,4	451739,8	1901,2	382851,4	1946557	8%	20	1812334	19%

De acuerdo al criterio de aceptación o rechazo de un proyecto, si el VAN es mayor que 0 se acepta, caso contrario se rechaza, por tanto el proyecto es factible.

Con relación al TIR, el criterio de aceptación es: si la rentabilidad es mayor que la tasa de interés el proyecto es factible, por tanto la TIR del proyecto 19% es mayor que la tasa de interés 8%, el proyecto es rentable.

Relación Costo Beneficio.- Es un complemento del VAN, también conocido como índice de rentabilidad, es el cociente de la suma total de los beneficios dividido entre la suma total de los costos a una misma tasa de interés.

$$\text{Indice} \frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = \frac{\text{Total de Ingresos}}{\text{Total de Egresos}} = \frac{16'729.848}{9'072.820} = 1,84$$

Si el cociente es mayor a 1 significa que para la tasa de interés los beneficios son mayores que los costos, por tanto el proyecto sigue siendo factible.

Tiempo de recuperación.- Es el tiempo en el cual se recupera la inversión total, se determina por el cociente de la inversión total dividido para el ingreso anual.

$$\text{Tiempo de Recuperación} = \frac{\text{Total de Inversión}}{\text{Ingresos anuales}} = \frac{9'072.820}{836.492,4} = 10,84$$

TR ≈ 11 años

Por lo anterior el proyecto es factible tanto económicamente VAN=1'812.334 y TIR 19% como técnicamente 1MW de generación de energía solar fotovoltaica, con un índice costo beneficio de 1,84 y un tiempo de recuperación de 11 años.

5.5.3. Alternativa No 3.- Sistema de Generación Fotovoltaica Aislada para Alumbrado Público del Campus.

El alumbrado exterior hace posible desarrollar múltiples actividades en la noche, pero es imprescindible iluminar de forma adecuada, evitando la emisión de luz directa a la atmósfera y empleando la cantidad de luz estrictamente necesaria allí donde la necesitamos. Toda luz emitida hacia arriba o hacia los espacios en donde no es necesaria, no proporciona seguridad ni visibilidad y es un gasto innecesario de recursos.

Existen normas como la Directiva Europea EUP 2005/32/CE que proscribire definitivamente las lámparas de mercurio a partir de abril de 2015 y generalmente las Normas en materia de contaminación lumínica imponen la utilización de luminarias que limiten radicalmente el flujo al hemisferio superior. El empleo de paneles fotovoltaicos, en la iluminación de ambientes exteriores genera gran

expectativa, el pago por consumo de energía eléctrica se reduce pues la energía la suministra el sol a través de los paneles, con lo que permite afrontar el reto energético y medioambiental, mejorando el confort luminoso y proporcionando un alumbrado eficiente y acogedor reforzando la sensación de seguridad. La iluminación de calles con tecnología Led, al mismo tiempo que disminuye el consumo de energía y los costos generales de operación, tiene el potencial, de reducir la contaminación lumínica por el resplandor que emana de las grandes ciudades propagándose hasta vastas distancias, otro aspecto es que la tecnología iluminación Led permite el control de su iluminancia de acuerdo a las horas de la noche. Finalmente un aspecto relevante de esta tecnología es su longevidad pues supera las 60000 horas, que en alumbrado público representa, aproximadamente 4 veces más que la iluminación pública convencional.

A.- Parámetros de Diseño.- Para definir la demanda de consumo para esta alternativa de diseño se parte de los siguientes criterios:

- Debe ser un sistema fotovoltaico aislado
- Longitud a ser iluminado 560 m, en la vía de acceso tipo M4 al Campus. Anexo C4
- Emplear lámparas Led de alta eficiencia y ahorro energético.
- Demanda de diseño 4424 W, 56 en luminarias
- Nivel de voltaje de las luminarias 220V
- Tiempo de funcionamiento 12 horas
- Irradiación: 4,26 kWh/m² , horas sol pico: 4,26
- Temperatura mínima: 6° y Temperatura máxima: 20°

B.- Selección del tipo y número de los componentes fotovoltaicos.- Se ha previsto la utilización de una superficie plana orientada al norte e inclinada 10° con respecto a la Línea Ecuatorial horizontal, los componentes a ser empleado son los que se detalla a continuación:

Luminaria Led.- La luminaria led seleccionada será de la marca Schreder, tipo Senso, de 79 W, en un total de 56 unidades y 28 unidades por los 2 circuitos a realizarse, figura 5.27.



Figura 5.27.- Luminaria Senso

Existen en dos tamaños. Senso 1 equipada con 62 LED y Senso 2 con 96 LED.

Esta nueva gama se caracteriza por sus altas prestaciones fotométricas asociadas a una oferta casi ilimitada de distribuciones luminosas, basadas en el sistema OrientoFlex®. Esta flexibilidad permite contemplar cualquier tipo de aplicación en alumbrado de carretera.

Panel Fotovoltaico.- Los paneles seleccionados serán de marca SUNTECH, serie Pluto 245 W, con un total de 56 unidades y 28 unidades por los 2 circuitos independientes a realizarse, cada panel posee un área de 1,6 m², en la figura 5.28 se muestra la curva característica y el panel.

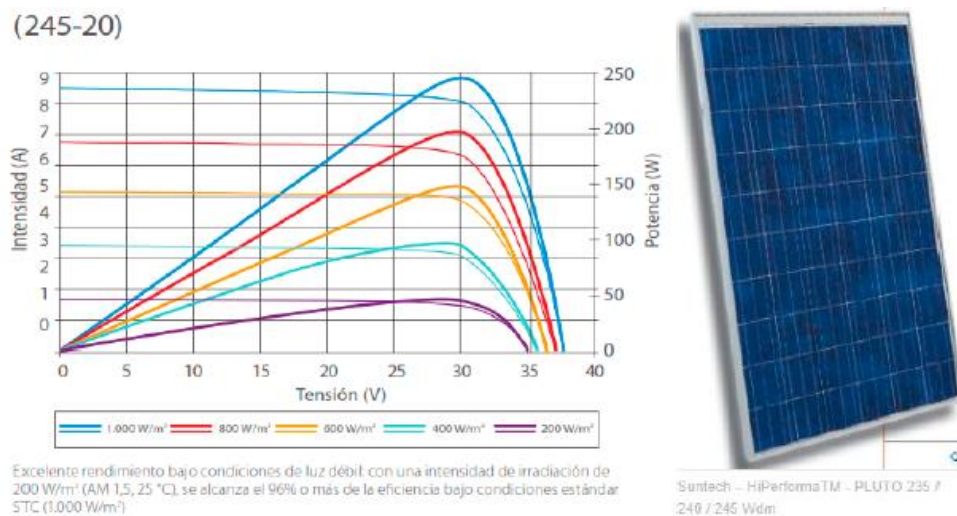


Figura 5.28.- Curva de Intensidad-Tensión y Potencia-Tensión

Inversor.- Se seleccionó de la Marca Sunny Boy 3000, la cantidad total de 2 unidades y 1 unidad por circuito independiente, con voltaje nominal de entrada 24Vcd y de salida 230Vac. Figura 5.29

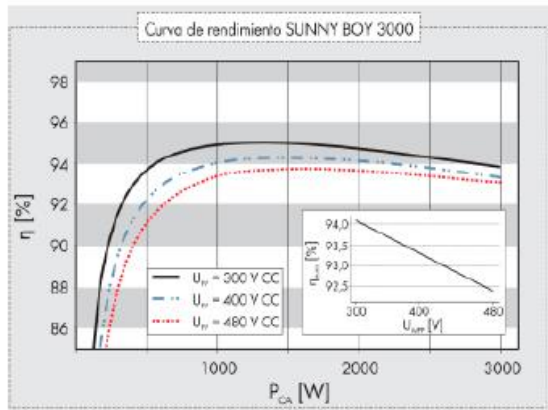


Figura 5.29.- Inversor Sunny Boy 3000

Regulador.- El regulador seleccionado será de Marca Atersa, serie MPPT 80C, con voltaje nominal de 24V y corriente máxima de 80A se utilizara 2 unidades en total y 1 unidad por circuito independiente. Figura 5.30



Características Principales

- MPPT (seguidor de punto de máxima potencia) integrado, manejo de carga de batería, información del estado de carga.
- Potencia de salida permanente sin reducción a temperatura ambiente de hasta 50°C.
- Monitor de energía de batería integrado, rastrea la producción y consumo de potencia para calcular la energía restante en la batería. Estado de carga SOC (state-of-charge) se muestra en porcentaje full, Amper-horas, Watt-horas. Además el cargador solar almacena 90 días de carga de energía.
- Alimenta baterías de plomo ácido, gel y AGM. Carga de 4 etapas con parámetros ajustables.
- Se pueden conectar módulos FV en serie hasta 112 VCC (140VCC máx).
- Sencilla conexión en paralelo de hasta 16 unidades para corrientes elevadas.
- Carga precisa de baterías de 12V/24V/36V/48V con fácil configuración.

Figura 5.30.- Regulador Atersa MPPT 80C

Baterías.- El banco de baterías seleccionado será de la Marca BAE, serie OPzS2500, de 2V, C10 = 2576 Ah cada una, se emplea un total por los 2 circuitos de 48 unidades y de 24 unidades respectivamente. Figura 5.31



Característica	Voltaje (V)	Capacidad (Ah) 20°C	Dimensiones (mm) (LxWxH)	Peso (Kg)	Profundidad de descarga (%)
4 OpzS 200	2,4	200	105x 208x360	4,9	
5 OpzS 250	2,4	250	126x208x360	6,1	80
6 OpzS 300	2,4	300	258x208x306	7,2	80
5 OpzS 350	2,4	350	126x208x475	7,9	80
6 OpzS 420	2,4	420	147x208x475	9,4	80
7 OpzS 490	2,4	490	168x208x475	10,9	80
6 OpzS 600	2,4	600	147x208x650	12,9	80
8 OpzS 800	2,4	800	215x193x650	16,9	80
10 OpzS 1000	2,4	1000	215x235x650	21,1	80
12 OpzS 1200	2,4	1200	215x277x650	25,5	80
12 OpzS 1500	2,4	1500	215x277x800	34,2	80
16 OpzS 2000	2,4	2000	215x400x775	48,0	80
20 OpzS 2500	2,4	2500	215x490x775	68,0	80
24 OpzS 3000	2,4	3000	215x580x775	76,0	80

Figura 5.31.- Baterías BAE, serie OPzS2500

C.- Determinación de la Demanda.- Para conocer cuánta energía eléctrica se requiere en el sistema a electrificar, se debe tener en cuenta las características eléctricas de los equipos a alimentar y el tiempo de empleo por parte del usuario del sistema. Las cargas eléctricas para este sistema lo constituyen las luminarias tipo Led SENSO que convertirán la energía eléctrica en lumínica siendo una de las ventajas la facilidad de variar su intensidad lumínica.

D.- Evaluación del nivel de iluminación requerido.- El nivel de iluminación indica la cantidad de luz que llega a una superficie y se define como el flujo luminoso recibido por unidad de superficie. La iluminancia horizontal se calcula mediante la ecuación 5.18. La figura 5.32 indica como incide el flujo en la superficie.

$$E_H = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} \quad \text{Ec. 5.18}$$

$$\tan \alpha = \frac{R}{h} \quad \text{Ec. 5.19}$$

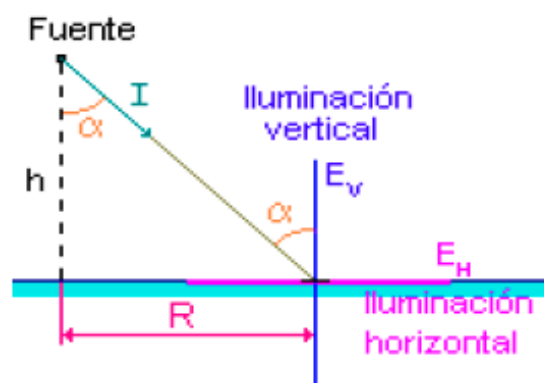


Figura 5.32.- Disposición de la fuente de luz

Dónde:

I: Intensidad luminosa (cd)

α: Ángulo de incidencia del rayo

E_H: Iluminancia horizontal (lux)

R: Distancia de análisis

h: Altura de suspensión de la luminaria.

Características de la luminaria tipo Led.- La luminaria seleccionada tiene las siguientes características:

Número de Leds: 62

Flujo luminoso: 94 lm/led

Potencia: 79 W

Flujo de lámpara, $\Phi = 5828 \text{ lumens} = 5828 \text{ lm} = 5.82 \text{ klm}$

La figura 5.33 indica la distribución fotométrica para la luminaria empleada.¹⁰

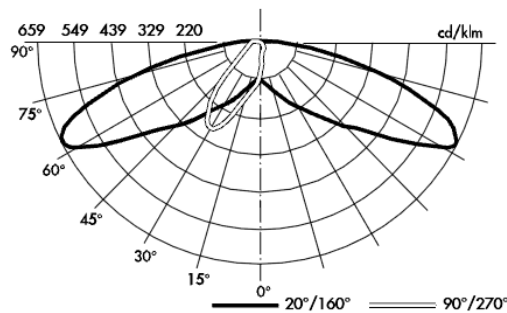


Figura 5.33.- Distribución fotométrica para la luminaria

La tabla 5.11 resume los valores del nivel de iluminación horizontal calculado con la Ec.5.18 para valores de α igual a: 45° , 52.5° y 62° , I_r se determina de la curva de la distribución fotométrica que se indica en la figura 5.33, en la misma tabla se indica los valores de la distancia R (Ec.5.19) que corresponde a la mitad de la distancia entre las dos luminarias. El nivel de iluminación horizontal está evaluado para una altura de montaje de $h = 8 \text{ m}$.

Tabla 5.11.- Cálculo del flujo luminoso a diferentes ángulos

α [°]	I_r [cd/klm]	I [cd]	E [lux]	R [m]
45	360	2095.20	11.57	8.00
52.5	500	2910.00	10.26	10.43
60	622	3620.04	7.07	13.86

Según la tabla anterior cuando la interdistancia ($2R$) sea 20.86 m el nivel de iluminación es 10.26 lux, mientras que para 27.72 m el nivel de iluminación es 7.07 lux. Según las normas CIE 115: 2010¹¹ para alumbrado de tráfico vehicular y

¹⁰ Catalogo Schreder Senso Led

¹¹ Norma CIE 115: 2010 (Recomendaciones para iluminación de calzadas para tráfico de motor y peatones)

peatonal se escoge un tipo M4 (carreteras secundarias de conexión), en la que se establece un nivel de iluminación mínimo de 10 lux por lo que la distancia de separación entre las luminarias para este proyecto es 20 m.

Para verificar lo anterior se hace uso del software Ulysse V 2.3. Para el cálculo se propone una iluminación central con brazo doble como se indica en la figura 5.34

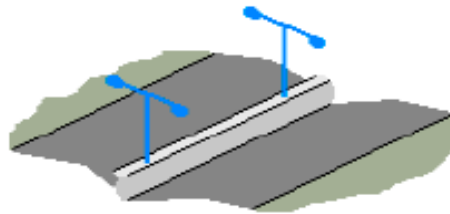


Figura 5.34.- Disposición de luminarias

Los parámetros y valores requeridos para el cálculo se ingresan en el programa como se indican en la figura 5.35. Los datos que debemos ingresar al programa están: altura de montaje, tipo de luminaria, flujo luminoso, factor de mantenimiento, número de carriles, ancho de carril, interdistancia, tipo de superficie (asfalto) entre otros.

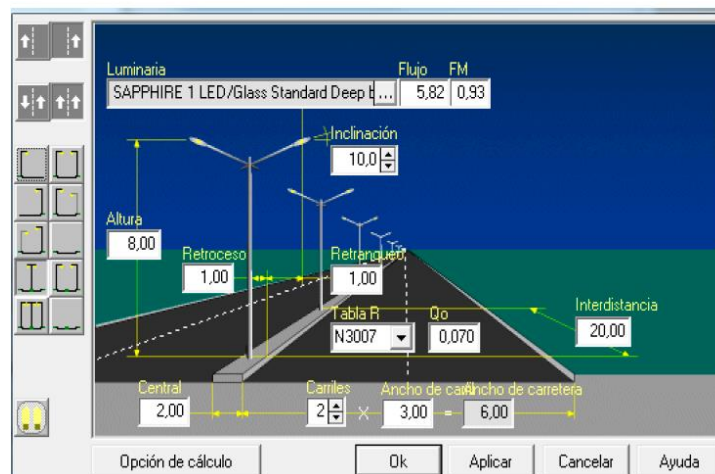


Figura 5.35.- Valores de entrada para el cálculo en el programa Ulysse

El programa arroja los resultados respectivos; un breve resumen se muestra en la tabla 5.12. En la columna de recomendaciones CIE 115, se indica los valores indicados por la norma, por lo tanto los calculados indican que la interdistancia de 20 m entre las dos luminarias para este tipo de aparato de alumbrado es el apropiado. La altura de suspensión es 8 m.

Tabla 5.12.- Breve resumen de los valores calculados por el software Ulysse

PARAMETRO	DESCRIPCIÓN	VALORES CALCULADOS	VALORES RECOMENDACIÓN CIE 115
Lmed [cd/m ²]	Luminancia media	1,30	≥ 0,75
Uo [%]	Coefficiente de uniformidad global	71,6	≥ 0,4 (40%)
Emín [lux]	Nivel de iluminación mínimo	10,5	≥10
Emed [lux]	Nivel de iluminación media	16,6	≥10
Ti [%]	Control de deslumbramiento	10,4	≤ 15

E.- Cálculo del número de luminarias

Longitud a iluminar = 560 m

Número de luminarias para una calzada = $560/20 = 28$ luminarias

Número total de luminarias para las calzadas = $2 (28) = 56$ luminarias.

F.- Demanda requerida de la instalación.- La potencia requerida por cada una de estas luminarias es 79 W por lo que la potencia demandada para iluminar 560 metros es 4424 W, que corresponde 4.42 KW. La tabla 5.13 resume el cálculo de la energía demandada por día.

Tabla 5.13.- Determinación de la energía demandada por día

Ítem	Descripción	Potencia	Cantidad	Potencia	Factor	Potencia	Horas	Energía
		(W)	(EA)	Total 1 (W)	Simultaneidad (%)	Total 2 (W)	Uso (h)	Necesaria (Wh / día)
1	Luminaria Led Senso	79	56	4.424,00	100	4.424,00	3,5	15.484,00
2	Luminaria Led Senso	79	56	4.424,00	70*	3.096,80	2,5	7.742,00
3	Luminaria Led Senso	79	56	4.424,00	40*	1.769,60	4,5	7.963,20
4	Luminaria Led Senso	79	56	4.424,00	100	4.424,00	1,5	6.636,00
Total:							12	37.825,20

En el Anexo C5 se indica la distribución de las luminarias en la vía occidental y acceso principal del Campus, ya que la propuesta de este proyecto es iluminar el este sector de vía con energías renovables.

G.- Cálculo de dispositivos fotovoltaicos.- Las especificaciones técnicas para el diseño del sistema de generación fotovoltaica son las siguientes:

Nivel de insolación para la zona: 4,36 kWh /m²/día

Potencia Instalada = Potencia Demanda = 4424 W

Inversor.- Para el cálculo se utiliza la ecuación 5.20

$$P_I = 1,2P_D \quad \text{Ec. 5.20}$$

$$P_I = 1,2 \times 4424W = 5308,8 W = 5,3 kW = 6 kW$$

Dónde:

P_I : Potencia del inversor

P_D : Potencia de demanda

Por lo tanto la potencia del inversor es 6 KW. Se utilizará 2 Inversores: SUNNY BOY 3000 a 24Vcd – 220 Vac (Anexo C6), conectados de manera independiente para los 2 circuitos de campo fotovoltaico.

Energía Campo Solar.- Para este cálculo se utilizó la ecuación 5.21

$$E_{cs} = \frac{D_D}{\eta_{inv} \times \eta_{cb} \times \eta_{db}} \quad \text{Ec. 5.21}$$

$$E_{cs} = \frac{37825,20}{95 \times 90 \times 95} = 46568,42 \frac{Wh}{día} = 46,57 \frac{kWh}{día}$$

Dónde:

D_D : Demanda diaria = $37825,20 \frac{Wh \text{ elec}}{día}$

η : Eficiencia (%)

Paneles Fotovoltaicos.- Se seleccionó el Modelo: SUNTECH PLUTO 245-Wdm, $P_{\text{máx}} = 245W$, $V_{mp} = 29,8V$, $I_{mp} = 8,23^a$, Cortocircuito: $V_{oc} = 37,2V$, $I_{sc} = 8,55^a$. Para el cálculo se utilizó las ecuaciones 22 a la 26.

$$N_{ps} = \frac{V_{nb}}{V_{mp} - 3} \quad \text{Ec. 5.22}$$

$$N_{ps} = \frac{24V}{29,8V - 3} = 0,89 = 1$$

$$E_{panel} = \frac{V_{nb}}{N_{ps}} \times I_{mp} \times H_{sp} \quad \text{Ec. 5.23}$$

$$E_{panel} = \frac{24V}{1} \times 8,23A \times 4,26 = 841,44Wh$$

$$N_{panel} = \frac{E_{cs}}{N_{ps} \times E_{panel}} \quad Ec. 5.24$$

$$N_{panel} = \frac{6568,42 \frac{Wh}{día}}{1 \times 841,44Wh} = 55,34 = 56$$

$$N_{panel \times inv} = \frac{N_{panel}}{2} \quad Ec. 5.25$$

$$N_{panel \times inv} = \frac{56}{2} = 28 \text{ módulos } \times \text{ inversor}$$

$$E_{cs \times inv} = N_{panel \times inv} \times E_{panel} \quad Ec. 5.26$$

$$E_{cs \times inv} = 28 \times 841,44Wh = 23560,32 Wh$$

Por lo anterior se utilizara en total 56 paneles fotovoltaicos, 28 por cada inversor conformando 2 campos fotovoltaicos, de la Marca: SUNTECH, Serie: PLUTO 245-Wdm (Anexo C7).

Baterías.- Para su cálculo se utilizó las ecuaciones de la 27 a la 31

$$C_t = \frac{N \times D_D}{\eta_{inv} \times \eta_{db} \times P_{fd} \times V_{nb}} \quad Ec. 5.27$$

$$C_t = \frac{5 \times 37825,20 \left(\frac{Wh \text{ elec}}{día}\right)}{95(\%) \times 95(\%) \times 75(\%) \times 24V}$$

$$C_t = 11642,10 Ah \rightarrow \text{Total de la demanda} = C42,75$$

$$C_t = 5821,05 Ah \rightarrow \text{Total por circuito inversor} = C42,75$$

$$t = \frac{E_d/2}{P_{inst}/2} \times N \quad Ec. 5.28$$

$$t = \frac{37825,20/2}{4424/2} \times 5 = 42,75$$

$$x = 32,75 \times \frac{25\%}{90} = 9,09\%$$

$$C10 = (1 - 0,0900) \times C42,75 N \quad Ec. 5.29$$

$$C10 = (1 - 0,0900)(5821,05 Ah) = 5291,91 Ah$$

$$C100 = 1,25 \times C10 \quad Ec. 5.30$$

$$C100 = 1,25 \times 5291,91 \text{ Ah} = 6614,89 \text{ Ah}$$

$$I_{cc} \leq 0,1 * C10 \quad \text{Ec. 5.31}$$

$$28 * 8,55 \leq 0,1 * 5291,91 \text{ Ah}$$

$$239,40 \text{ A} \leq 529,2 \text{ A}$$

El proceso anterior conlleva a seleccionar la batería: Marca BAE, Modelo 20 OPzS 2500 (2576 Ah C10) 2v, total de Vasos 48 ha utilizarse con los 2 inversores, conectados 12 en serie y 2 ramales en paralelo, dando un total instalado de C10= 5152 Ah por cada inversor (Anexo C8).

Regulador.- Para el cálculo se utilizó las ecuaciones de la 32 a la 35

$$V_{nreg} = V_{npanel} = 24V \rightarrow \text{Regulador}$$

$$I_{\text{máx consumo}} = \frac{P_{\text{máx inv}}}{V_{npanel} \times \eta_{inv}} \quad \text{Ec. 5.32}$$

$$I_{\text{máx consumo}} = \frac{3000W}{24V \times 0,95} = 131,57 \text{ A} = 132 \text{ A}$$

$$I_{\text{máx cortocircuito}} = N_{panel} \times I_{sc} \quad \text{Ec. 5.33}$$

$$I_{\text{máx cortocircuito}} = 28 \text{ paneles} \times 8,55 \text{ A} = 239,4 \text{ A} = 240A$$

$$I_{\text{máx regulador}} = 1,2 \text{ mayor} | I_{\text{máx consumo}}, I_{\text{máx cortocircuito}} | \quad \text{Ec. 5.34}$$

$$I_{\text{máx regulador}} = 1,2 \times 240A = 288A$$

$$N_{regulador} = \frac{I_{\text{máx reg}}}{I_{n reg}} \quad \text{Ec. 5.35}$$

$$N_{regulador} = \frac{288 \text{ A}}{80} = 3,6 = 4$$

Los cálculos anteriores demuestran que se utilizara en total 8 reguladores, 4 por cada inversor conectado en paralelo, de la Marca ATERSA, Serie: MPPT-80C, en el Anexo C9 se indica mayores detalles.

H.- Esquema de conexión del sistema.- Cada uno de los componentes del sistema de generación fotovoltaica, debe ser interconectados eléctricamente. El esquema de conexiones se indica en la figura 5.36. El total de paneles a emplearse

son 56, divididos en 2 circuitos independientes conformando un campo fotovoltaico de 28 paneles, se interconectan en 28 ramas en paralelo cada una contiene 1 panel en serie, el sistema de carga funcionara a 24 V, el inversor convertirá de 24 V DC a 220 V AC, 60 Hz por cada circuito y de igual manera su regulador de 24V a 80A conectados 4 en paralelo por cada circuito. Cada luminaria contara con su control de nivel de iluminación de acuerdo a las horas programadas, a continuación se detalla el diagrama unifilar del circuito del Sistema Fotovoltaico a instalarse.



Figura 5.36.- Circuito de conexión del sistema

I.- Análisis y evaluación económica.- Para determinar el costo de implementación del sistema se tomó en cuenta los costos de paneles solares, regulador de carga, inversor, cableado, estructura soporte, baterías e imprevistos, la tabla 5.14 muestra los costos en detalle.

Tabla 5.14.- Costos de implementación del sistema fotovoltaico

Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Paneles Fotovoltaicos de 245Wp, 24V, incluido cableado y estructura de soporte	56	365,0	20440,0
Inversor Sunny Boy 3000, 24V	2	1800,0	3600,0
Reguladores Atersa, 24V, Mppt80	8	590,0	4720,0
Baterías, 2V, Bae, 20 OPzS 2500	48	956,2	45897,6
Luminarias Led, Senso, 79W	56	420,0	23520,0
Accesorios, conductores, postes	1	8000,0	8000,0
TOTAL			106177,6

Como el proyecto es para 20 años, a una tasa de interés del 8%, la inversión al finalizar el proyecto tendrá un valor total de:

$$VF = 106.177,60 * (1 + 8\%)^{20} = \$ 494.889,24$$

La anualidad será de: \$ 24744,46

Coste unitario de energía.- Para el cálculo del costo unitario de energía (\$/kWh), en este caso se incrementó los costos por mantenimiento, ya que se debe planificar un mantenimiento mayor cada 5 años para renovar todos los acumuladores ya que su vida útil está entre 3 a 5 años, en la tabla 5.15, se detallan los costos.

Tabla 5.15.- Desglose de costos anuales

Desglose	Valor (\$)
Operación	4.560,00
Mantenimiento	10.617,52
Costos administrativos	2.160,00
	17.337,50

El proyecto es para 20 años, a una tasa de interés del 8%, el costo futuro por mantenimiento será de:

$$VF = 17.337,50 * (1 + 8\%)^{20} = \$ 80.809,34$$

Por tanto el costo total de la inversión en los 20 años será de:

$$\$ 494.889,24 + \$ 80.809,34 = \$ 575.698,59 \text{ y el anual de } \$ 28.784,93$$

El costo unitario de energía será:

$$CUE = \frac{28.784,93 \text{ usd}}{4,424 \times 8 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} \times 365 \text{ días}} = 2,22 \frac{\text{usd}}{\text{kWh}}$$

El costo unitario de energía para este sistema resulta ser de 2,22 USD por kWh muy por encima de todo precio referencial, por tanto este proyecto no resulta factible económicamente.

5.6.- Conclusiones del capítulo

En este capítulo se propuso tres alternativas de diseño de un sistema de generación eléctrica por energía solar fotovoltaica, como fuente alternativa de energía eléctrica para el Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara de la ESPE Extensión Latacunga.

En la primera alternativa se analizó la factibilidad de incorporar un sistema de generación de energía solar fotovoltaica tipo SFCR, al sistema energético del Campus, en función de la carga instalada 115 kWp, para esto será necesario

instalar 772 módulos mono-cristalinos serie 7T2 de 300W de la marca Helios y 6 inversores con potencia máxima de salida de 20 kW de la marca Sunny Tripower, a una inversión inicial de \$ 485.838 que en 20 años, tiempo de duración del proyecto, se convertirá en \$ 2'264.470,10 dando un costo unitario de energía de 0,33 USD/kWh. Esta alternativa no es factible económicamente debido a que en la regulación 004/11 del CONELEC se especifica que para acceder a costos preferenciales por generación de energía solar fotovoltaica es necesario generar mínimo 1MW.

En la segunda alternativa se planteó generar energía solar fotovoltaica tipo SFCR, en función del área útil de generación, para ello se calculó el área total de las azoteas de algunos de los edificios que conformarán el Campus al final de su construcción en 9381,2 m² que podrían albergar hasta 3183 módulos mono-cristalinos serie 7T2 de 300W de la marca Helios y 45 inversores con potencia máxima de salida de 20 kW de la marca Sunny Tripower, a una inversión inicial de \$ 1'946.557,27 que en 20 años, tiempo de duración del proyecto, se convertirá en \$ 9'072.820,01 dando un costo unitario de energía de 0,33 USD/kWh, para generar 955 kWp (1MWp). Esta alternativa es la mejor propuesta ya que tanto técnica como económicamente es factible con un VAN de 1'812.334 un TIR de 19%, un índice costo beneficio de 1,84 y un tiempo de recuperación de 11 años.

En la tercera alternativa se planteó la generación de energía solar fotovoltaica tipo autónoma SFA, para iluminar 560 m. de la vía principal del Campus durante 12 horas, para ello se utilizará 56 luminarias Led, tipo Senso, de 79W, 56 paneles de la serie Pluto de 245 Wp marca SUNTECH, 2 inversores Sunny Boy 3000 de 24V, 8 reguladores Atersa, 24V, Mppt80 y 48 Baterías, 2V, Bae, 20 OPzS 2500, a una inversión inicial de \$ 123.177,60 que en 20 años, tiempo de duración del proyecto, se convertirá en \$ 575.698,59 dando un costo unitario de energía de 2,22 USD/kWh, costo que está fuera de todo alcance o justificación, por tanto no es factible el proyecto.

CONCLUSIONES GENERALES

1. Se evaluó el recurso solar de la Parroquia Belisario Quevedo y del Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara, basándose en el atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica, emitido por el CONELEC, estableciéndose un promedio de 4,34 kWh/m²*día, de la misma manera se procedió con el Mapa de Irradiación Solar Global, emitido por el INAMHI, estimándose un rango de 4 a 4,5 kWh/m²*día. De igual forma se procedió tomando como referencia las bases de datos internacionales como la NASA en un valor promedio de 3,96 kWh/m²*día y la UML en 4,37 kWh/m²*día, se estableció por tanto y para efectos de cálculos un promedio de 4,35 kWh/m²*día. Se evaluó la heliofanía de la zona mediante los anuarios del INAMHI, calculándose en 4,8 horas de brillo solar. Se calculó las horas pico solares HSP en promedio de 4 h, en función de la irradiación global promedio. Se calculó la irradiación solar sobre superficie inclinada en base a la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC en 3,77 kWh/m²*mes, estableciéndose el mes de junio el más desfavorable en cuanto a recurso solar.
2. Se determinó la demanda actual del edificio utilizando un analizador de calidad de energía eléctrica trifásica marca PowerPad, modelo 3945-B, el mismo que se instaló por 5 días consecutivos, obteniéndose un consumo máximo de 115 kW, un mínimo de 0 kW y un promedio de 51.33 kW. Para corroborar esta carga se inventarió los equipos instalados, sobre todo las luminarias existentes en cada planta del edificio, dando un total de carga instalada de 115,44 kW que comparada con la medida se ratifica su valor.
3. Se revisó la literatura de los sistemas de generación solar fotovoltaica y se determinó que el más propicio para implementar en el Campus es el Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR) en función de su área de generación, ya que no posee baterías ni reguladores que encarecen al sistema y tienen la ventaja de que su producción se genera justo cuando la demanda de electricidad aumenta, es decir durante el día y es proporcional al área de generación. La metodología consiste en determinar la carga o el área útil de generación, seleccionar y calcular el número de módulos y arreglos

fotovoltaicos, seleccionar y calcular el número de inversores, calcular la inclinación, sombras y distancia entre paneles, seleccionar el sistema de anclaje e instalación, seleccionar los conductores y sus protecciones y finalmente diagramar su conexión.

4. Se analizó la factibilidad de incorporar un sistema de generación de energía solar fotovoltaica tipo SFCR, al sistema energético del Campus, en función de su área de generación, para cumplir con la regulación, 004/11 del CONELEC, para ello se calculó el área total de las azoteas de algunos de los edificios que conformarán el Campus al final de su construcción en 9.381,2 m² que podrían albergar hasta 3.183 módulos mono-cristalinos serie 7T2 de 300W de la marca Helios y 45 inversores con potencia máxima de salida de 20 kW de la marca Sunny Tripower, a una inversión inicial de \$ 1'946.557,27 que en 20 años, tiempo de duración del proyecto, se convertirá en \$ 9'072.820,01 dando un costo unitario de energía de 0,33 USD/kWh, para generar 955 kWp (1MWp). Se comprobó la factibilidad del proyecto calculándose un VAN de 1'812.334, un TIR de 19%, un índice costo beneficio de 1,84 y un tiempo de recuperación de 11 años. Se desechó la alternativa de generación de energía solar fotovoltaica tipo autónoma SFA por su alto costo, poca generación y autonomía, además de utilizar una gran cantidad de baterías que se desechan cada 5 años.
5. Con la implementación del SFCR en el Campus se contribuirá con la reducción de las emisiones de CO₂ en el Ecuador ya que al no consumir combustibles fósiles se disminuye en 0,4 Kg/kWh, que para este caso representa 550.080 Kg/año si se compara con generación eléctrica con gas natural y en el caso generación eléctrica con carbón en 1Kg/Kwh, que representa 1'375.200 Kg/año, ayudando así al planeta entero, evitando la emisión de gases tóxicos, no contribuyendo al efecto invernadero ni a la lluvia ácida, siendo un proyecto prototipo en el país para otros que a su vez se sumaran a esta iniciativa que busca en gran manera quitar la dependencia a los combustibles fósiles y abrir una nueva página en la matriz energética del país.

RECOMENDACIONES

1. Para efectuar una evaluación más centrada a la realidad del medio es recomendable realizar mediciones in situ, pero con datos históricos mínimo de 5 años atrás, en este caso al ser la estación meteorológica de la ESPE-EL nueva y no disponer de datos históricos, se recomienda realizar una confrontación con los existentes a nivel nacional transcurrido por lo menos un año atrás.
2. Si bien es cierto el recurso solar fotovoltaico tiene múltiples ventajas como: fuente inagotable, gratuito, no contamina, limpio, no produce ruido, etc., el costo de generación sigue siendo elevado 0,40 \$/kWh en comparación con el costo de generación hidroeléctrico 0,09 \$/kWh, por ello se recomienda realizar una evaluación del recurso hidroeléctrico como fuente de generación alternativa, ya que aproximadamente a 20 Km se encuentran instaladas y en funcionamiento las mini centrales hidroeléctrica Illuchi I y II, esto con el fin de confrontar costos de generación fotovoltaica contra hidroeléctrica en la zona.
3. La evaluación del potencial eólico en el Campus no arrojó buenos resultados como para analizar la instalación de aerogeneradores, pero la parroquia Belisario Quevedo se compone de dos zonas, la baja donde se ubica el Campus y la alta compuesta por el cerro Putzalahua (3.523 m.s.n.m), se recomienda realizar una evaluación del potencial eólico y un análisis de prefactibilidad para la implementación de un parque eólico sobre el cerro.

BIBLIOGRAFÍA

1. Basantes, E., Lechón, L.(2011). *Análisis Técnico Económico para la Implementación de una Central Solar Fotovoltaica en la parroquia San Antonio de Pichincha*. Tesis EPN.
2. Bejarano, N. (2011). *Diseño de un sistema de generación eléctrico solar para la iluminación externa del modular de la Escuela de Ingeniería en Ecoturismo*. Tesis ESPOCH.
3. Buitron, Burbano,. (2010). *Elaboración de una normativa para el diseño y diagnóstico de sistemas fotovoltaicos residenciales autónomos para el Ecuador*. Tesis EPN.
4. Castro, M. (2011). *Hacia una Matriz Energética diversificada en el Ecuador*. CEDA.
5. Castro, M., Colmenar, S. (2011). *Energía Solar Térmica de Baja Temperatura*. 2º Edición.CENSOLAR. Madrid, España.
6. CONELEC. (2009 – 2020). *Plan Maestro de Electrificación*. Quito.
7. CONELEC. (2011). *Estadística del sector Eléctrico Ecuatoriano*. Quito
8. CONELEC., Corporación Para la Investigación Energética. (2008). *Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica*. Quito.
9. CONELEC. *Ley del régimen del sector eléctrico (LRSE)*.
10. CONELEC. *Reglamento de despacho y operación del sistema nacional interconectado*.
11. MEER, Corporación para la Investigación Energética. (2013). *Atlas Eólico del Ecuador con fines de generación*. Quito
12. Hans, R. (1994). *Aplicaciones Prácticas Energía Solar*. Boivareu Editores. México.
13. Hauliaquet, Ch. Baratcabal, D. y Batellier, J. (2005). *La Energía Solar de la Edificación*. Editores Técnicos Asociados. Barcelona, España

14. Hernández. (2010). *El proyecto de investigación, introducción a la metodología científica*
15. Herrera Vanessa. (2011). *Sistema híbrido eólico-fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa*. Tesis UTA.
16. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. (2011). *Informe especial sobre fuentes de energía renovable y mitigación del cambio climático*.
17. Loaiza Juan. Manítio Dany. (2006). *Aplicación de la energía solar en una casa rural*. Tesis EPN
18. GAD-Latacunga. (2010). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Latacunga*.
19. GAD-Belisario Quevedo. (2011). *Planificación participativa del desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Belisario Quevedo*.
20. NEC-11. *Norma Ecuatoriana de Construcción*. Capítulo 14. Energías Renovables.
21. OLADE. (2011). *Manual de Estadísticas Energéticas*.
22. PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO. (2011). *Informe sobre Desarrollo Humano*.
23. Ramírez, T. (2009). *Cómo hacer un proyecto de investigación*. Caracas Panapo.
24. REGULACIÓN No. CONELEC – 004/11. (2011). *Tratamiento para la energía producida con recursos energéticos renovables no convencionales*.
25. Roldán Pablo. (2009). *Evaluación de las energías renovables no convencionales factibles de desarrollarse en el Ecuador*. Tesis EPN.
26. WCED *World Commission for Environment and Development*. (1987). *Our Common Future*. Oxford University Press.
27. WWF, Fundación Natura. (2003). *Energías Renovables: Conceptos y Aplicaciones*. Textos de Consulta. Quito

LINKOGRAFÍA

1. POSICIÓN GEOGRÁFICA DEL CAMPUS GRAL. GUILLERMO RODRÍGUEZ LARA:

<http://www.googleearth.es/>

2. SELECCIÓN DE COMPONENTES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO:

<http://www.solarweb.net/forosolar/fotovoltaica-sistemas-aislados-la-red/calculo-seccion-cables-cc>

3. SECCIÓN DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS:

<http://www.hmsistemas.es/>

4. DISTRIBUIDORES DE PANELES SOLARES EN ECUADOR:

<http://www.proviento.com.ec/index.html>

5. REGLAMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA ECUADOR

<http://www.conelec.gob.ec>

6. COSTO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN ECUADOR

<http://www.meer.gob.ec>

7. PLAN NACIONAL PARA EL BUEN VIVIR 2009-2013

<http://www.planificación.gob.ec>

8. CENTRO ECUATORIANO DE DESARROLLO AMBIENTAL - CEDA

<http://www.ceda.org.ec>

9. INAMHI

<http://www.inamhi.gob.ec>

10. NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN

<http://www.normaconstruccion.ec/>

ANEXOS

ANEXO A1

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

DISTRIBUCIÓN DE LAS ÁREAS DEL CAMPUS

GRAL. GUILLERMO RODRÍGUEZ LARA

ANEXO A2

DISTRIBUCIÓN DE CENTROS DE CARGA

ANEXO B1
ATLAS EÓLICO DEL ECUADOR

ANEXO B2
MEDICIONES DEL VIENTO

ANEXO B3

ATLAS SOLAR DEL ECUADOR

ANEXO B4

MAPA IRRADIACIÓN SOLAR GLOBAL DEL ECUADOR

ANEXO B5

VALORES K SEGÚN LATITUD Y MES DEL AÑO PARA EL ECUADOR

ANEXO C1
PANEL SOLAR

ANEXO C2

INVERSOR

ANEXO C3
TIPO DE CABLE

ANEXO C4
ILUMINACION PÚBLICA

ANEXO C5
DISTRIBUCIÓN DE LUMINARIAS

ANEXO C6

INVERSOR

ANEXO C7
PANEL FOTOVOLTAICO

ANEXO C8

BATERÍAS

ANEXO C9
REGULADOR