



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“DISEÑO DE UNA RED ELÉCTRICA BASADA EN
PANELES FOTOVOLTAICOS Y AEROGENERADORES
PARA CUBRIR LA DEMANDA ENERGÉTICA DEL
CIDIS”

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

RAÚL ANDRÉS CAYETANO CARVAJAL

FRANCISCO VIDAL PIZARRO

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2018

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la energía y dedicación en el transcurso de este paso importante de mi vida.

Mi agradecimiento a la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, a las autoridades y docentes por ser fuente de conocimiento, quienes han impulsado a la culminación de mis proyectos como estudiante, el cual han desarrollado el crecimiento personal y profesional, en especial al CIDIS– ESPOLE y a mi tutora MSc. Janeth Carolina Godoy Ortega por su guía y dedicación para aclarar nuestras ideas y plasmarlas en el proyecto.

A mis compañeros que han sido un impulso dentro y fuera de la universidad para la superación de cada materia tomada y que no solo han aportado como una fuente de conocimiento, sino también como una fuente de motivación para este paso esencial de la carrera.

Raúl Andrés Cayetano Carvajal

DEDICATORIA

A mis padres RAÚL X. CAYETANO y ELSA M. CARVAJAL, a ellos por ser los pilares de mi formación y darme su sabiduría, bendición y completo apoyo no solo en el estudio, sino también en cualquier actividad que quisiera emprender.

A mi familia que me han dado su motivación y consejo en cada momento de mi vida, quienes siempre están orgullosos de cada uno que forma parte de esta unión familiar grande, humilde y amorosa.

A mis amigos y demás personas que de forma desinteresada me brindaron de su ayuda y han sido parte de mi vida.

Raúl Andrés Cayetano Carvajal

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

.....
Msc. Janeth Carolina Godoy Ortega

PROFESOR DE MATERIA

INTEGRADORA

.....
Ph. D. Wilton Edixon Agila Gálvez

TUTOR ACADÉMICO

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

.....
Francisco Vidal Pizarro

.....
Raúl Andrés Cayetano Carvajal

RESUMEN

En el presente proyecto de materia integradora consiste en realizar el estudio para la instalación de sistemas de energías renovables que cubran la demanda energética del Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de sistemas (CIDIS), edificio ubicado en la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL).

Dado que no se tienen datos registrados de medición de energía debido a que los edificios en ESPOL no cuentan con medidores en baja tensión, se optó por tomar datos con un analizador de redes, registrando de esta forma los valores de energía cada 15 minutos por un tiempo de dos semanas por cada panel de distribución, luego se analizan las potencias promediadas por horas en cada línea de los paneles de distribución, obteniendo como resultado una sola potencia promedio por cada línea, esta potencia nos ayudará a dimensionar la potencia del inversor que estará conectado a la red eléctrica.

Posterior a ello, se realizó el estudio de los recursos renovables en el CIDIS. Para el recurso eólico se obtuvieron dos fuentes de información de velocidad del viento las cuales se promediaron para así obtener una relación velocidad-frecuencia, y de esta manera se obtuvo la distribución de Weibull para cada mes, obteniendo la energía producida por un aerogenerador. Por otra parte, mediante los datos de radiación solar mensual se obtuvo las horas sol pico para estimar la energía que producirán los paneles fotovoltaicos y datos de temperatura máximo y mínimo para corregir los valores estándar de los paneles dado por el fabricante.

Luego se realizó un análisis entre la producción de energía que produce un aerogenerador y un panel fotovoltaico a través del factor de planta, obteniendo resultados de viabilidad entre ambos equipos para ahí realizar el respectivo diseño CAD de instalación en el lugar seleccionado y el diseño de conexiones de los equipos a instalar en el CIDIS.

Finalmente se presenta un análisis de costos, para obtener la viabilidad del proyecto en un tiempo de vida de 25 años, para ellos se consideró costos iniciales, costos de operación y mantenimiento trimestrales y costos de reemplazo cada cinco años.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA	ii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	iii
DECLARACIÓN EXPRESA	iv
RESUMEN.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
CAPÍTULO 1	1
1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Justificación	2
1.4 Alcance.....	3
CAPÍTULO 2.....	4
2. ESTADO DEL ARTE.	4
2.1 Antecedentes.....	4
2.2 Marco teórico.....	5
2.2.1 Microrredes.....	5
2.2.2 Generación distribuida.....	6
2.2.3 Sistemas fotovoltaicos.....	7
2.2.4 Energía solar fotovoltaica	7
2.2.5 Energía eólica.....	11
2.2.6 Regulación de energía	14
2.2.7 Conversión de energía	15

CAPÍTULO 3.....	17
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	17
3.1 Análisis de la demanda eléctrica.....	17
3.2 Selección del inversor.....	21
3.3 Evaluación del recurso eólico.....	22
3.4 Evaluación del recurso solar.....	25
3.5 Análisis de producción de energía Eólica vs Solar.....	29
3.6 Dimensionamiento de paneles solares fotovoltaicos.....	30
3.7 Diseño de la microrred.....	33
3.8 Ubicación de la microrred en el emplazamiento.....	34
CAPÍTULO 4.....	37
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	37
4.1 Análisis Técnico del diseño de la Microrred.....	37
4.2 Análisis de la viabilidad económica del diseño de la microrred	40
4.2.1 Gastos Mensuales por consumo Eléctrico en el CIDIS	40
4.2.2 Costos iniciales del sistema.....	41
4.2.3 Costos de operación y mantenimiento.....	42
4.2.4 Análisis de retorno de inversión.....	43
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49
BIBLIOGRAFÍA.....	51
ANEXOS.....	52
Anexo 1: Hoja técnica del Aerogenerador AEOLOS 300W y 600W.....	52
Anexo 2: Hoja técnica del Inversor SMA Sunny Boy 1.5/ 2.5.....	54
Anexo 3: Hoja técnica del Panel Fotovoltaico JKM315M.....	56
Anexo 4: Simulación del Montaje del Sistema de Generación eléctrica Fotovoltaico – Vista superior del CIDIS.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Diagrama de bloque de una microrred.....	6
Figura 2.2 Célula de silicio monocristalino.....	8
Figura 2.3 Célula de silicio policristalino	8
Figura 2.4 Célula de silicio amorfo.....	9
Figura 2.5 Panel solar monocristalino modelo JKM315M-72.....	9
Figura 2.6 Curva V-I del panel solar en diferentes niveles de radiación	10
Figura 2.7 Coeficiente de temperatura según I_{sc} y V_{oc}	10
Figura 2.8 Aerogenerador de eje vertical tipo Savonius	12
Figura 2.9 Aerogeneradores de eje vertical tipo Darrius.....	12
Figura 2.10 Aerogenerador AEOLOS-V-600W	13
Figura 2.11 Inversor monofásico con conexión a la red.....	15
Figura 3.1 Analizador de redes CIRCUTOR	17
Figura 3.2 Gráficas de las potencias por líneas en el panel 1	18
Figura 3.3 Gráficas de las potencias por líneas en el panel 2	19
Figura 3.4 Potencias promedio por líneas del panel de distribución 1	20
Figura 3.5 Potencias promedio por líneas del panel de distribución 2.....	20
Figura 3.6 Distribución de Weibull	24
Figura 3.7 Coordenadas del CIDIS para realizar el estudio.....	26
Figura 3.8 Selección de la orientación de los paneles fotovoltaicos	26
Figura 3.9 Gráfica del horizonte topográfico	27
Figura 3.10 Recorrido del sol 21 de marzo y 21 de septiembre.....	33
Figura 3.11 Distancia entre paneles fotovoltaicos según cálculos	34
Figura 3.12 Distancia recomendada entre paneles fotovoltaicos.....	34
Figura 3.13 Vista superior de paneles fotovoltaicos.....	35
Figura 3.14 Espacio entre inversores	35
Figura 3.15 Montaje de los paneles fotovoltaicos sobre el CIDIS.....	36
Figura 3.16 Conexión de los elementos de la microrred.....	36
Figura 4.1 Representación gráfica de la tasa interna de retorno	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características del generador FSH200	13
Tabla 2 Características e información general del Inversor Sunny Boy 2.5 ..	16
Tabla 3 Datos Técnicos del inversor monofásico Sunny Boy 2.5	22
Tabla 4 Producción de energía del Aerogenerador 600W	25
Tabla 5 Datos de radiación mensual con inclinación de 5° y azimut norte y sur	27
Tabla 6 Datos de radiación mensual con inclinación de 10° y azimut norte y sur.....	28
Tabla 7 Datos de radiación mensual con inclinación de 10° y azimut norte y sur.....	28
Tabla 8 Factor de planta y producción de energía Eólica	30
Tabla 9 Corrección de los valores estándar del panel fotovoltaico	31
Tabla 10 Número máximo y mínimo de paneles solares	31
Tabla 11 Pérdidas por temperatura	32
Tabla 12 Pérdidas en el sistema.....	33
Tabla 13 Consumo de energía del CIDIS durante el día	37
Tabla 14 Producción diaria de energía	38
Tabla 15 Producción de energía en el CIDIS durante la noche	39
Tabla 16 Costo por pago de consumo de energía Anual en el CIDIS.....	40
Tabla 17 Costos iniciales y mano de obra.	41
Tabla 18 Flujo de caja.....	42
Tabla 19 Tasa de interés y Tasa efectiva	43
Tabla 20 Valor Anual Unificado.....	43
Tabla 21 Flujo de caja en 25 años	44
Tabla 22 Valor actual Neto para los 25 años	45
Tabla 23 Tasa interna de retorno del proyecto en 25 años.....	46
Tabla 24 Período de recuperación de la inversión inicial	48

CAPÍTULO 1

1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

En este capítulo, se detallan los problemas relacionados al sistema energético actual en el centro de investigación, los objetivos que se cubrirán en la realización del nuevo sistema de generación de energía para el proyecto, tanto el objetivo general como objetivos específicos, la justificación del estudio en la que se plantea la importancia de utilizar fuentes de energía renovable y su alcance.

1.1 Planteamiento del problema.

En Ecuador la demanda de energía está en constante crecimiento, siendo el petróleo una de las principales fuentes de abastecimiento para la generación de energía, y contando con el 46% de la energía del país por fuentes de hidroeléctricas según documentos del Balance Energético Nacional [1].

El crecimiento poblacional dinamiza el sector de la construcción y a su constante desarrollo tecnológico, por consiguiente, a una mayor demanda energética desde el 2003 hasta el 2013 en Ecuador la generación eléctrica de 12.666 GWh a 23.923 GWh, lo que trae la necesidad de optar por nuevas fuentes de energías renovables. Las instituciones universitarias están en constante crecimiento, esto implica la obligación de sus directivos de estimular la investigación con la debida anticipación para tomar decisiones acertadas a problemas energéticos futuros [1].

El Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Sistemas Computacionales (CIDIS), ubicado en la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), no cuenta con sistemas de medición de energía, ni como está distribuida los consumos energéticos en las líneas que salen de la caja de distribución, por lo que no se puede determinar la eficiencia energética del edificio. Conocer cuanta energía consume y cómo se reparten los consumos energéticos permite dimensionar y diseñar una microrred para la producción de energía, a la vez gestionar de forma eficiente dicho consumo. El consumo de energía que demanda actualmente el CIDIS propone a involucrar nuevas

fuentes de energías para minimizar el costo por pago de energía proveniente de la red eléctrica nacional.

1.2 Objetivos.

1.2.1 Objetivo general

- Diseñar una red eléctrica basada en paneles fotovoltaicos y aerogeneradores para la producción de energía renovable que cubra la demanda energética en las oficinas del CIDIS.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar un estudio de la demanda energética en las instalaciones del CIDIS para el dimensionamiento de los elementos de producción de energía renovables que conforman una microrred eléctrica.
- Dimensionar los sistemas de generación fotovoltaico y eólico en base a datos de radiación solar y velocidad del viento.
- Diseñar la microrred eléctrica en el emplazamiento seleccionado.
- Determinar la viabilidad del sistema desde puntos de vista técnico-económico.

1.3 Justificación

En la actualidad en el Ecuador, la principal fuente de energía que se utiliza para generar electricidad proviene de combustibles fósiles, por ello se pretende diseñar una microrred de generación distribuida basado en energías renovables que sean sostenibles, logrando así la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, además de la obtención de una mayor calidad del suministro eléctrico de energía, un mayor ahorro energético y una menor dependencia de la red de distribución

El diseño de la microrred ayudará a establecer un modelo energético diferente al actual buscando satisfacer la necesidad de la creciente demanda de energía de un modo sostenible y eficaz, minimizando los grandes sistemas de generación centralizados y dando prioridad a los sistemas de generación distribuidos. Lo importante es priorizar el uso de energías renovables y

gestionar de modo eficiente el consumo energético en el CIDIS mejorando así la calidad de energía.

Diseñar un sistema de gestión de energía adecuado es de gran importancia si se pretende conseguir una microrred eficiente, que consiga operar siempre al menor costo posible, a pesar de la incertidumbre que provoca contar con energías renovables difíciles de predecir. Las energías renovables, unidas a un sistema energético distinto, más eficiente y descentralizado en cuanto a generación se refiere, con sistemas de cogeneración eléctrica-térmica, y con una concienciación en el consumo adecuada al problema energético actual, son elementos claves para superar los problemas comentados anteriormente.

1.4 Alcance

En el presente proyecto se desarrollará un análisis de los elementos de consumo de energía para el cálculo de carga en las oficinas del CIDIS y se realizará el estudio para el diseño de una microrred. El estudio se realizará en base a datos tomados del reporte generado por el software METEONORM. El software fue adquirido por el Laboratorio de Ensayos Térmicos (LABET) de la ESPOL para propósitos de diseños de sistemas basados en recursos renovables y eficiencia energética. Estos parámetros se tomarán en cuenta para dimensionar de forma eficiente los sistemas de captación de energías renovables que consta de paneles fotovoltaicos y aerogeneradores. Se diseñará el sistema de almacenamiento y conversión de energía para el óptimo funcionamiento de la microrred abasteciendo la demanda energética en las oficinas. Finalmente se determinará la viabilidad del proyecto para evaluar aspectos técnicos y económicos para su posible implementación en el futuro.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE.

El estado del arte se detallan los antecedentes de cómo está actualmente el sistema de distribución de energía en el CIDIS. Se realiza una breve descripción de los proyectos realizados en centro de investigación y el marco teórico donde se describen las tecnologías y las características de los equipos a utilizar en el diseño.

2.1 Antecedentes.

Desde que se construyó el edificio donde actualmente opera el centro de investigación CIDIS ha funcionado con el sistema de distribución convencional, un sistema de distribución centralizado. El edificio no cuenta con un sistema de medición de energía, ni registros históricos del consumo de energía mensual.

El sistema de distribución de energía en el cuarto de transformadores es un sistema trifásico compuesto por tres transformadores monofásicos de 50KVA conectado en estrella con neutro, los voltajes de salida en el secundario de los transformadores a la caja de distribución son de 120 V de línea a neutro y 208 V de línea a línea, la distribución de carga se encuentra dividido en dos partes: un disyuntor de tres polos alimenta al sistema de aire acondicionado, luminarias y tomacorrientes, y el otro disyuntor de 3 polos alimenta luminarias, tomacorrientes donde se conectan las computadoras y lo que es el cuarto de rack.

En el CIDIS se han venido desarrollando proyectos de materia integradora sobre energías renovables a pequeña escala, como prototipo para alimentar sistemas específicos de baja potencia ya que cuentan con proyectos que lo requieren.

La importancia de realizar este estudio permite desarrollar sistemas de distribución de energía eléctrica descentralizados que se puedan aplicar a sistemas que requieran mayor demanda energética, es decir, aplicados al sector residencia o edificios de oficinas, lo cual dará una idea de un sistema mucho más real ya que se conocerán las tecnologías que existen para el diseño de la microrred.

2.2 Marco teórico.

En base a lo planteado en los antecedentes y dando como prioridad al interés de cómo gestionar la energía a nivel del sector residencial, comercial o industrial, dentro de un sistema energético denominado “microrred”, lo primero que se plantea estudiar son los principales elementos que intervienen en dicho intercambio energético para poder llegar a una sostenibilidad y un equilibrio de todos ellos.

A continuación, se detallarán algunas definiciones necesarias para la elaboración del presente proyecto.

2.2.1 Microrredes

Las microrredes son pequeños sistemas inteligente de generación eléctrica auto gestionable localmente, la transmisión puede ser bidireccional, es decir, pueden funcionar de forma aislada o conectadas a la red pública (EEE) a través de un punto de conexión a la red denominado punto de acoplamiento común (PAC) [2].

Los sistemas de generación distribuida implican utilizar la energía de forma descentralizada, esto ayuda a reducir la dependencia de la red de distribución convencional.

Una de las principales características de las microrredes es que las capacidades máximas según las recomendaciones de la IEEE son de aproximadamente entre 3KW a 10MW [3] en comparación a grandes centrales de generación de tal forma que se puedan conectar casi en cualquier punto del sistema eléctrico.

En la figura 2.1 se observa un diagrama general de los elementos que conforman una microrred.

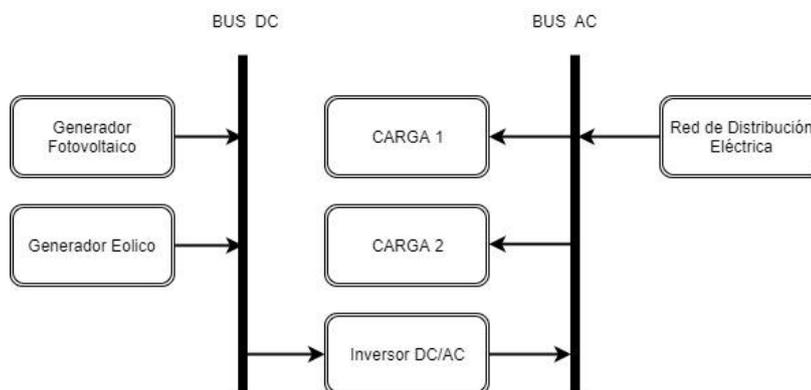


Figura 2.1 Diagrama de bloque de una microrred

Los principales componentes que se seleccionarán y analizarán para la conformación de la microrred son:

- Paneles fotovoltaicos
- Mini generadores eólicos
- Sistema de almacenamiento
- Convertidores DC-DC
- Convertidores DC-AC
- Protecciones

2.2.2 Generación distribuida

No existe aún una definición comúnmente aceptada para la Generación Distribuida, e incluso, la propia denominación difiere según la fuente documental. En ocasiones se utiliza el término Generación Dispersa o, aunque más raramente, el de generación "in-situ".

Una definición muy conocida es la del IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers): "Generación Distribuida es la producción de electricidad con instalaciones que son suficientemente pequeñas en relación con las grandes centrales de generación, de forma que se puedan conectar casi en cualquier punto de un sistema eléctrico. Es un subconjunto de recursos distribuidos" [3].

2.2.3 Sistemas fotovoltaicos

Según el tipo de aplicación de suministro de energía que se requiera, se considera tres grupos de sistemas fotovoltaicos: aislados, híbridos y conectados a la red.

Sistemas aislados

Normalmente son instalados donde la red eléctrica no está disponible. Generalmente a estos sistemas se les asocia un sistema de almacenamiento que cubra la demanda eléctrica cuando no esté disponible el recurso solar [4].

Sistemas híbridos

Son combinaciones entre un sistema fotovoltaico y con cualquier otra fuente de energía eléctrica, por lo general se lo combina con generadores diésel o eólicos [4].

Sistemas conectados a la red

Inyectan energía a la red en momentos de sobre producción de energía, también estos sistemas se alimentan de la red cuando es requerido. Estos sistemas necesitan de controladores de flujo de energía e inversores. Estos sistemas por lo general se aplican en lugares urbanos ya sea edificios o casa [4].

2.2.4 Energía solar fotovoltaica

La corriente eléctrica que es aprovechada o almacenada de forma conveniente por la absorción de la luz y la transformación de la energía de la radiación, fotones, se denomina “El efecto fotovoltaico”.

Los paneles fotovoltaicos son parte principal de la microrred, se encargan de convertir la energía solar en corriente continua. Están configurados por conjuntos de células de silicio conectadas en serie-paralelo para obtener el voltaje y corriente adecuado [5].

Silicio monocristalino

Su estructura es cristalina completamente ordenada y se obtiene de silicio puro fundido. Frecuentemente son de color azulada oscura y metálica, las conexiones de las células fotovoltaicas son individuales entre sí, poseen una eficiencia de 15 a 18% [5].



Figura 2.2 Célula de silicio monocristalino

Silicio policristalino o multicristalino

Tienen superficie con estructura de cristales ordenada por regiones separadas, las zonas irregulares implican una disminución del rendimiento, de la misma forma que la célula monocristalina se obtiene la célula policristalina, pero con menos fases de cristalización (Combinación de átomos), su rendimiento esta entre 12 a 14% [5].

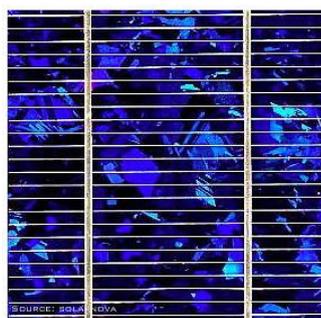


Figura 2.3 Célula de silicio policristalino

Silicio amorfo

Su combinación química presenta un alto grado de desorden y un alto número de defectos estructurales. Por lo general se lo presenta como

lamina delgada sobre vidrio o plástico no existe conexión visible entre células debido a su color que es homogéneo y su rendimiento es menor del 10% [5].



Figura 2.4 Célula de silicio amorfo

Panel Fotovoltaico monocristalino modelo JKM315M-72

El recurso de energía solar fotovoltaica en el lugar seleccionado (CIDIS) es esencial para el dimensionamiento de los paneles solares, en este proyecto se tomarán medidas promedio mensual de radiación solar mediante la base de datos del software METEONORM [6] en el sitio donde se realizará el estudio.

La figura 2.3 muestra el panel seleccionado para realizar el estudio, es de la marca Jinko Solar, modelo JKM315M-72. Tiene una potencia 315 W y eficiencia de 16.23% [7].



Figura 2.5 Panel solar monocristalino modelo JKM315M-72

La curva característica en los puntos de voltaje de circuito abierto y corriente de corto circuito del panel representa las posibles combinaciones de corriente y voltaje del panel fotovoltaico bajo las distintas condiciones ambientales y radiación incidente en el panel. La figura 2.6 muestra la relación voltaje-corriente en el punto de máxima potencia para los diferentes niveles de radiación [7].

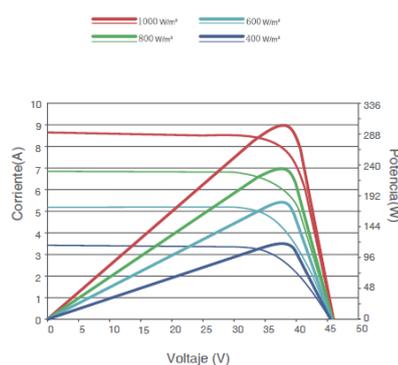


Figura 2.6 Curva V-I del panel solar en diferentes niveles de radiación

La figura 2.7 muestra cómo cambian los valores de voltaje de circuito abierto y la corriente de corto circuito del panel fotovoltaico según la temperatura a la que se encuentre, estos cambios en los valores de voltaje y corriente se tomarán en cuenta al momento de realizar el dimensionamiento de los paneles [7].

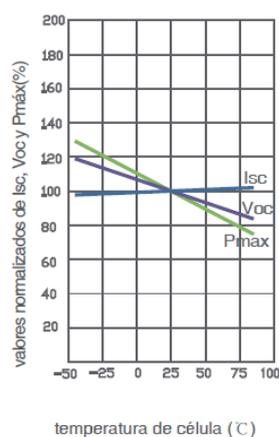


Figura 2.7 Coeficiente de temperatura según Isc y Voc

2.2.5 Energía eólica

Por consecuencia de la radiación solar no uniforme que recibe la tierra, se crea el efecto de gradientes horizontales de presión dentro de la atmósfera produciendo viento, que es el aire en movimiento.

En la actualidad, la energía eólica representa una fuente energética tecnológicamente madura para la producción de energía eléctrica en sistemas conectados a la red.

Aerogeneradores

El principio de los aerogeneradores es con transformar la energía cinética del viento en energía mecánica, logrando mover el eje del rotor para adaptarse al generador que convierte finalmente la energía mecánica a energía eléctrica.

Básicamente existen dos tipos de aeromotores o aerogeneradores, eje horizontal y eje vertical, el principio de operación es esencialmente el mismo. La captación de energía eólica se realiza mediante la acción del viento sobre las palas, las cuales están unidas al eje a través de un elemento llamado cubo que es el conjunto que recibe el nombre de rotor [8].

Molinos de eje horizontal

Son considerados con los de mayor eficiencia. En su mayoría, la conversión de la energía disponible en el eje del rotor en otra forma de energía se realiza mediante dispositivos ubicados en la Torre. Los molinos de eje vertical tienen como ventaja que no necesitan un sistema de orientación compleja, dado que se pueden instalar en lugares de fácil acceso (alturas cercanas al suelo) como en edificios.

En los molinos de eje vertical existen dos tipos de rotores:

Rotores Savonius

Poseen un elevado par de arranque, pero con una eficiencia pobre. Debido a su sencillez y bajo costo de fabricación se lo emplea en aplicaciones que requieran baja potencia [8].

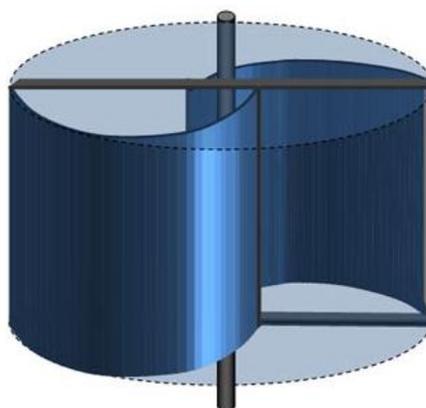


Figura 2.8 Aerogenerador de eje vertical tipo Savonius

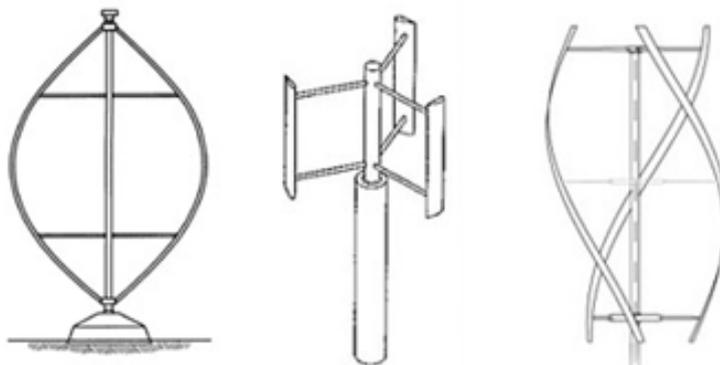


Figura 2.9 Aerogeneradores de eje vertical tipo Darrius

Rotores Darrius

Tienen un par de arranque casi nulo, pero entrega potencias altas por unidad de peso del rotor y por unidad de costo. Este modelo es uno de los competidores con los generadores de eje horizontal [8].

El aerogenerador AEOLOS-V-600W es Darrius tipo H, tiene un peso de 18 kg aproximadamente y posee un pequeño tamaño (diámetro del rotor

de 1.77 metros), alcanza una potencia máxima de 800 W. El diseño de sus palas hace que comience a funcionar aun solo con brisas [9].



Figura 2.10 Aerogenerador AEOLOS-V-600W

Características	
Potencia máx. del generador	800 W
Vida Útil	15 años
Tipo de aerogenerador	Eje vertical
Diámetro del rotor	1.77 m
Número de palas	3
Circuito de Protección	incorporado
Data Logger	incorporado
Velocidad de arranque	1,5 m/s
Velocidad Máxima	10 m/s
Máxima velocidad del rotor	360 rpm
Sistema de frenado	Electromagnético regenerativo
Sistema de comunicación	Sistema remoto de interfaz Wireless 2

Tabla 1 Características del generador FSH200

Generadores Sincrónicos

Los generadores sincrónicos, aunque tienen un mayor rendimiento potencial, deben operar a velocidad constante si se quiere mantener fija la frecuencia. El mantenimiento del número de revoluciones, acorde con la frecuencia de línea, es función exclusiva del motor que los impulsa (en nuestro caso el rotor eólico), siendo necesario elaborados sistemas de control.

La variabilidad del recurso exige, en muchas instalaciones aisladas, acumular energía en baterías y desde ellas alimentar la demanda. En estos casos la frecuencia no tiene ninguna importancia pues habrá rectificadores que transformarán la C.A. en corriente continua (C.C.). Es obvio entonces que la utilización de alternadores responde en estos casos a la búsqueda de menores costos y mejores rendimientos y no a una característica del servicio.

El acoplamiento entre rotor eólico y generador se realiza a través de una caja multiplicadora. Su empleo es necesario pues a medida que crece el diámetro deben limitarse las r.p.m. del rotor para evitar que las puntas de las palas trabajen a velocidades que comprometan la resistencia de los materiales empleados o induzcan vibraciones perjudiciales. Por otra parte, los generadores comerciales requieren girar a velocidades que están entre las 1000 y las 3000 r.p.m., dependiendo de sus características constructivas y la frecuencia a obtener [8].

2.2.6 Regulación de energía

Para las instalaciones fotovoltaicas existen dos tipos de tecnologías en los convertidores DC-DC:

Reguladores de carga solar PWM

Actúan como interruptores entre las fuentes de energía renovable y las baterías. Estos reguladores fuerzan a los módulos fotovoltaicos a trabajar al voltaje de las baterías [10].

Reguladores de carga solar MPPT

Se encarga de seleccionar entre la energía de los paneles fotovoltaicos y las baterías. Permiten trabajar a diferentes voltajes, por eso los reguladores de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT por sus siglas en inglés) se adaptan al voltaje que está entregando los paneles fotovoltaicos, para entregar la máxima potencia [10].

2.2.7 Conversión de energía

La energía eléctrica producida por los paneles fotovoltaicos (Corriente continua) necesita ser convertida para poder energizar las cargas en AC, por ello que se usa un inversor de energía. Los inversores también funcionan con el seguimiento del punto de máxima potencia.

Inversor SMA Sunny Boy 1.5/ 2.5

El inversor de la figura 2.9 cuenta con el sistema MPPT para el seguimiento de máxima potencia, su máxima eficiencia es de 98.5%. Además, cuenta con visualización de datos mediante software del fabricante para el monitoreo de la energía producida por los paneles fotovoltaicos y la demanda energética en el CIDIS [11].



Figura 2.11 Inversor monofásico con conexión a la red

La tabla 2 muestra las características principales del inversor de la marca SMA, contando con un monitor para la visualización de la información de la microrred. Además, contiene la información general de datos físicos del inversor.

Características	Información General
Conexión CC/ Conexión AC	Dimensiones: 460/357/122 mm
Monitor	Peso: 88 kg
Interfaces: RS485, bluetooth, SpeedWire/Webconnect, WLAN	Rango de Temperatura: - 40°C a +60°C
Servicio Web Integrado	Grado de protección (Según IEC 60529): IP65
Garantía: 5/10/15/25 años	Categoría Climática (Según IEC 60721-3-4): 4K4H

Tabla 2 Características e información general del Inversor Sunny Boy 2.5

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO.

En este capítulo se detallan todas las herramientas que se utilizaron para el dimensionamiento de los aerogeneradores y paneles fotovoltaicos que conforman la microrred eléctrica para cubrir la demanda en el CIDIS, a partir, de los consumos registrados con el analizador de energía y del estudio de los recursos renovables en el lugar.

3.1 Análisis de la demanda eléctrica.

Para medir la demanda eléctrica en el CIDIS se utilizó un analizador de energía de la marca CIRCUTOR modelo AR5. Se registró el consumo de potencia y energía cada 15 minutos en cada panel de distribución durante dos semanas por cada panel.



Figura 3.1 Analizador de redes CIRCUTOR

El sistema trifásico de distribución de energía en el cuarto de transformadores está conformado por tres transformadores monofásicos conectados en estrella con neutro a tierra, los voltajes de línea a línea son de 208 voltios y de línea a neutro son de 120 voltios. Este modelo del analizador de redes CIRCUTOR solo permite configuración para sistemas trifásicos.

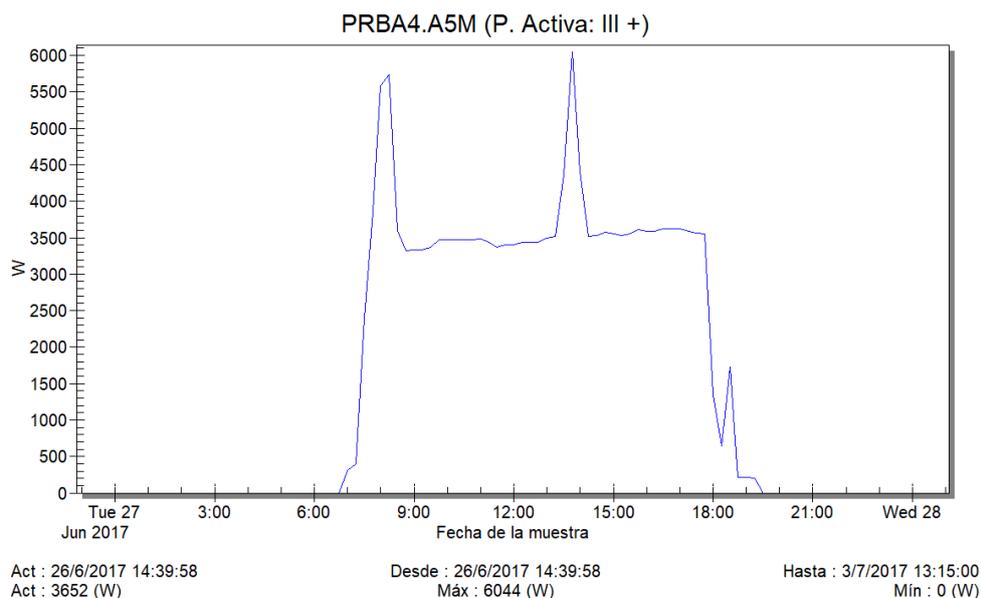


Figura 3.2 Gráficas de las potencias por líneas en el panel 1

La grafica 3.2 muestra la potencia total registrada el 27 de junio del 2017 en el panel de distribución 1, en el cual se encuentra conectado las centrales de aire acondicionado y cargas monofásicas como las luminarias, impresoras, computadoras, proyector, etc. Se observa que a las siete de la mañana aproximadamente se enciende la central de aire acondicionado y generan picos de 6000 vatios máximo. Estos picos se ven con frecuencia durante 45 minutos aproximadamente. Una vez que se apagan las centrales de aire acondicionado el consumo de las cargas monofásicas en el CIDIS está alrededor de 3500 vatios. A partir de las seis de la tarde se observa que la potencia disminuye debido a que la mayoría del personal de trabajo finaliza su horario de oficina.

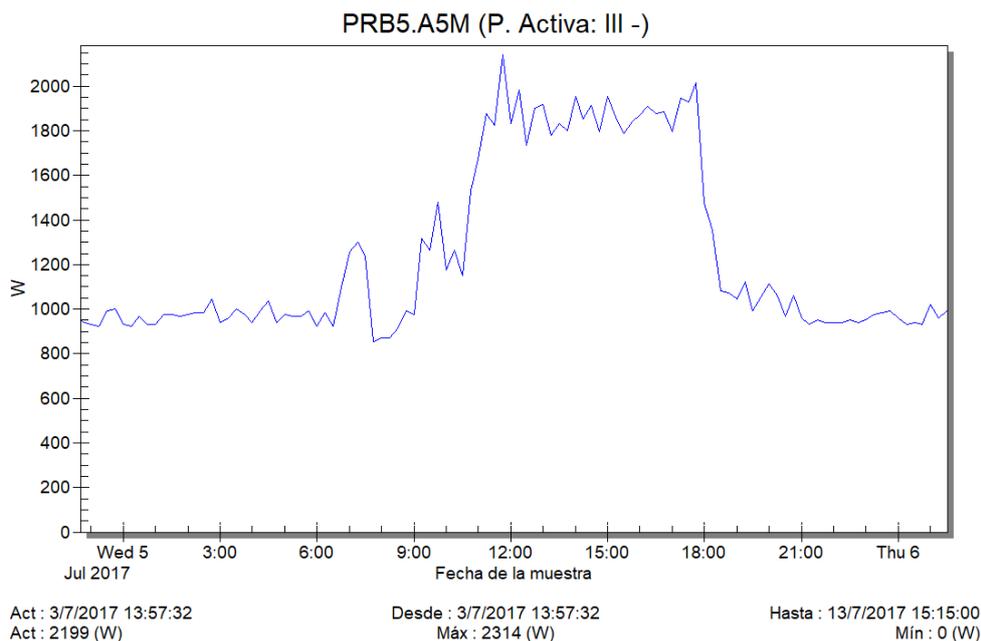


Figura 3.3 Gráficas de las potencias por líneas en el panel 2

De la misma forma se procede a medir las potencias del panel de distribución 2, la Figura 3.3 muestra la potencia total registrada el 5 de julio del 2017 en el panel de distribución 2, en este panel se encuentra conectado los cuartos de racks que consta de servidores, cámaras y computadoras, además, cada cuarto de rack tiene aire acondicionado. Se observa que el consumo en este panel de distribución es todo el tiempo debido a que los equipos nunca se apagan. A partir de las seis de la mañana hasta las siete de la noche aproximadamente se incrementa la potencia debido a que los aires acondicionados trabajan en ese horario, el resto del tiempo trabajan los racks y su consumo es de aproximadamente de un kilovatio.

Para realizar el análisis de la potencia que consume el CIDIS, se obtuvo los promedios por horas de cada línea para no sobredimensionar el sistema y poder realizar la selección de la potencia del inversor por cada línea.

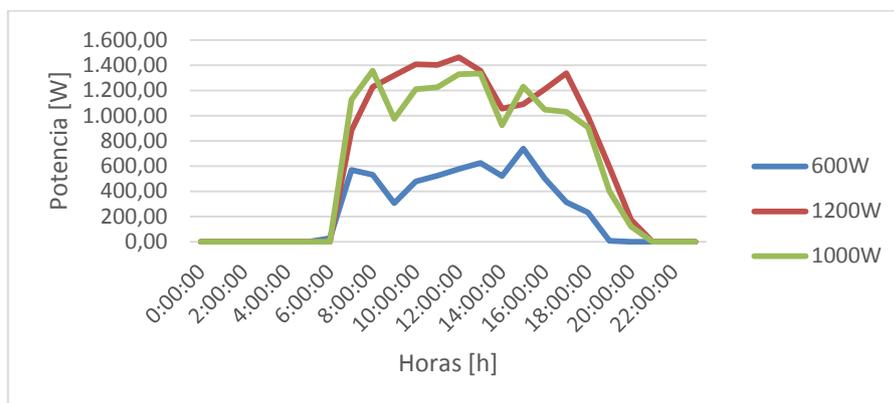


Figura 3.4 Potencias promedio por líneas del panel de distribución 1

En la Figura 3.4 se observa las potencias promedio por cada línea del panel de distribución 1. Además, se observa que dos líneas son las que más consumen, esto se debe a que estas dos líneas están energizando los sistemas de aire acondicionado que trabajan con de 208 voltios de línea a línea y luminarias. En la línea de 600 vatios alimenta cargas monofásicas de bajo consumo.

Para los fines de semanas se observó que el Panel de Distribución 1 no presenta valores de consumo de potencias, por lo cual en los datos promedios no se lo incluirá, evitando un sobredimensionamiento del sistema.

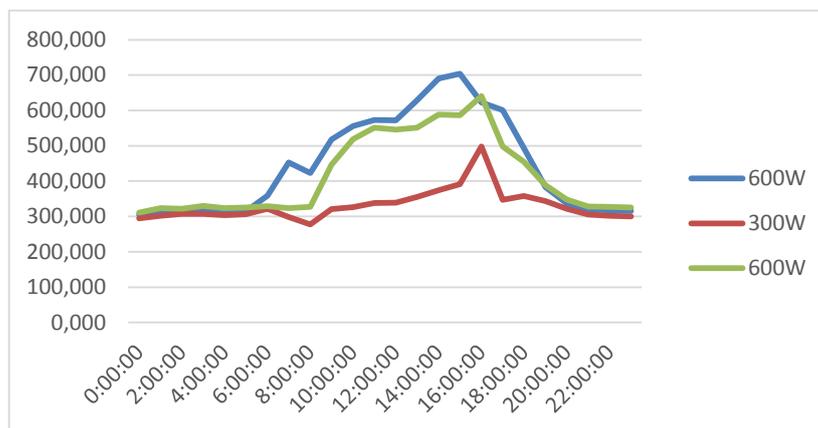


Figura 3.5 Potencias promedio por líneas del panel de distribución 2

La Figura 3.5 muestra los consumos promedio del Panel de distribución 2 que a diferencia del panel de distribución 1 presenta un pequeño consumo de energía

los fines de semanas (días no laborables), por el uso de los cuartos de rack que se mantienen encendido los 7 días de la semana.

Analizando las potencias promedio de los dos Paneles de distribución para la selección de del inversor, se presenta a continuación:

Potencias promedio en el panel 1

$$\begin{cases} \text{Línea 1} = 600 \text{ W} \\ \text{Línea 2} = 1200 \text{ W} \\ \text{Línea 3} = 1000 \text{ W} \end{cases}$$

Potencias promedio en el panel 2

$$\begin{cases} \text{Línea 1} = 600 \text{ W} \\ \text{Línea 2} = 300 \text{ W} \\ \text{Línea 3} = 600 \text{ W} \end{cases}$$

Potencia total por línea

$$\begin{cases} \text{Línea 1} = 1200 \text{ W} \\ \text{Línea 2} = 1500 \text{ W} \\ \text{Línea 3} = 1600 \text{ W} \end{cases}$$

3.2 Selección del inversor

La elección del inversor para la instalación del sistema de generación eléctrica ayuda en el análisis de los demás elementos que constituye el sistema, actualmente en el mercado existen inversores trifásicos y monofásicos.

Para la instalación del sistema de paneles fotovoltaico se seleccionan 3 inversores monofásicos, 1 inversor para cada fase de generación del sistema eléctrico. Los valores de Voltaje pmp (punto de máximo potencia), serán de estudios para el análisis de la selección de paneles solares fotovoltaico.

Tomando en cuenta las potencias promedio de los dos paneles de distribución eléctrica del CIDIS que se encuentra ubicados en el cuarto de transformadores, se estima la potencia que debe entregar el inversor al sistema eléctrico.

Datos Técnicos del Inversor SUNNY BOY 2.5	
Entrada (DC)	Salida (AC)
Max. Potencia CC: 2650W	Potencia nominal (a 230V, 50Hz): 2500W
Max. Voltaje: 600V	Max. Potencia aparente de CA: 2500VA
Rango de voltaje MPP: 160V a 500V	Tensión nominal CA: 220V/230V/240V
Voltaje nominal: 360V	Rango de Voltaje nominal CA: 180V a 280V
Max. Corriente de entrada: 10A	Max. Corriente de salida: 11A

Tabla 3 Datos Técnicos del inversor monofásico Sunny Boy 2.5

Las potencias promedio están alrededor de 1500 W por fase, por lo que se seleccionó un inversor monofásico de la marca SMA modelo Sunny Boy de 2500W, esta selección se realiza para cubrir gran parte de la energía que se demanda en el CIDIS y no sobredimensionar la microrred conformada por paneles solares y aerogeneradores.

3.3 Evaluación del recurso eólico

Para la evaluación de este recurso se considera datos obtenidos de mediciones que se realizaron en la ESPOL y datos obtenidos por Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), con estos datos se realizó una media aritmética para contar con una base de datos de recurso eólico.

El Laboratorio de Energías Renovables (FREE) ubicado en la Escuela Politécnica del Litoral, realizó mediciones de velocidad y dirección del viento durante los meses de enero – diciembre del año 2010 a una distancia de 30m,

distancia medida desde el suelo del asentamiento del Laboratorio de Energías Renovables.

Una altura recomendada para la instalación de los aerogeneradores en el emplazamiento es una altura de 10 m desde el suelo. Llevando los datos de velocidad de viento a esta altura se utilizó la fórmula 3.1.

$$V = V_0 * \left(\frac{h}{h_0}\right)^n \quad (3.1)$$

Donde:

- V= Velocidad del viento a la altura requerida h
- V₀= Velocidad del viento a la altura de referencia h₀
- h= Altura requerida
- h₀= Altura referencial estándar
- n = Coeficiente de espectro geográfico

Los datos obtenidos por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología fueron medidos desde febrero del 2016 a febrero del 2017 desde una distancia de 10 m desde el suelo. Al igual que en los datos de la potencia, los datos de la velocidad del viento también se promediaron por horas.

Promediando estos valores medidos por INAMHI y ESPOLE se creó una base de datos en la que constan datos de dirección y velocidad del viento por un año calendario, estos valores permitieron crear la distribución de Weibull de viento, por medio de la fórmula 3.2.

$$P(v) = \frac{k}{A} \left(\frac{v}{A}\right)^{k-1} * e^{-\left(\frac{v}{A}\right)^k} \quad (3.2)$$

Donde:

- k = factor de forma
- A = factor de escala

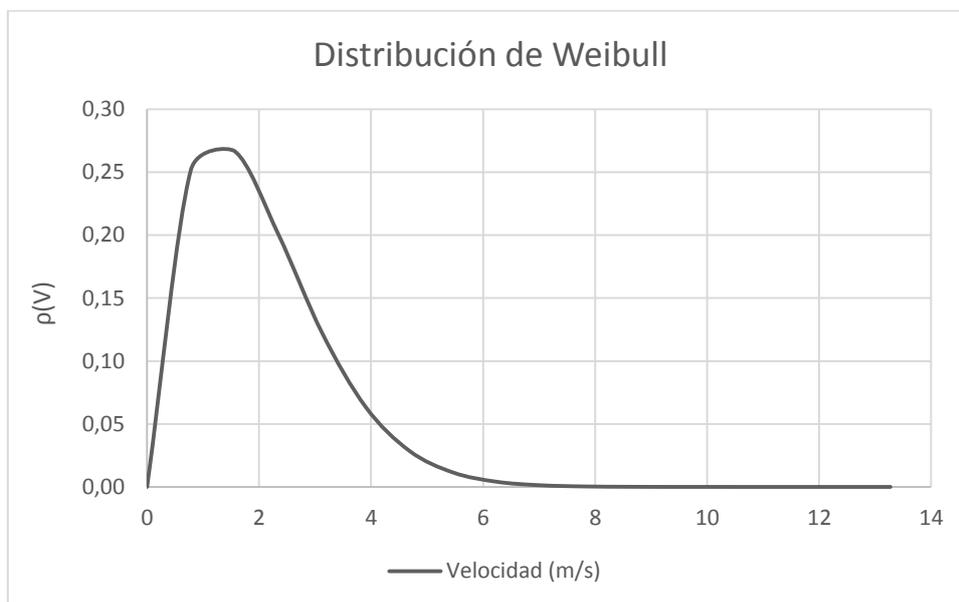


Figura 3.6 Distribución de Weibull

La Figura 3.6 describe las variaciones de las velocidades de viento que se producen en el exterior del CIDIS en todo un año. La probabilidad de frecuencia en función de la velocidad del viento indica que la mayor frecuencia de datos se tiene para vientos menores de 4 m/s.

La distribución de Weibull del viento nos permite optimizar la selección de un generador, es decir, se reduce los problemas de sobredimensionar la microrred y realizar gastos no adecuados para la selección de los elementos de generación de energía.

El aerogenerador para este sistema de producción energética debe ser de baja potencia y pequeño tamaño, esta característica permite que este elemento puede encajar en el emplazamiento seleccionado, ahorrando de espacio y costo para la instalación de este.

Se realizó el análisis de producción energética entre 3 aerogeneradores de la familia Aeolos por ser de pequeño tamaño, además de sus características de potencia entregada a la microrred, entre las ellas tenemos: Aeolos-1000W, Aeolos-600W y Aeolos-300W.

Aerogenerador de 600 W de eje vertical						
V [10m]	N. Veces	f	Vxf	Pa KW	Hi(horas)	Producción (KWh)
0	8116	15,44	0	0	1352,544	0
1	14975	28,49	28,49	0	2495,724	0
2	12812	24,4	48,8	0,1	2137,44	213,744
3	8054	15,32	45,96	0,1	1342,032	134,2032
4	4591	8,73	34,92	0,12	764,748	91,76976
5	2282	4,34	21,7	0,15	380,184	57,0276
6	1111	2,11	12,66	0,16	184,836	29,57376
7	469	0,89	6,23	0,2	77,964	15,5928
8	121	0,23	1,84	0,22	20,148	4,43256
9	22	0,04	0,36	0,32	3,504	1,12128
10	7	0,01	0,1	0,4	0,876	0,3504
KWh/año						547,81536

Tabla 4 Producción de energía del Aerogenerador 600W

La tabla 4 nos indica la generación de energía del aerogenerador Aeolos 600W con una producción de energía de 547,81 KW por año comparando con el resultado de los otros aerogeneradores antes mencionados, el Aeolos 1000W producirá 479,66 KW/año y el más pequeños Aeolos 300W 109.92 KW/año. El análisis de la generación energética por cada aerogenerador muestra que la potencia del Aeolos-1KW entregaría una menor producción energética, siendo el aerogenerador Aeolos-600W el que cumple con la generación de potencia necesaria para la alimentación del sistema eléctrico actualmente para este proyecto.

3.4 Evaluación del recurso solar

El recurso solar se estima a partir del análisis de los valores de radiación, temperatura y las horas sol pico. Promediamos los diferentes valores de la base de datos que se obtuvieron para este proyecto, es necesario mencionar que estos datos fueron extraídos de distintas fuentes confiables y reconocidas de instituciones y organizaciones como: ESPOL, INAMHI, Software METEONORM y página en internet de la NASA.

El software Meteonorm permite establecer las coordenadas del punto donde se realiza el estudio, en este caso, el CIDIS se encuentra en latitud -2,1519 y

longitud -79,9568. La figura 3.7 muestra la información general al momento de ingresar la ubicación del CIDIS en el software METEONORM.

The screenshot shows the 'Información general' (General Information) section of the METEONORM software. The fields are as follows:

- Nombre:** Espol
- Tipo:** Personalizado
- Coordenadas:** -2,151918 (°N Lat), -79,956886 (°E Lon), WGS84
- Altitud:** 0 m a.s.l.
- Huso horario (timezone):** -5 UTC
- Referencia de tiempo:** -30 min
- Situación:** Situación abierta

To the right of the form is a map showing the location of 'Espol' with a red dot. The map includes labels for 'Jardín' and 'Bloque 4', and a scale bar for 100m. The map data is attributed to OpenStreetMap.

Figura 3.7 Coordenadas del CIDIS para realizar el estudio

El software permite seleccionar la orientación del panel solar, ya sea la inclinación y el azimut. Esto nos permite obtener diferentes valores de radiación por metro cuadrado mensual para diferentes valores de inclinación y azimut. Además de seleccionar datos meteorológicos de las estaciones más cercanas al lugar seleccionado. La figura 3.6 muestra la orientación del panel con un azimut de 180° y una inclinación de 10° obteniendo de esta forma los valores de radiación para que los paneles lo aprovechen al máximo.

The screenshot shows the 'Orientación de la superficie' (Surface Orientation) section of the METEONORM software. The settings are as follows:

- Azimut:** 180°
- Inclinación:** 10°

Below these settings are two panels:

- Horizonte:**
 - Ninguno
 - Preconfigurado
 - Editar horizonte...
- Turbiedad atmosférica:**
 - Interpol.
 - Estación aeronet más cercana
 - Preconfigurado
 - Editar turbiedad...

There are also two circular diagrams: one showing a blue arrow pointing north (azimuth) and another showing a blue line representing the panel's tilt (inclination).

Figura 3.8 Selección de la orientación de los paneles fotovoltaicos

Se pueden obtener valores de radiación mensual si en el lugar donde se instalaran los paneles existiera sombras, el software permite configurar el horizonte, la figura 3.8 muestra el horizonte y el camino solar para las diferentes épocas del año. El horizonte se lo grafica viendo todos los obstáculos que se puedan tener viendo hacia el sur y de este a oeste. METEONORM grafica el

horizonte topográfico y se observa que a los 70° y 90° genera sombras, pero no afecta al resultado ya que se genera a partir de las 8:00 pm.

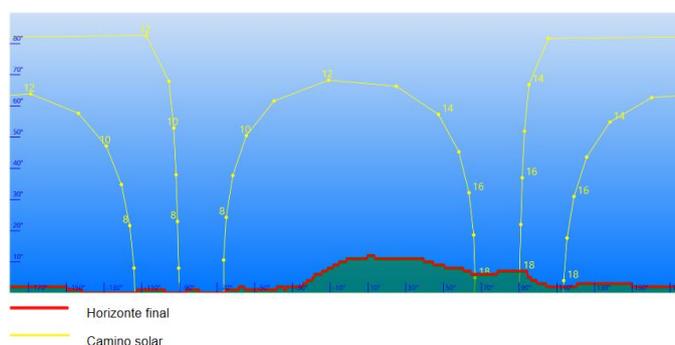


Figura 3.9 Gráfica del horizonte topográfico

Para la orientación del panel se realizó varias pruebas dando diferentes grados de inclinación y ubicando el panel con azimut norte y sur, para comparar los valores de horas sol pico entre el máximo y mínimo y además calculando la desviación estándar entre ellos.

AZIMUT		NORTE		SUR	
INCLINACIÓN		5°		5°	
Enero	31	133	4,29	140	4,52
Febrero	28	138	4,93	142	5,07
Marzo	31	165	5,32	165	5,32
Abril	30	154	5,13	149	4,97
Mayo	31	153	4,94	144	4,65
Junio	30	133	4,43	124	4,13
Julio	31	124	4,00	116	3,74
Agosto	31	140	4,52	134	4,32
Septiembre	30	156	5,20	153	5,10
Octubre	31	154	4,97	157	5,06
Noviembre	30	135	4,50	141	4,70
Diciembre	31	138	4,45	146	4,71
Desviación Estándar			0,41		0,46
Total (KWh/m2)		1723		1711	

Tabla 5 Datos de radiación mensual con inclinación de 5° y azimut norte y sur

AZIMUT		NORTE		SUR	
INCLINACIÓN		10°		10°	
Enero	31	128	4,13	142	4,58
Febrero	28	135	4,82	142	5,07
Marzo	31	164	5,29	164	5,29
Abril	30	155	5,17	145	4,83
Mayo	31	156	5,03	138	4,45
Junio	30	138	4,60	118	3,93
Julio	31	126	4,06	112	3,61
Agosto	31	142	4,58	130	4,19
Septiembre	30	155	5,17	151	5,03
Octubre	31	151	4,87	157	5,06
Noviembre	30	131	4,37	143	4,77
Diciembre	31	133	4,29	149	4,81
Desviación Estándar			0,42		0,51
Total (KWh/m2)		1714		1691	

Tabla 6 Datos de radiación mensual con inclinación de 10° y azimut norte y sur

AZIMUT		NORTE		SUR	
INCLINACIÓN		15°		15°	
Enero	31	124	4,00	143	4,61
Febrero	28	131	4,68	142	5,07
Marzo	31	161	5,19	162	5,23
Abril	30	156	5,20	141	4,70
Mayo	31	159	5,13	132	4,26
Junio	30	140	4,67	113	3,77
Julio	31	129	4,16	107	3,45
Agosto	31	143	4,61	126	4,06
Septiembre	30	155	5,17	148	4,93
Octubre	31	148	4,77	157	5,06
Noviembre	30	127	4,23	145	4,83
Diciembre	31	127	4,10	151	4,87
Desviación Estándar			0,45		0,56
Total (KWh/m2)		1700		1667	

Tabla 7 Datos de radiación mensual con inclinación de 10° y azimut norte y sur

Las tablas 5, 6 y 7 muestran los diferentes valores de radiación a diferentes ángulos de inclinación, en todos los casos se observa que la mejor opción para la orientación de los paneles es de azimut de 180° , es decir, que los paneles estarán viendo hacia el norte con la inclinación seleccionada. Con respecto a la inclinación, la mejor opción resulta ubicar los paneles con una inclinación de 0° , obteniendo una radiación por metro cuadrado anual de 1724 KWh/m^2 , esto en comparación con los valores anual a una inclinación de 5° y 10° no es muy significativa por lo que se escoge la inclinación de 10° debido a que el fabricante recomienda dar a los paneles una inclinación mínima de 10° para evitar que alguna basura se quede en el panel y caiga por gravedad, así se evitara daños en los paneles.

3.5 Análisis de producción de energía Eólica vs Solar.

La evaluación de los recursos renovables brinda una idea más clara, que permite la selección de los elementos que constarán en la instalación de la microrred que se analizarán en este proyecto.

La generación de energía eólica se llevará a cabo por medio del aerogenerador Aeolos-600W, realizando los respectivos cálculos se estima la producción de energía mensual que entregará el mismo.

Los paneles fotovoltaicos Jinko modelo JKM315M son los encargados de entregar la energía necesaria para cubrir la demanda energética durante las horas de uso solar y los aerogeneradores cubrirán la demanda durante la noche.

La tabla 8 muestra la producción de energía por cada mes del Aerogenerador. El factor de planta se lo calcula mediante la relación de la energía real producida para la energía teórica, en este caso la energía teórica será la potencia máxima por las 24 horas.

Dado que la producción de energía es baja, se realizó una comparación entre el aerogenerador y un panel fotovoltaico, así mismo obteniendo el factor de planta para un panel, el resultado es que un panel fotovoltaico genera mucha más

energía que un aerogenerador. El recurso solar tiene mayor significancia que el recurso eólico en términos de potencia, para el desarrollo del proyecto en la ubicación seleccionada.

Mes	Días	E. E. Diaria [KWh]	E.E. Mes [KWh]	Factor de Planta		# FV
				Eólico (%)	Solar (%)	
Enero	31	0,89	27,59	6,17	17,21	1
Febrero	28	0,54	15,12	3,77	20,08	1
Marzo	31	0,90	27,90	6,26	22,04	1
Abril	30	0,68	20,40	4,72	21,54	1
Mayo	31	0,94	29,14	6,53	20,96	1
Junio	30	1,24	37,20	8,62	19,17	1
Julio	31	1,60	49,60	11,09	16,92	1
Agosto	31	2,24	69,44	15,57	19,08	1
Septiembre	30	2,19	65,70	15,18	21,54	1
Octubre	31	2,38	73,78	16,55	20,29	1
Noviembre	30	2,19	65,70	15,19	18,21%	1
Diciembre	31	0,92	28,52	6,38	17,88	1
		E. Anual [KWh]	510,09			

Tabla 8 Factor de planta y producción de energía Eólica

Desde este resultado se elimina el uso de aerogeneradores para finalización de este proyecto y a su vez descartando el uso de banco de baterías, este último permite reducir los costos necesarios para la elaboración del Proyecto.

3.6 Dimensionamiento de paneles solares fotovoltaicos

Para el dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos se toman en cuenta los valores máximos y mínimos de temperatura para la corrección de los valores de voltaje en circuito abierto y de corriente en corto circuito, debido a que los valores proporcionados por el fabricantes son en condiciones estándar, y los paneles trabajarán en condiciones ambientales, la tabla 9 muestra las temperaturas de célula a las temperatura máxima y mínima, estas temperaturas se consideran para recalcular los valores de voltaje y corriente. Para corregir el valor de voltaje de circuito abierto se considera la temperatura de célula mínima

y para corregir el valor de corriente de corto circuito se considera la temperatura de célula máxima.

Eficiencia del panel	
Potencia Teórica [W]	1633,17
Rendimiento Panel [%]	19,29%
Cálculo de temperatura en las células Tc	
Temp. Ambiente mínimo [°C]	18,90
Temp. Ambiente máximo [°C]	33,50
Temp. de Célula máxima [°C]	64,75
Temp. de Célula mínima [°C]	50,15
Cálculos de Voltaje OC en Tc máx. y min	
Voc Tc máximo [V]	33,27
Voc Temp. Amb. mínimo [V]	38,86
Voc Tc mínimo [V]	35,05
Cálculo de Corriente SC en Tc máx. y min	
Isc Tc máximo [A]	9,09
Isc Tc mínimo [A]	8,95
Cálculo de Vpmp en Tc máximo y mínimo	
Vpmp Tc máximo [V]	27,26
Vpmp Tc mínimo [V]	28,72

Tabla 9 Corrección de los valores estándar del panel fotovoltaico

Una vez obtenido los valores reales de los paneles a las condiciones ambientales se obtuvo el número máximo de paneles en serie, considerando el voltaje máximo del inversor a la entrada DC entre el voltaje de circuito abierto máximo a la temperatura de célula mínima. El número de paneles mínimo a la entrada DC del inversor se considera el voltaje mínimo en el punto de máxima potencia entre el voltaje en el punto de máxima potencia del panel a la temperatura de célula máxima.

N° máximo de paneles en serie Voc Tc_mínimo	17,12
N° mínimo de paneles en serie Vpmp Tc_máximo	9,05
N° de strings	1,10

Tabla 10 Número máximo y mínimo de paneles solares

La tabla 10 muestra el número máximo y mínimo de paneles que se pueden conectar a la entrada del inversor, de esta forma aseguramos de que el inversor trabaja siempre en el punto de máxima potencia.

Para la estimación de la energía que producirá los paneles solares se tiene que considerar las pérdidas en el sistema. La tabla 11 muestra las pérdidas por temperatura, para ello se consideraron las temperaturas máximas obtenidas del software METEONORM y las temperaturas de células calculadas anteriormente, obteniendo la diferencia con los valores de temperatura a condiciones estándar. Las pérdidas por temperatura se obtienen al multiplicar la diferencia de temperatura (dT) por el coeficiente de temperatura para el voltaje del punto de máxima potencia, entonces, el rendimiento del panel fotovoltaico estaría alrededor del 85%.

	Pérdidas por temperatura					
	T máx.	T célula	Tstc	dT	Pérdidas	Rendimiento
Enero	33,50	64,75	25,00	39,75	-0,16	0,84
Febrero	31,70	62,95	25,00	37,95	-0,15	0,85
Marzo	32,40	63,65	25,00	38,65	-0,15	0,85
Abril	32,40	63,65	25,00	38,65	-0,15	0,85
Mayo	31,30	62,55	25,00	37,55	-0,15	0,85
Junio	31,50	62,75	25,00	37,75	-0,15	0,85
Julio	29,60	60,85	25,00	35,85	-0,14	0,86
Agosto	30,10	61,35	25,00	36,35	-0,15	0,85
Septiembre	30,30	61,55	25,00	36,55	-0,15	0,85
Octubre	30,50	61,75	25,00	36,75	-0,15	0,85
Noviembre	31,20	62,45	25,00	37,45	-0,15	0,85
Diciembre	32,70	63,95	25,00	38,95	-0,16	0,84
					Promedio	0,85

Tabla 11 Pérdidas por temperatura

Para el sistema también se deben considerar otras pérdidas que son de gran importancia para la producción de energía. La tabla 12 muestra las pérdidas consideradas para el sistema fotovoltaico.

Pérdidas en el sistema		
Pérdidas en los conductores	P- cable	1%
Pérdidas por polución	P-Pol	3%
Pérdidas por distribución	P- Mismatch	1,50%
Pérdidas por seguimiento del punto de máxima potencia	P-mppt	1%
Pérdidas por conexión a la red del inversor	P-conexión	0,30%
Rendimiento del inversor (Fabricante)	R-Inversor	96%
Pérdidas por masa de aire	P-AM	0%
Pérdidas en el transformador	P-trans	0%
Pérdidas por red	P-Red	0%
Pérdidas por parada técnica	P-PT	0%
otras	Otros	1%

Tabla 12 Pérdidas en el sistema

3.7 Diseño de la microrred

Para identificar la ubicación de los paneles fotovoltaicos en el diseño se utilizó la herramienta SunCalc que permite obtener la posición del sol en cualquier fecha del año. Esta herramienta nos da una idea de cuál es la posición más baja del sol para el cálculo de la distancia entre los paneles solares.



Figura 3.10 Recorrido del sol 21 de marzo y 21 de septiembre

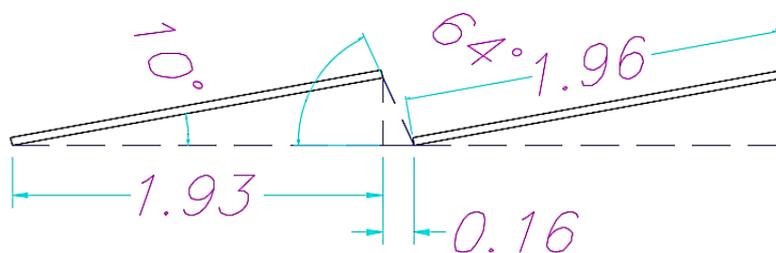


Figura 3.11 Distancia entre paneles fotovoltaicos según cálculos

Con los datos obtenidos por la aplicación SunCalc se aseguró que el mínimo espacio entre paneles es de 0.16cm, esto indica que no se crearán sombras por la colocación de un panel fotovoltaico frente a otro. Por motivo de seguridad y mantenimiento se recomienda ampliar este espacio en 0.80cm, el que permite que una persona pueda acceder a los paneles fotovoltaicos.

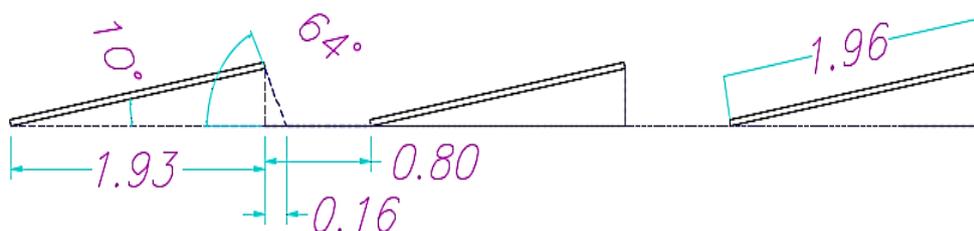


Figura 3.12 Distancia recomendada entre paneles fotovoltaicos

3.8 Ubicación de la microrred en el emplazamiento.

Finalmente, con el análisis y cálculos obtenidos, se puede visualizar la selección y ubicación de los elementos que componen la microrred de producción eléctrica de autoconsumo conectada a la red.

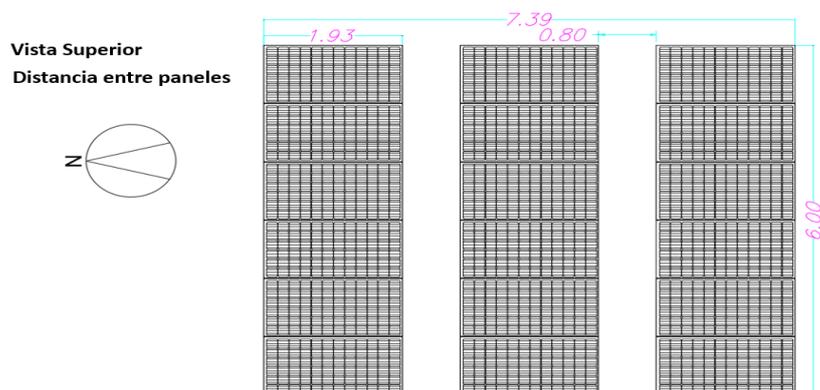


Figura 3.13 Vista superior de paneles fotovoltaicos

La microrred estará compuesta de 3 string Box, cada string box estará conectada a un inversor y se conformará por 16 paneles fotovoltaicos dando un total de 48 paneles fotovoltaicos para cubrir la demanda de energía en el CIDIS. Los 48 paneles fotovoltaicos se conectarán como se muestra en la Figura 3.13, cada grupo de 16 paneles conformarán una fase de la microrred y estarán situados en la parte superior derecha del emplazamiento.

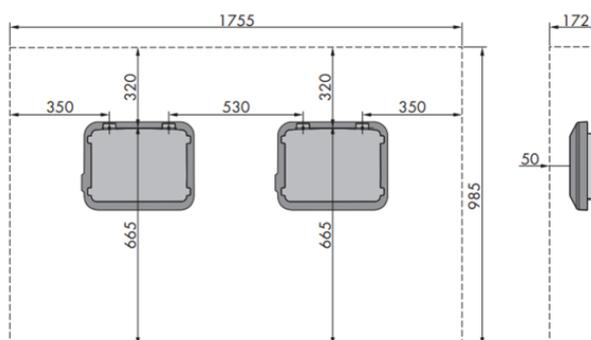


Figura 3.14 Espacio entre inversores

En la Figura 3.14 se observa el espacio mínimo entre inversores en milímetros sugerido por el fabricante [11]. La instalación de los 3 inversores seleccionados se la realizará en el cuarto de Rack, ubicado en el interior del CIDIS. El cuarto de Rack cuenta con un aire acondicionado tipo Split que trabaja en función automática evitando el sobrecalentamiento de los equipos en su interior.

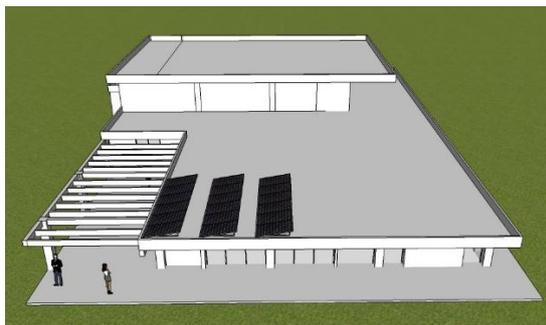


Figura 3.15 Montaje de los paneles fotovoltaicos sobre el CIDIS

Teniendo una visualización más clara de la ubicación de los paneles solares, se desarrolló una imagen por medio de un software Sketch Up como se muestra en la Figura 3.15, el que muestra una imagen en 3D del Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Sistemas Computacionales y de la ubicación deseada de los paneles fotovoltaicos que conforman la microrred, para que brinde una óptima generación de energía sin que tengan una obstrucción por sombras.

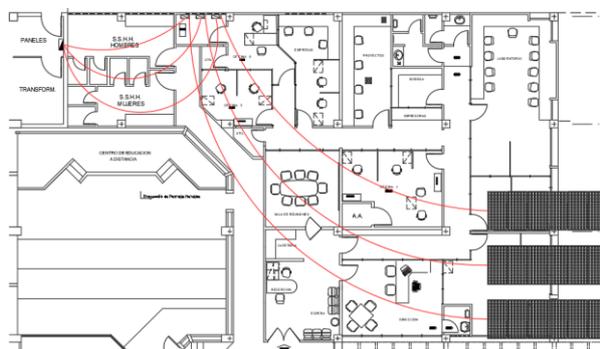


Figura 3.16 Conexión de los elementos de la microrred

La Figura 3.16 muestra los departamentos internos del CIDIS y en donde estarán ubicados cada uno de los elementos que forman parte de la microrred y las conexiones entre ellos, mediante el diseño para la generación de energía a partir de una fuente renovable. El sistema de generación de energía fotovoltaica es de autoconsumo y con conexión a la red, por este medio se suplementa la alimentación de las cargas durante las noches y durante el día la energía que brinda los paneles solares cubre el consumo eléctrico en cualquier época del año.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En este capítulo se analizará la viabilidad del diseño de la microrred, en aspecto técnico y económico. El análisis técnico indica cuanta energía generará el sistema de paneles fotovoltaicos para cubrir la demanda energética del CIDIS.

El análisis de la viabilidad económica es realizado a partir del monto de la inversión inicial, adicionando los gastos de operación y mantenimiento del sistema. Evaluando la disminución energética a través del tiempo de vida del proyecto, se analiza el tiempo de retorno de la inversión inicial.

4.1 Análisis Técnico del diseño de la Microrred.

Considerando todas las pérdidas en el sistema se obtiene la tasa de rendimiento. El consumo de energía del CIDIS durante el día, es considerado desde las 7:00 am hasta las 6:00 pm de los dos paneles de distribución eléctrica que conforman el sistema de energía (ECP1 y ECP2). La Tabla 13 muestra la energía total en las 3 fases por cada mes y la demanda en kWh al año.

Consumo de energía del CIDIS en el Día						
Meses		ECP1_día [KWh]	ECP1_día /mes [KWh]	ECP2_día [KWh]	ECP2_día /mes [KWh]	ECTP_mes [KWh]
Enero	31	34,49	1.069,22	17,06	528,87	1.598,10
Febrero	28	34,49	965,75	17,06	477,69	1.443,44
Marzo	31	34,49	1.069,22	17,06	528,87	1.598,10
Abril	30	34,49	1.034,73	17,06	511,81	1.546,54
Mayo	31	34,49	1.069,22	17,06	528,87	1.598,10
Junio	30	34,49	1.034,73	17,06	511,81	1.546,54
Julio	31	34,49	1.069,22	17,06	528,87	1.598,10
Agosto	31	34,49	1.069,22	17,06	528,87	1.598,10
Septiembre	30	34,49	1.034,73	17,06	511,81	1.546,54
Octubre	31	34,49	1.069,22	17,06	528,87	1.598,10
Noviembre	30	34,49	1.034,73	17,06	511,81	1.546,54
Diciembre	31	34,49	1.069,22	17,06	528,87	1.598,10
Energía consumida anual [KWh]						18.816,29

Tabla 13 Consumo de energía del CIDIS durante el día

La energía consumida total de los paneles mensual (ECTP_mes), indica la energía total para cada mes del año y sumando los 12 meses se obtiene la energía consumida anual durante el día.

Para el cálculo de la producción de energía tomamos la potencia fotovoltaica se toma en cuenta la tasa de rendimiento por la potencia fotovoltaica y por las horas sol pico. La tabla 14 muestra la producción de energía por los paneles fotovoltaicos diaria por cada fase y la energía anual por las tres fases.

Potencia Fotovoltaica y Producción de energía						
Meses		HSP [h]	Tasa Rendimiento	T	E_diaria [Wh]	E_mensual [KWh]
Enero	31	4,13	0,740	5040	15.398,63	1.432,07
Febrero	28	4,82	0,747	5040	18.144,00	1.524,10
Marzo	31	5,29	0,744	5040	19.838,91	1.845,02
Abril	30	5,17	0,744	5040	19.375,19	1.743,77
Mayo	31	5,03	0,748	5040	18.975,24	1.764,70
Junio	30	4,60	0,747	5040	17.328,01	1.559,52
Julio	31	4,06	0,755	5040	15.456,07	1.437,41
Agosto	31	4,58	0,753	5040	17.375,68	1.615,94
Septiembre	30	5,17	0,752	5040	19.579,20	1.762,13
Octubre	31	4,87	0,751	5040	18.440,32	1.714,95
Noviembre	30	4,37	0,749	5040	16.473,69	1.482,63
Diciembre	31	4,29	0,743	5040	16.064,67	1.494,01
N° módulos	16				E_Anual [KWh]	19.376,25

Tabla 14 Producción diaria de energía

Se considerarán un grupo de 16 paneles fotovoltaicos por cada fase de la microrred, estarán conectados al inversor seleccionado teniendo un total de 3 inversores y 48 paneles fotovoltaicos para la conformación del sistema de generación fotovoltaico.

Energía consumida en la noche						
Meses		ECP1 [Wh]	ECP2 [KWh/mes]	ECP2 [Wh]	ECP2 [KWh/mes]	ECP2_noche [KWh/mes]
Enero	31	339,42	7,81	2.420,72	75,04	82,85
Febrero	28	339,42	6,79	2.420,72	67,78	74,57
Marzo	31	339,42	7,47	2.420,72	75,04	82,51
Abril	30	339,42	7,13	2.420,72	72,62	79,75
Mayo	31	339,42	7,81	2.420,72	75,04	82,85
Junio	30	339,42	7,13	2.420,72	72,62	79,75
Julio	31	339,42	7,47	2.420,72	75,04	82,51
Agosto	31	339,42	7,81	2.420,72	75,04	82,85
Septiembre	30	339,42	7,13	2.420,72	72,62	79,75
Octubre	31	339,42	7,47	2.420,72	75,04	82,51
Noviembre	30	339,42	7,47	2.420,72	72,62	80,09
Diciembre	31	339,42	7,13	2.420,72	75,04	82,17
Energía consumida anual noche [KWh]						972,15

Tabla 15 Producción de energía en el CIDIS durante la noche

Basado en el estudio de este proyecto no se tomará en cuenta la incorporación de Aerogeneradores para la conformación de este sistema de producción energético, ya que la producción de energía eólica a una altura de 10 metros no es baja frente a la producción de energía solar. Por lo tanto, el sistema es de generación energética por paneles fotovoltaicos de autoconsumo con conexión a la red, es decir que producción de energía por parte de los paneles solares alimentará directamente las cargas eléctricas del CIDIS y no habrá almacenamiento de energía. Si es necesario cubrir una demanda extra de energía la red eléctrica de baja tensión cubrirá este excedente.

La demanda energética actual del CIDIS es de 18.816,29 kWh al año, según el análisis de generación energética nos indica que el diseño de la microrred conformado por paneles fotovoltaicos generará 19.376,25 kWh al año. Esto muestra que el diseño de generación energética cubrirá el 103% de la demanda actual del CIDIS, indicando que este excedente cubrirá la demanda y para meses de máxima generación alimentaria la carga eléctrica de otros edificios cercanos al centro de investigación.

4.2 Análisis de la viabilidad económica del diseño de la microrred

El análisis de costos del sistema dará una visión clara de cuánto será la inversión requerida para la producción de energía. Se establecerá la viabilidad del sistema en base a los costos de inversión inicial, costos de operación y mantenimiento, costos de reemplazo e ingresos que puedan generar el sistema.

El método que se utilizará para el cálculo económico se basa en los costos involucrados en el sistema, luego se establecerán las posibles ganancias en el caso de que exista sobreproducción de energía donde se obtendrán conclusiones sobre la viabilidad del sistema.

4.2.1 Gastos Mensuales por consumo Eléctrico en el CIDIS

Para la determinación del gasto por consumo Eléctrico anual en el CIDIS, debemos obtener cuanto es el gasto en cada mes que se obtiene en un año. Debido que este centro de investigación no posee un sistema de medición de energía independiente, se realiza mediciones diarias para una obtener datos que nos ayudan a estimar un monto monetario.

Meses		Ep (kWh/mes)	Ingreso Mensual
Enero	31	1432,07	\$ 128,89
Febrero	28	1524,10	\$ 137,17
Marzo	31	1845,02	\$ 166,05
Abril	31	1743,77	\$ 156,94
Mayo	30	1764,70	\$ 158,82
Junio	31	1559,52	\$ 140,36
Julio	30	1437,41	\$ 129,37
Agosto	31	1615,94	\$ 145,43
Septiembre	30	1762,13	\$ 158,59
Octubre	31	1714,95	\$ 154,35
Noviembre	30	1482,63	\$ 133,44
Diciembre	31	1494,01	\$ 134,46

Tabla 16 Costo por pago de consumo de energía Anual en el CIDIS

De las respectivas mediciones realizadas a través del analizador de redes se estima una tarifa de consumo eléctrico en el CIDIS mensual desde el mes de enero hasta diciembre en kWh. Se calcula el precio por kWh consumido con la ayuda del pliego tarifario de la Empresa Eléctrica en Guayaquil (CNEL). Sumando los 12 meses del año obtendremos un

gasto anual de \$2.127,51. El cual mediante la instalación de la microrred se lograría ahorrar este monto en un periodo de tiempo.

4.2.2 Costos iniciales del sistema

Los costos iniciales corresponden a los equipos y materiales necesarios para la elaboración de la microrred, además incluye la infraestructura física para la instalación de los paneles fotovoltaicos.

La microrred constará de 48 paneles solares que estarán ubicadas en parte superior del CIDIS sujetas por un soporte de aluminio para la estabilidad de cada panel. El sistema eléctrico consiste en 3 fases monofásico el cual tendrá un inversor por cada fase, el cual cubre la demanda de potencia del emplazamiento para el equilibrio de las cargas.

	Razón	Unidad	Cant.	Precio Unitario	Total
EDIFICIO TÉCNICO, ESTRUCTURAS Y PANELES SOLARES.	Sunny Boy 2.5	ud	3	\$1.400,00	\$4.200,00
	String box, conductores	ud	1	\$400,00	\$400,00
	Módulos FV de 250W	Wp	48	\$185,00	\$6.660,00
	Estructuras soporte	Wp	1	\$280,00	\$280,00
	CIF ECUADOR Módulos	ud	1	\$650,00	\$650,00
	Instalación	ud	4	\$100,00	\$400,00
	Materiales	ud	1	\$500,00	\$500,00

Tabla 17 Costos iniciales y mano de obra.

La descripción de los materiales detalla todos los gastos que se realizaría por cables, tuberías y conectores por línea eléctrica desde 16 paneles fotovoltaicos por cada string hasta la caja de distribución del emplazamiento.

4.2.3 Costos de operación y mantenimiento

La instalación de los equipos es una parte principal en este proceso, pero hay que tomar algunas características aun mayor importancia para un buen funcionamiento y mantenimiento de la microrred a través del período de operación, evitando fallas en el sistema que reducen el tiempo de vida de nuestros equipos.

Flujo de caja	
Costo inicial	\$ 13.090,00
Costo O&M trimestral	\$ 100,00
Costo reemplazo cada 5 años	\$ 446,50
Costo de compensación de energía anual	\$ 2.127,51

Tabla 18 Flujo de caja

El costo inicial fue mencionado anteriormente con un total de \$13.090,00 tomando en cuenta un costo de Operación y Mantenimiento que establecerá cada tres meses desde la instalación de la microrred debido a las pérdidas ocasionadas en los paneles fotovoltaicos mencionados en la tabla 9 (pérdidas del sistema), considerando la acumulación de polvo y suciedad por medio externo en los paneles fotovoltaicos una de las más importantes. Además, se recomienda reemplazar cada 5 años un panel fotovoltaico, debido a que se reduce la eficiencia del sistema por caída en su potencial.

El valor de la compensación de energía anual es \$2.127,51. Esto indica un ahorro en gastos del consumo eléctrico, considerando este valor como ingreso anual mínimo para el transcurso de 25 años para este proyecto. La generación de energía del sistema fotovoltaico disminuirá su rendimiento proyectando una reducción de carga de 1% anual en la producción de energía suministrada por la microrred.

Tiempo de vida del proyecto [Años]	25
Tasa de efectiva [Anual]	9.0%
Tasa de interés [trimestral]	2.20%
Tasa cada 5 años	1.70%

Tabla 19 Tasa de interés y Tasa efectiva

La tabla 17 indica las tasas que asignarán para cada costo que se proyecta para la microrred y por gasto de adquisición de nuevos equipos por mantenimiento y eficiencia de esta.

Valor Anual Unificado	
Costo inicial anualizado	\$-1.231,20
Costo O&M anualizado	\$-410,35
Costo de reemplazo anual	\$-216,19
Compensación anual	\$ 2.127,51
	\$269,48

Tabla 20 Valor Anual Unificado

En el análisis de la rentabilidad económica de este proyecto y tener un conocimiento de los egresos que llevará al desarrollo de la instalación y mantenimiento de la microrred, la tabla 18 muestra los valores anuales para el sistema de generación eléctrica, los egresos del sistema son igual a la suma de los valores de costo O&M y los costos de reemplazo dando un valor de \$ 626.54.

4.2.4 Análisis de retorno de inversión.

La inversión inicial para este proyecto es muy elevada, pero de una instalación a un plazo muy corto, teniendo esto beneficios se analizará que tan viable es la ejecución de este proyecto para la determinar en qué tiempo se recupera la inversión y que tan rápido se adquiere un ingreso económico.

Nº AÑOS	INGRESO	EGRESO (COSTOS)	CAJA DE FLUJO DE EFECTIVO
0		\$-13.090,00	\$-13.090,00
1	\$ 2.127,51	\$-626,54	\$1.500,97
2	\$2.106,24	\$-626,54	\$1.479,70
3	\$2.085,17	\$-626,54	\$1.458,63
4	\$2.064,32	\$-626,54	\$1.437,78
5	\$2.043,68	\$-626,54	\$1.417,14
6	\$2.023,24	\$-626,54	\$1.396,70
7	\$2.003,01	\$-626,54	\$1.376,47
8	\$1.982,98	\$-626,54	\$1.356,44
9	\$1.963,15	\$-626,54	\$1.336,61
10	\$1.943,52	\$-626,54	\$1.316,98
11	\$1.924,08	\$-626,54	\$1.297,54
12	\$1.904,84	\$-626,54	\$1.278,30
13	\$1.885,79	\$-626,54	\$1.259,25
14	\$1.866,94	\$-626,54	\$1.240,40
15	\$1.848,27	\$-626,54	\$1.221,73
16	\$1.829,78	\$-626,54	\$1.203,24
17	\$1.811,49	\$-626,54	\$1.184,95
18	\$1.793,37	\$-626,54	\$1.166,83
19	\$1.775,44	\$-626,54	\$1.148,90
20	\$1.757,68	\$-626,54	\$1.131,14
21	\$1.740,11	\$-626,54	\$1.113,57
22	\$1.722,71	\$-626,54	\$1.096,17
23	\$1.705,48	\$-626,54	\$1.078,94
24	\$1.688,42	\$-626,54	\$1.061,88
25	\$1.671,54	\$-626,54	\$1.045,00

Tabla 21 Flujo de caja en 25 años

El monto inicial para la ejecución de este proyecto es de \$13.090,00 entre el que incluye la mano de obra en la instalación y los demás elementos que conforman la microrred. Considerando un flujo de ingreso de capital por el ahorro en pagos por consumo eléctrico de red de distribución pública anuales y un egreso adicional anual por mantenimiento y reemplazos de paneles fotovoltaicos.

El flujo de caja del proyecto durante los primeros 25 años se muestra en la Tabla 21 indicando el año 0 como el inicio de la instalación de la microrred.

TABLA DEL VAN			
Nº AÑOS	FNE	(1+i)^n	FNE/(1+i)^n
0	\$-20.910,00	\$1,08	\$1.389,15
1	\$1.500,97	\$1,17	\$1.267,43
2	\$1.479,70	\$1,26	\$1.156,30
3	\$1.458,63	\$1,36	\$1.054,86
4	\$1.437,78	\$1,47	\$962,25
5	\$1.417,14	\$1,59	\$877,72
6	\$1.396,70	\$1,72	\$800,56
7	\$1.376,47	\$1,86	\$730,13
8	\$1.356,44	\$2,01	\$665,86
9	\$1.336,61	\$2,17	\$607,20
10	\$1.316,98	\$2,34	\$553,67
11	\$1.297,54	\$2,53	\$504,82
12	\$1.278,30	\$2,74	\$460,25
13	\$1.259,25	\$2,96	\$419,58
14	\$1.240,40	\$3,19	\$382,47
15	\$1.221,73	\$3,45	\$348,62
16	\$1.203,24	\$3,73	\$317,74
17	\$1.184,95	\$4,03	\$289,58
18	\$1.166,83	\$4,35	\$263,88
19	\$1.148,90	\$4,70	\$240,45
20	\$1.131,14	\$5,08	\$219,08
21	\$1.113,57	\$5,49	\$199,59
22	\$1.096,17	\$5,93	\$181,81
23	\$1.078,94	\$6,41	\$165,61
24	\$1.061,88	\$6,93	\$150,83
25	\$1.045,00	\$1,08	\$1.389,15
		VAN	\$1.119,44

Tabla 22 Valor actual Neto para los 25 años

Los ingresos disminuyen sus valores anualmente, debido a la disminución de generación energética por las pérdidas en diferentes factores que inciden en los paneles fotovoltaicos.

El valor actual neto permite dar una proyección del valor presente en la construcción de un proyecto como muestra en la Tabla 22, los flujos de caja a través del tiempo en que se estima la duración de este proyecto. El VAN del flujo de caja indica un valor positivo en el que se estima ganancias para el proyecto y puede ser aceptable.

TIR	
Tasa de descuento	VAN
0%	\$18.515,27
3%	\$9.428,94
6%	\$3.785,58
9%	\$111,82
12%	\$-2.387,35
15%	\$-4.157,28
18%	\$-5.456,78
21%	\$-6.441,67
24%	\$-7.209,05
27%	\$-7.821,38
30%	\$-8.320,13
33%	\$-8.733,60
36%	\$-9.081,61
TIR	9,11%

Tabla 23 Tasa interna de retorno del proyecto en 25 años

Siguiendo con el análisis económico se generó un flujo de las interacciones la tasa interna de retorno en que indica que la rentabilidad del proyecto estaría en el 9,11% por encima de la tasa de descuento bancaria, observando el cambio en el flujo neto de un valor positivo a negativo como se muestra en la Tabla 23.

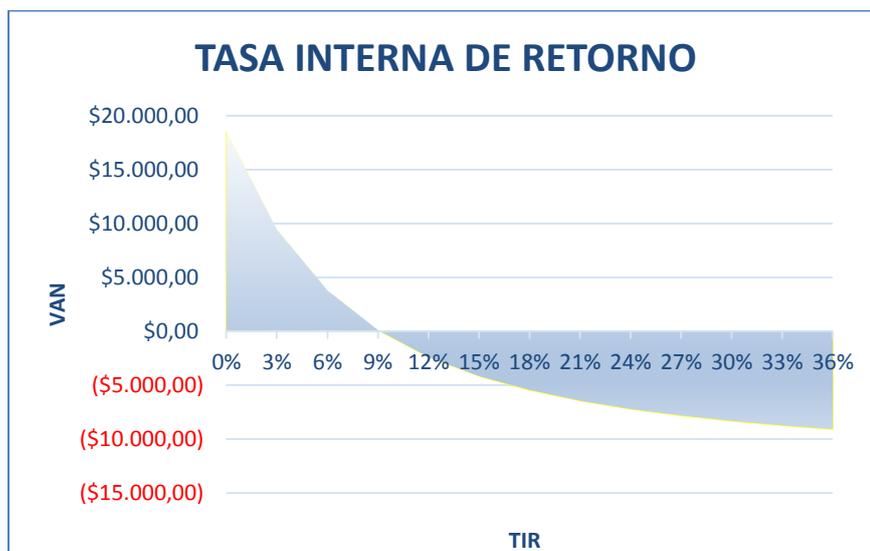


Figura 4.1 Representación gráfica de la tasa interna de retorno

La figura 4.1 muestra gráficamente el cambio en los valores numéricos del VAN y el punto donde los valores es igual a 0 demostrando que el TIR tiende a un valor cercano al 9%.

ACUMULADA PARA RECUPERACIÓN		
Años	FNE	Recuperación
0	\$-13.090,00	\$-13.090,00
1	\$1.500,97	\$-11.589,03
2	\$1.479,70	\$-10.109,33
3	\$1.458,63	\$-8.650,70
4	\$1.437,78	\$-7.212,91
5	\$1.417,14	\$-5.795,77
6	\$1.396,70	\$-4.399,07
7	\$1.376,47	\$-3.022,60
8	\$1.356,44	\$-1.666,16
9	\$1.336,61	\$-329,55
10	\$1.316,98	\$987,43
11	\$1.297,54	\$2.284,97
12	\$1.278,30	\$3.563,28
13	\$1.259,25	\$4.822,53
14	\$1.240,40	\$6.062,93
15	\$1.221,73	\$7.284,65
16	\$1.203,24	\$8.487,90

17	\$1.184,95	\$9.672,85
18	\$1.166,83	\$10.839,68
19	\$1.148,90	\$11.988,58
20	\$1.131,14	\$13.119,72
21	\$1.113,57	\$14.233,29
22	\$1.096,17	\$15.329,45
23	\$1.078,94	\$16.408,39
24	\$1.061,88	\$17.470,28
25	\$1.045,00	\$18.515,27
Período de recuperación		
Años		9,21

Tabla 24 Período de recuperación de la inversión inicial

Mediante un flujo acumulado como se muestra en la tabla 24, se observa que los primeros 9 años se obtienen pérdidas y la producción energética se reducirá a un valor aproximado de 14.860KWh. Como se mencionó anteriormente la inversión inicial es muy elevada para los ingresos anuales, este proyecto podría ser viable con una prestación económica a largo plazo y financiamiento para bajar el monto inicial para la ejecución de la instalación de la microrred.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La evaluación de consumo eléctrico del departamento del CIDIS en la Escuela Politécnica del Litoral es de suma importancia para la realización del sistema de generación ya que desde estas medidas se analizarán los elementos que conformarán parte del sistema de alimentación, en este proyecto se determinó un punto máximo de consumo eléctrico durante la activación de las centrales del acondicionador de aire. Estos niveles de consumo eléctrico podrían bajar considerablemente si adecuamos un sistema de acondicionamiento que no tenga niveles altos de consumo en los primeros 30 minutos de su activación y si la iluminación del edificio puede ser cambiada por focos ahorrados el que nos ayudará a tener menos consumo eléctrico.

El sistema de generación eléctrica por parte del sistema de paneles fotovoltaicos es suficiente para cubrir la demanda eléctrica del CIDIS, motivo por el cual no es necesario la puesta de un sistema de aerogeneradores a una altura de 10 m del suelo como se tenía planeado en la propuesta de este proyecto. La eliminación del sistema de aerogeneradores es debido que los recursos solares tienen mayor ventaja que los recursos eólicos a una altura de 10 m, según los datos meteorológicos obtenidos sobre el territorio que cubre el CIDIS ubicado en la ESPOL. Por medio de los análisis realizados en este proyecto debido a que un panel fotovoltaico entregaría mayor potencia que la puesta de un aerogenerador.

Para la implementación de un sistema de generación eléctrica con aerogeneradores se recomienda un estudio de los niveles de velocidad del viento para alturas mayores de 10 m y la instalación de un centro meteorológico para hacer un seguimiento y mediciones de las actividades de los recursos eólicos y solares que pueden tener un efecto en los sistemas de generación de energía, ya que vientos fuertes y entre otros fenómenos

naturales pueden ocasionar daños y deterioro de equipos de generación de energía renovables.

El análisis financiero para el retorno de la inversión inicial no demuestra una visión favorable, debido a que durante los primeros 9 años se tendrían pérdidas económicas por el elevado monto en la inversión el proyecto no es viable. El flujo neto establece que los costos por mantenimiento y reemplazo de elementos en la microrred se pagarían por el ahorro de costo de consumo eléctrico dando un valor actual neto positivo para este proyecto, estimando ganancias. La tasa interna de retorno es mayor que tasa de descuento por las entidades bancaria, indicando la rentabilidad en el proyecto propuesto.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Delgado Noboa, «Balance Energetico Nacional 2016,» 9 Abril 2017. [En línea]. Available: <http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/balance-energetico/>. [Último acceso: 15 Junio 2017].
- [2] R. D. Medina, Microrredes basadas en Electrónica de Potencia: Características, Operación y Estabilidad, Ingenius, 2014.
- [3] F. Katiraei, R. Iravani, N. Hatziargyriou y A. Dimeas, «Microgrids management,» *Power and Energy Magazine IEEE*, vol. 6, pp. 40-53, 2008.
- [4] P. Garcia Ibarra, «Tecnologías energéticas e impacto ambiental,» McGRAW-HILL, Avaraca (Madrid), 2001.
- [5] J. Mendez, C. Rafael y V. Bureau, Energía Solar Fotovoltaica, Madrid: FC Editorial, 2012.
- [6] M. 7, «Reporte de radiacion solar ESPOL,» Tech. Rep., Guayaquil, 2015.
- [7] J. Solar, «Jinko Solar,» [En línea]. Available: <https://www.jinkosolar.com/>. [Último acceso: 10 Junio 2017].
- [8] J. Moragues y A. Rapallini, «Energía eólica,» 9 5 2003. [En línea]. Available: <http://menteocupada.com/energia/energia-energia-eolica-instituto-argentino.pdf>.
- [9] TECHNOSUN, «Aerogenerador FSH2000,» DataSheet, Valencia.
- [10] WebSolar, «Websolar,» [En línea]. Available: <http://www.webosolar.com/foro/controlador-carga-mppt-punto-maxima-potencia/>. [Último acceso: 9 Junio 2017].
- [11] SMA, «<http://www.sma-solar.com/>,» [En línea]. Available: http://napelem.net/napelem_arak/adatlap/SMA_SunnyBoy_1.5-2.5_EN.pdf. [Último acceso: 25 07 2017].

ANEXOS

Anexo 1: Hoja técnica del Aerogenerador AEOLOS 300W y 600W



Vertical Wind Turbine Brochure

*Aeolos wind turbine
SINCE 1986*



***Aeolos-V 300W
Aeolos-V 600W***

AEOLOS



V 300W Specification

Generator Type:	Three Phase Permanent Magnet
Rotor Height:	1.6 m (5.25 ft)
Rotor Width:	1.2 m (3.94 ft)
Blades Material:	Aluminum Alloy
Safety Control:	Electronic Dump Loading Blades Rotation Limitation 360 rpm

Performance

Rated Power:	300 W
Max Output Power:	400 W
Cut In Wind Speed:	1.5 m/s (3.35 mph)
Rated Wind Speed:	10 m/s (22.3 mph)
Survival Wind Speed:	50 m/s (111.5 mph)
Noise Level:	< 45 dB(A)



Aeolos-V 300W Wind Turbine Annual Energy Output			
Wind Speed (m/s)	Annual Energy Output (kWh)	Wind Speed (m/s)	Annual Energy Output (kWh)
2 m/s	88 kWh	8 m/s	1976 kWh
4 m/s	227 kWh	9 m/s	2382 kWh
5 m/s	438 kWh	10 m/s	2828 kWh
6 m/s	683 kWh	11 m/s	3261 kWh
7 m/s	919 kWh	12 m/s	3604 kWh

V 600W Specification

Generator Type:	Three Phase Permanent Magnet
Rotor Height:	1.8 m (5.91 ft)
Rotor Width:	1.6 m (5.25 ft)
Blade Material:	Aluminum Alloy
Safety Control:	Electronic Dump Loading Blades Rotation Limitation 360 rpm

Performance

Rated Power:	600 W
Max Output Power:	800 W
Cut In Wind Speed:	1.5 m/s (3.35 mph)
Rated Wind Speed:	10 m/s (22.3 mph)
Survival Wind Speed:	50 m/s (111.5 mph)
Noise Level:	< 45 dB(A)



Aeolos-V 600W Wind Turbine Annual Energy Output			
Wind Speed (m/s)	Annual Energy Output (kWh)	Wind Speed (m/s)	Annual Energy Output (kWh)
2 m/s	131 kWh	8 m/s	3228 kWh
4 m/s	341 kWh	9 m/s	4282 kWh
5 m/s	676 kWh	10 m/s	5286 kWh
6 m/s	1031 kWh	11 m/s	6291 kWh
7 m/s	1382 kWh	12 m/s	7208 kWh



Anexo 2: Hoja técnica del Inversor SMA Sunny Boy 1.5/ 2.5

SUNNY BOY 1.5 / 2.5



SB 1.5-11V-40 / SB 2.5-11V-40

Flexible

- Amplio rango de tensión de entrada
- Interfaces de WLAN y Speedwire integradas con Webconnect

Informativo

- Nuevo concepto de comunicación con servidor web integrado
- Monitorización de los datos de la planta mediante la interfaz web en todos los teléfonos inteligentes y tabletas
- Led pulsada

Con un futuro asegurado

- OptiTrack Global Peak
- No requiere mantenimiento gracias a la refrigeración por convección
- Zero feed-in ready
- Conexión directa con el SMA Energy Meter

Sencillo

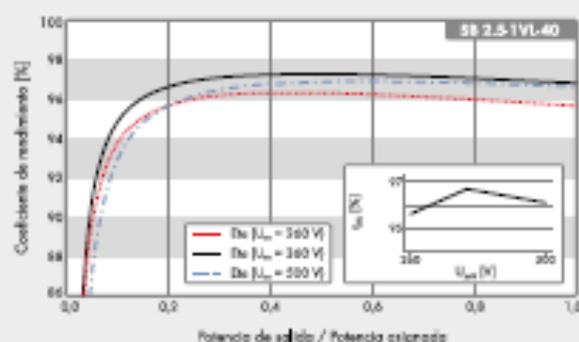
- Sistema de conexión de CC SUNCLIX
- Instalación sencilla, peso reducido, sin transformador
- Puesta en marcha sencilla mediante interfaz web

SUNNY BOY 1.5 / 2.5

El nuevo modelo para las plantas pequeñas

El nuevo Sunny Boy 1.5/2.5 ha sido desarrollado desde cero y es el inversor perfecto para los clientes que tengan plantas fotovoltaicas de pequeño tamaño. Con su amplia zona de tensión de entrada que va de los 80 a los 600 V se puede utilizar en diversas situaciones lo que le concede una elevada flexibilidad a la hora de elegir los módulos y es, además, muy fácil de instalar gracias a su reducido peso. Después de poner en marcha el Sunny Boy 1.5/2.5 de una manera muy sencilla a través de la interfaz web, el equipo puede llevar a cabo una monitorización local mediante su red sin cables o bien, "online" con el Sunny Portal o Sunny Places.

Curva de rendimiento



● Disponible ○ Opcional – No disponible

Datos en condiciones nominales

Actualizado: diciembre 2015

Datos técnicos	Sunny Boy 1.5	Sunny Boy 2.5
Entrada (CC)		
Potencia de CC máx. (a cos $\varphi=1$)	1600 W	2650 W
Tensión de entrada máx.	600 V	600 V
Rango de tensión del MPPT	160 V a 500 V	160 V a 500 V
Tensión asignada de entrada	360 V	360 V
Tensión de entrada mín./de inicio	50 V / 80 V	50 V / 80 V
Corriente máx. de entrada	10 A	10 A
Corriente máx. de entrada por string	10 A	10 A
Número de entradas de MPPT independientes/strings por entrada de MPPT	1/1	1/1
Salida (CA)		
Potencia asignada (a 230 V, 50 Hz)	1500 W	2500 W
Potencia máx. aparente de CA	1500 VA	2500 VA
Tensión nominal de CA	220 V/230 V/240 V	220 V/230 V/240 V
Rango de tensión nominal de CA	180 V a 280 V	180 V a 280 V
Frecuencia de red de CA/rango	50 Hz, 60 Hz/-5 Hz a +5 Hz	50 Hz, 60 Hz/-5 Hz a +5 Hz
Frecuencia/tensión asignadas de red	50 Hz/230 V	50 Hz/230 V
Corriente máx. de salida	7 A	11 A
Factor de potencia con potencia asignada	1	1
Factor de distorsión ajustable	0,8 inductivo a 0,8 capacitivo	
Fases de inyección/conexión	1/1	1/1
Rendimiento		
Rendimiento máx./europeo	97,2%/96,1%	97,2%/96,7%
Dispositivos de protección		
Punto de desconexión en el lado de CC	●	●
Monitorización de temperatura de funcionamiento	●/●	●/●
Protección contra polarización inversa de CC/resistencia al cortocircuito de CA/con separación galvánica	●/●/-	●/●/-
Unidad de seguimiento de la corriente residual sensible a la corriente universal	●	●
Clase de protección (según IEC 62103)/categoría de sobretensión (según IEC 60664-1)	V/II	V/II
Protección contra corriente inversa	No es necesario.	No es necesario.
Datos generales		
Dimensiones (ancho x alto x fondo)	460/357/122 mm (18,1/14,1/4,8 in)	
Peso	9,2 kg (20,3 lb)	
Rango de temperatura de servicio	-40 °C a +60 °C (-40 °F a +140 °F)	
Emissiones de ruido típicas	<25 dB	
Autoconsumo nocturno	2,0 W	
Topología	Sin transformador	Sin transformador
Sistema de refrigeración	Convección	Convección
Tipo de protección (según IEC 60529)	IP65	
Clase climática (según IEC 60721-3-4)	4K4H	
Valor máximo permitido para la humedad relativa (sin condensación)	100%	
Equipamiento		
Conexión de CC/CA	SUNCLIX/conector	SUNCLIX/conector
Pantalla	-	-
Interfaces: RS485, Bluetooth®, Speedwire/Webconnect, WLAN	-/-/●/●	-/-/●/●
Servidor web integrado	●	●
Garantía: 5/10/15/20/25 años	●/○/○/○/○	●/○/○/○/○
Certificados y autorizaciones (otros a petición)	AS4777-3, C10/11/2012, CE02116, EN50438, G83/2, IEC61727, IEC62116, IEC62109, NBR16149, NEN-EN50638, NRS097-2-1, VDE-AR-N4105, VDE 0126-1-1, VTR2014	
Modelo comercial	SB 1.5-1V1-40	SB 2.5-1V1-40

Anexo 3: Hoja técnica del Panel Fotovoltaico JKM315M

www.jinkosolar.com

Jinko Solar



Principales características

-  Alta eficiencia (hasta un 18,23%) gracias a una tecnología de fabricación superior y un diseño optimizado
-  Capacidad de autolimpieza perfecta de los módulos, se reduce la pérdida de energía ocasionada por el efecto de suciedad del polvo
-  Excelente rendimiento en un entorno de baja irradiación lumínica
-  Extrema durabilidad medioambiental, reducida degradación de energía bajo altas temperaturas
-  El módulo en conjunto cuenta con una elevada resistencia certificada al viento (2400 Pa) y a la nieve (5400 Pa)

CALIDAD Y SEGURIDAD

- Tolerancia positiva 0/+3% *
- Garantía de producto de 10 años (material y mano de obra) *
- Garantía de potencia (12 años al 90%, 25 años al 80%)
- Garantía de degradación lineal *

Garantía de degradación de primera categoría

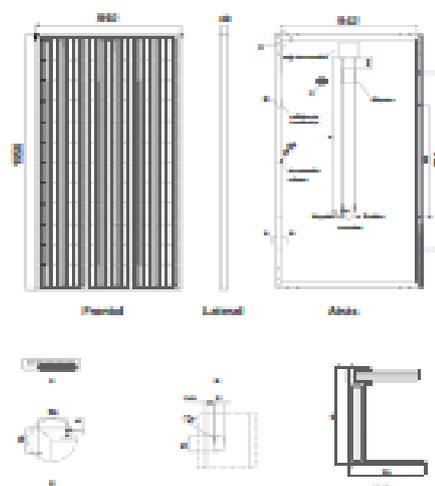


* Según las necesidades del cliente y las condiciones contractuales

Fábrica con certificación ISO9001:2008, ISO14001:2004, OHSAS18001

Productos con certificación IEC61215, IEC61730, IEC61701, IEC62716

Dibujos técnicos

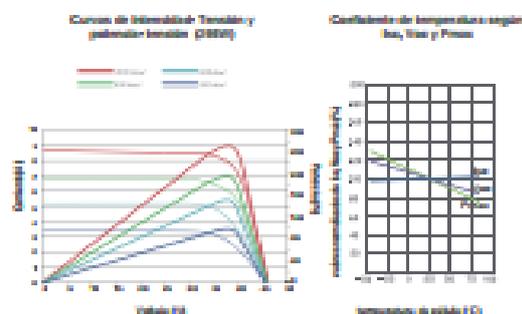


Embalaje

(Por caja o en pallet)

25 paneles, 50 paneles, 50 paneles (HQ) conexiones

Rendimiento eléctrico y dependencia de la temperatura



Características mecánicas

Tipo de célula	Monocristalina 156 x 156 mm (6 pulgadas)
SP de célula	33 (p=12)
Dimensiones	2166 x 1102 x 40mm (77,25 x 39,25 x 1,57 pulgadas)
Peso	26,5 kg (58,9 libras)
Vida útil	40 años, alta transmisión, bajo contenido en hierro, vidrio templado
Estructura	Aluación de aluminio anodizado
Caja de conexión	Clase IP67
Cables de salida	TUV 1 x 40mm ² , longitud 1600mm

ESPECIFICACIONES

Tipo de módulo	JKM1960		JKM2000		JKM2050		JKM2100		JKM2150	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Potencia nominal (P _{max})	216Wp	218Wp	200Wp	207Wp	208Wp	206Wp	210Wp	209Wp	218Wp	224Wp
Tensión en el punto P _{max} -VMPP (V)	38,8V	38,8V	37,8V	38,1V	37,2V	38,2V	37,4V	38,8V	37,8V	38,8V
Corriente en el punto P _{max} -IMPP (A)	5,57A	5,59A	5,11A	5,23A	5,26A	5,39A	5,29A	5,47A	5,39A	5,62A
Tensión en circuito abierto-VOC (V)	45,2V	45,8V	44,8V	45,8V	45,1V	45,2V	44,9V	45,8V	45,1V	45,8V
Corriente de cortocircuito-ISC (A)	6,05A	6,05A	5,81A	5,85A	5,73A	5,81A	5,85A	5,85A	5,81A	5,95A
Eficiencia del módulo (%)	18,20%		18,00%		18,20%		18,00%		18,20%	
Temperatura de funcionamiento (°C)					-10°C ~ 55°C					
Tensión máxima del sistema					1000VDC (60C)					
VALORES relativos recomendados de los fabricantes					IEC					
Tolerancia de potencia nominal (%)					0 ~ +3%					
Coefficiente de temperatura de P _{max}					-0,40%/°C					
Coefficiente de temperatura de VOC					-0,20%/°C					
Coefficiente de temperatura de ISC					0,00%/°C					
TEMPERATURA operacional nominal de célula					45°C					

STC: ☀️ Radiación 1000 W/m²



Célula módulo 25°C



AM=1.5

NOCT: ☀️ Radiación 800 W/m²



Ambiente módulo 20°C



AM=1.5



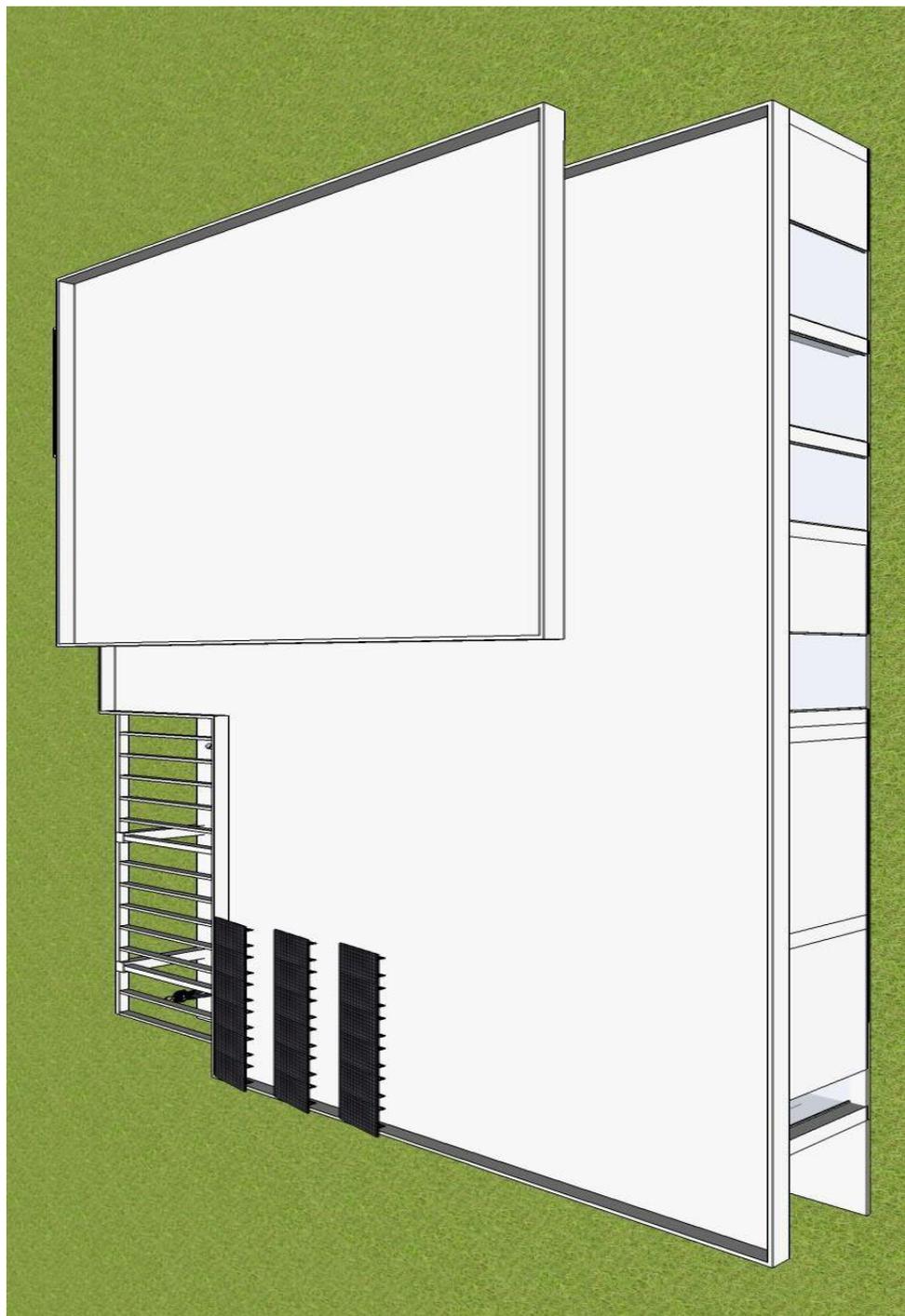
Velocidad del viento 1m/s

• TOLERANCIA de medición de potencia ± 0%

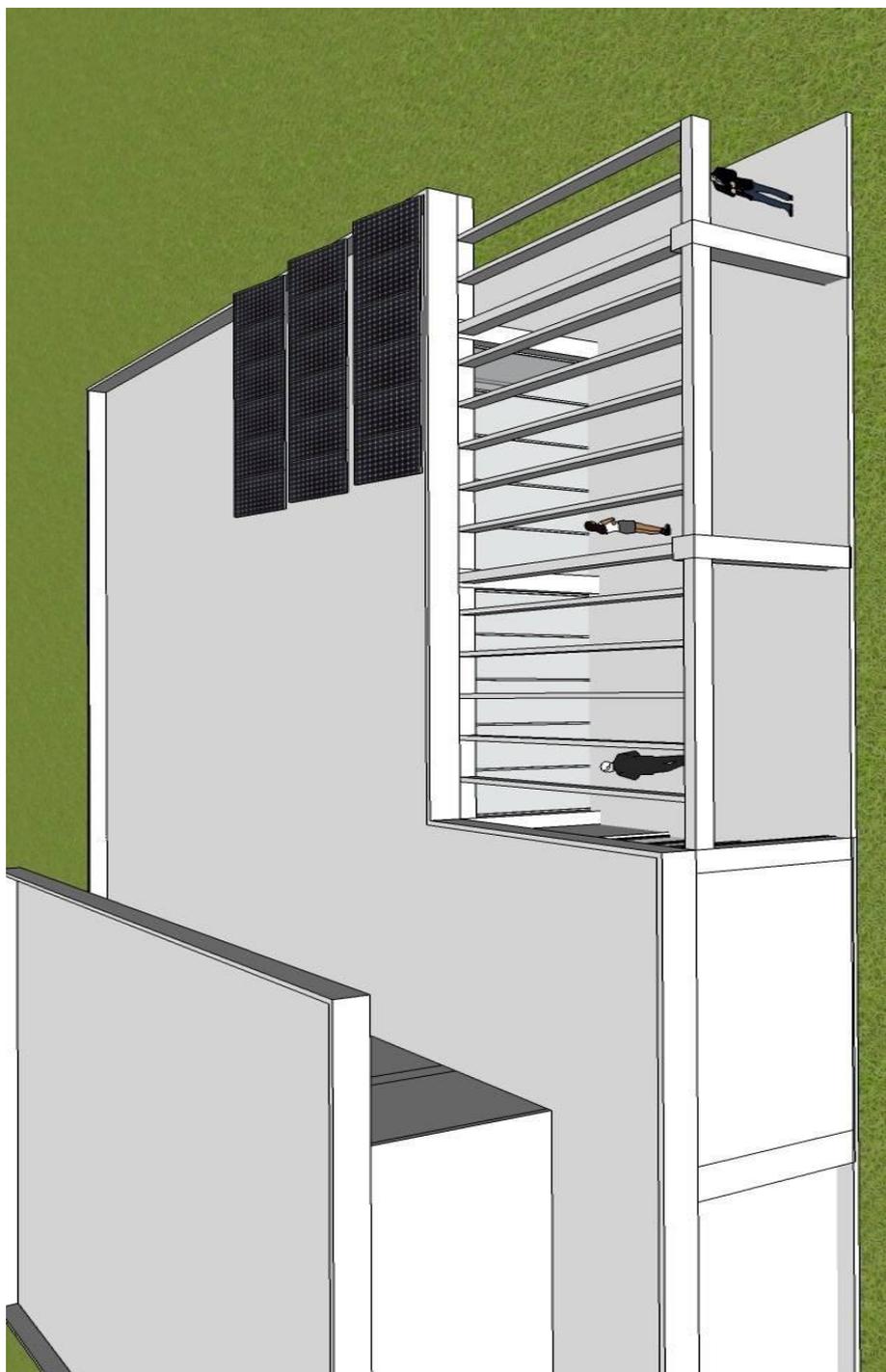
La empresa se reserva el derecho final de explicación de toda la información presentada por este medio. SP-MKT-3-ISM_06/2014

**Anexo 4: Simulación del Montaje del Sistema de Generación eléctrica
Fotovoltaico – Vista superior del CIDIS.**

Vista Superior del CIDIS visualizada desde el NORTE



Vista Superior del CIDIS visualizada desde el SUR



Vista Superior del CIDIS visualizada desde el ESTE

