

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS
VICERRECTORÍA ACADÉMICA



ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**“MICRORRED CON ENERGÍAS RENOVABLES PARA BASE
CRESTONES”**

**MODALIDAD DE PROYECTO PARA OPTAR POR EL GRADO DE BACHILLERATO EN INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA**

ANGIE TORRES SALAS (154117)

TUTOR: LIC. ADOLFO ARIAS

SEDE ARANJUEZ

ABRIL, 2019

CONTENIDO

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS	8
RESUMEN EJECUTIVO	9
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	10
Problema	11
Objetivos	11
General	11
Específicos	11
Justificación	12
Proyecciones	13
CAPÍTULO II	14
MARCO REFERENCIAL	14
Antecedentes	15
Investigación en universidades en el extranjero sobre implementación de energías renovables	15
Investigación en el extranjero acerca de las microrredes	16
Investigación nacional acerca de las energías renovables	17
Investigación nacional acerca de la implementación de microrredes	19
Investigación sobre el cerro Chirripó y sus instalaciones	20
Limitaciones	20
Investigación teórica	20
Microrredes eléctricas	21
Microrredes en corriente continua.	22
Microrredes en corriente alterna.	24
Integración de fuentes de energía en una microrred.	25
Demanda de energía	26
Energía solar fotovoltaica	26
Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.	27
Tipos de paneles solares	28
Silicio puro monocristalino	28

Silicio puro policristalino	29
Silicio amorfo (TFS)	30
Conexiones de los módulos	31
Conexión en paralelo	31
Procedimiento para el cálculo de una instalación fotovoltaica	32
Cálculo de consumo energético	32
Ecuación 1: Consumo energético.....	32
Hora solar pico	32
Ecuación 2: Conversión de hora solar pico.....	33
Número de paneles solares necesarios	33
Ecuación 3: Número de paneles solares	33
Conexión de los paneles solares	33
Conexión en serie	34
Ecuación 4: Número de paneles solares conectados en serie.....	34
Conexión en paralelo	34
Ecuación 5: Número de paneles solares conectados en paralelo.....	34
Inclinación de placas solares	34
Ecuación 6: Ángulo de inclinación máxima en grados	35
Inversores fotovoltaicos	35
Tipos de inversores	36
Principio de funcionamiento de un inversor PV	37
Rendimiento del panel	38
Sombras	38
Conductores en DC y AC	39
Ecuación 7. Corriente en un circuito DC.....	39
Ecuación 8. Corriente en un circuito AC	39
La energía eólica	39
Generadores eólicos	40
La potencia del viento	41
Ecuación 9. Potencia del viento	42
Curva de potencia de un aerogenerador	43
Aerogeneradores en microrredes	43

El regulador en sistemas eólicos	44
Paneles solares y aerogeneradores (sistema híbrido)	45
Ventajas de los sistemas híbridos	45
Baterías	46
CÓMO ES EL MANTENIMIENTO DE PLACAS SOLARES	47
CUÁNTO CUESTA EL MANTENIMIENTO DE PLACAS SOLARES	48
CAPÍTULO III	49
MARCO METODOLÓGICO	49
Enfoque de la investigación	50
Método de la investigación	50
Fuentes de información	50
Procesos para la recolección y análisis de datos	50
Etapa I: Planteamiento del problema	51
Etapa II: Investigación	51
Etapa III. Desarrollo	51
Etapa IV: Conclusión	51
CAPÍTULO IV	53
ANÁLISIS DE DATOS	53
Diagnóstico	54
Diseño de la microrred	54
Consumo aproximado diario actual	55
Gráfico 1. Consumo energético horario. Fuente: propia	56
Consumo aproximado diario de los nuevos requerimientos	56
Gráfico 2. Consumo energético horario de los nuevos requerimientos. Fuente: propia	57
Estimación de consumo diario de los nuevos complejos.	58
Gráfico 3. Consumo energético horario de los nuevos complejos. Fuente: propia.....	59
Estimación de consumo total de los consumos anteriores	59
Gráfico 4. Consumo total energético horario. Fuente: propia	61
Fuentes de energía	61
Condición de la radiación solar	61
Gráfica 4. Radiación solar promedio mensual. Fuente: propia.....	63
Condición de la velocidad del viento	63
Dimensionamiento del sistema fotovoltaico	65

Cantidad de paneles solares	65
Cálculo de conexión de los paneles	67
Conexión en serie	67
Conexión en paralelo	67
Ángulo de inclinación	67
Selección del inversor off-grid	68
Conductores y protecciones contra sobre tensión	68
Conductor en corriente alterna AC	69
Protecciones de sobre tensión DC	69
Protecciones sobre tensión AC	69
Selección de las baterías	69
Número de bancos de baterías	70
Dimensionamiento del sistema eólico	71
Selección de la turbina eólica	71
Turbina eólica	71
Generador	72
Regulador	72
Potencia eléctrica esperada debido a las turbinas eólicas	73
Cálculo del número de aerogeneradores	74
Cálculo de conductores para el sistema eólico	75
Sistema de generación mixta (fotovoltaica y eólica)	75
Análisis de resultados	77
Consumo de energía	77
Las fuentes de energía	77
Energía esperada por los aerogeneradores	78
Energía esperada por módulos fotovoltaicos	78
Planteamientos de diseño	78
Caso 1. Sistema mixto	79
Caso 2. Sistema solar únicamente	79
CAPÍTULO V	80
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
Conclusiones	81

Recomendaciones	82
CAPÍTULO VI	84
PROPUESTA	84
Costos de instalación del sistema escogido (Sistema Fotovoltaico)	87
REFERENCIAS	88
APÉNDICES	90
Apéndice 1. Consumo actual del albergue (ICE)	90
Apéndice 2. Cálculo de consumo de los nuevos requerimientos (ICE)	90
Apéndice 3. Estimación de potencias para el cálculo de consumo de los nuevos complejos	90
Apéndice 4. Planta de los nuevos complejos. (SINAC)	91
Apéndice 5. Ficha técnica del panel solar 330W.....	92
Apéndice 6. Ficha técnica del inversor solar 8000W.	93
Apéndice 7. Ficha técnica de las baterías Plomo-ácido.....	95
Apéndice 8. Ficha técnica del aerogenerador 5000W.	97
Apéndice 9. Ficha técnica del regulador eólica.	98
Apéndice 10. Conductores del sistema eólico.	99
Apéndice 11. Tabla de consumos recomendada.....	100

TABLAS

Tabla 1. Coordenadas del sitio. Fuente (IMN)	54
Tabla 2. Consumo energético diario. Fuente: Propia	55
Tabla 3. Consumo horario energético nuevos requerimientos. Fuente: Propia	56
Tabla 4. Consumo energético diario de los nuevos complejos. Fuente: Propia	58
Tabla 5. Consumo total energético horario. Fuente: Propia	60
Tabla 6. Promedios de Radiación Solar. Fuente: (IMN)	62
Tabla 7. Velocidad media del viento. Fuente: (IMN)	64
Tabla 8. Características del aerogenerador Wind Plus 25.3 +. Fuente: Bornay Energies	71
Tabla 9. Datos de potencia producida según la curva de energía. Fuente: Propia	73
Tabla 10. Energía producida por el aerogenerador	74
Tabla 11. Energía producida por los 46 aerogeneradores. Fuente: Propia	76
Tabla 12. Inversión del sistema fotovoltaico. Fuente: Propia	85
Tabla 13. Inversión del sistema eólico. Fuente: Propia	86

FIGURAS

Fig 1. Esquema de una microrred. Fuente: Bordons y Valverde (2015).....	22
Figura 2. Esquema de una microrred en CC. Fuente: John, Mwasilu, Lee y Jung (2013).....	23
Figura 3. Esquema de microrred en CA. Fuente: John, Mwasilu, Lee y Jung (2013).....	24
Figura 4. Esquema de un sistema fotovoltaico. Fuente: Cenit Solar (s.f.).....	27
Figura 5. Paneles de silicio puro monocristalino. Fuente: Sitio solar (2013).	29
Figura 6. Paneles de silicio puro policristalino. Fuente: Sitio solar (2013).....	30
Figura 7. Paneles de silicio amorfo. Fuente: Material fotovoltaico (2017).	31
Figura 8. Conexión de paneles solares en paralelo. Fuente: MpptSolar (2019).....	31
Figura 9. Conexión de paneles solares en serie. Fuente: Rivas (2019).	32
Figura 10. Símbolo del inversor monofásico.....	36
Figura 11. Símbolo del inversor trifásico.....	36
Figura 12. Inversor para instalaciones fotovoltaicas. Fuente: Mapsa (s.f.).....	37
Figura 13. Flujo de viento a través de turbina eólica. Fuente: Motiva (s.f.).	41
Figura 14. La potencia del viento.....	42
Figura 15. Ejemplo de curva de potencia de un aerogenerador.....	43
Figura 16. Aerogenerador de eje horizontal y eje vertical.	44
Figura 17. Diagrama de flujo del marco metodológico (Fuente propia).....	52
Figura 18. Ubicación geográfica del sitio. Fuente: Google Earth (2019).	54
Figura 19. Diagrama unifilar de los sistemas propuestos. Fuente: Elaboración propia (AutoCAD).	87

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

La concepción de este proyecto está dedicada a Tita, pilar fundamental en mi vida. Sin ella, jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora. A mis padres, su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar, no solo para mí, sino para mis hermanos y familia en general. También dedico este proyecto a Mami, ella representó gran esfuerzo y tesón en momentos de decline y cansancio. A ellos dedico este proyecto, que, sin ellos, no hubiese podido ser.

Este proyecto es el resultado del esfuerzo conjunto de todos los que formamos parte de esta carrera. Por lo cual agradezco a mis profesores, a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza. Finalmente, un eterno agradecimiento a esta universidad, la cual abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente proyecto se empleará un análisis para determinar el diseño eléctrico con microrred basada en energías renovables, con el fin de suministrar electricidad a los albergues en Base Crestones ubicado en el cerro Chirripó. *A priori*, se realiza la investigación de sistemas fotovoltaicos y sistemas eólicos, con el objetivo de conocer qué necesita cada sistema para un eficaz funcionamiento y dar una propuesta viable que se ajuste a las necesidades del Parque Nacional Chirripó. También se indaga en datos climatológicos suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), tanto para datos de radiación solar (MJ/m^2) como de medición de velocidad media del viento (m/s).

Para lograr lo anterior, se efectúan diversos escenarios con el fin de determinar la rentabilidad de cada uno de ellos y la inversión se debe hacer para una buena toma de decisiones. Se toman en cuenta las normas a seguir por parte del Código Eléctrico Nacional (NEC) en cuanto a lo que se refiere a conductores y protección del sistema. Este proyecto se desarrolla con un sistema autónomo.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Problema

¿Cuál es el mejor diseño eléctrico con microrred basada en energías renovables para suministrar electricidad a los albergues en Base Crestones ubicado en el cerro Chirripó?

Objetivos

General

Efectuar el diseño eléctrico de una microrred basada en energías renovables para suministrar electricidad a los albergues del Parque Nacional Chirripó.

Específicos

1. Dimensionar el sistema eólico y fotovoltaico, así como el sistema de almacenamiento mediante baterías.
2. Establecer diferentes escenarios de diseño para determinar cuál es el óptimo desde el punto de vista técnico y económico.
3. Elaborar el presupuesto económico de la implementación de la microrred para así determinar la viabilidad económica y ambiental.

Justificación

Se propone el diseño de una microrred basada en energías renovables para suministrar electricidad al área de los albergues que se encuentran en el Parque Nacional Chirripó; obteniendo los datos de velocidad del viento, así como los de radiación solar, los cuales serán analizados para proceder con los cálculos y diseño de la microrred; donde se seleccionarán los mejores componentes en ámbitos de tecnología.

Con 50 mil hectáreas, el parque Chirripó está ubicado en la Cordillera de Talamanca. Al Parque Nacional Chirripó lo corona el cerro Chirripó, con 3820 m.s.n.m., la mayor altitud del territorio costarricense. Frío en las madrugadas (al punto de congelación) y deliciosamente caluroso en el día, durante las temporadas secas, el parque es un hermoso complejo de áreas glaciares, formaciones rocosas, bosques húmedos y nubosos, así como páramo tropical habitado por diversas especies animales (Chirripo.org, s.f.).

Cuenta con albergues para hospedajes de los visitantes en Base Crestones con una capacidad de 40 personas por noche. La generación de luz eléctrica se da en la tarde noche, generada a partir de la producción hidroeléctrica de la generación de energía fotovoltaica con horario establecido (Áreas Protegidas y Parques Nacionales de Costa Rica, 2019).

Por otro lado, en cuanto a los sistemas de comunicación, se proponen las Redes de Sensores Inalámbricos, como la aplicación de las tecnologías de la información y las comunicaciones, al manejo y transporte de datos tomados de distintas fuentes o generadores a un nodo central, haciéndolas ideales para propósitos de administración y gestión. Sin embargo, no existe un protocolo de encaminamiento único para las distintas topologías y arquitecturas de red, y solo dependen de la aplicación, permitiendo que existan distintos trabajos relacionados con algoritmos para este tipo de redes que se ajustan a las necesidades particulares.

Son estas razones por las que se plantea desarrollar el presente proyecto de diseño de una microrred basada en energías renovables para suministrar electricidad al cerro Chirripó.

Proyecciones

Para alcanzar los objetivos propuestos en el proyecto, se propone efectuar el diseño de una microrred basada en energías renovables con paneles fotovoltaicos y energía eólica, los cuales son los que se van a utilizar en este caso, para suministrar electricidad al albergue de Base Crestones ubicado en el Parque Nacional Chirripó; partiendo de la demanda que es utilizada diariamente por los usuarios, para luego obtener los datos de velocidad del viento, así como los de radiación solar, los cuales serán analizados para proceder con los cálculos y efectuar el diseño de la microrred.

Con base en el desarrollo de lo anteriormente explicado, se procederá a realizar un estudio económico donde se seleccionarán los mejores componentes en ámbitos de tecnología y precio; para, consecuentemente, realizar un presupuesto económico de la implementación del proyecto, esto en caso de que se quiera realizar la instalación, ya que este proyecto no incluye la instalación física del mismo. Finalmente, se hará la entrega de un CD, en el cual se incluya la memoria de cálculo, planos, diagrama unifilar y el análisis de presupuesto del proyecto por efectuar.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

Antecedentes

Investigación en universidades en el extranjero sobre implementación de energías renovables

Se recolectó información del proyecto titulado: *Integración de energías renovables en redes eléctricas inteligentes* de Manuel Gascó (2013) de la Universidad de Alicante (España), la tesis hace un recorrido a través de los sistemas de generación, acumulación y control del sistema eléctrico. Se modela una red distribuida, un sistema de generación fotovoltaico y un sistema de generación eólica, además, se realizan los estudios de integración estáticos y dinámicos para analizar el comportamiento de las redes con presencia de generación renovable distribuida y sistemas de acumulación.

Se propone la optimización de los sistemas de generación propuestos para presentar el servicio complementario de ajuste de frecuencia en una red distribuida. Como resultados, se presenta el balance de las mejoras que la generación propuesta aporta a la red distribuida estudiada y se desarrolla una serie de objetivos para optimizar la presencia de generación distribuida e implementar nuevas consignas de control.

Desde el punto de vista del sistema eléctrico, la reducción de la demanda y la eficiencia energética adquieren en el presente una doble importancia, no solo condicionadas por su propia razón de ser, sino que, además, se apoyan en una serie de medidas complementarias al desarrollo de las energías renovables y en la internalización de los costes de producción.

Esta tesis trata precisamente sobre la incorporación de sistemas de generación de energías renovables en conjunción con las medidas de eficiencia necesaria para ajustar el sistema eléctrico, a fin de que sea capaz de optimizar el empleo de las diferentes tecnologías y elementos de ajuste, así como control que es necesario implementar en la red eléctrica, quedando definidos en los procedimientos de conexión y operación de nuevas fuentes de energía, contribuyendo a la mejora del sistema y aportando un alto valor de mercado.

Se encuentran aportaciones relevantes, como la importante reducción de las pérdidas en el sistema de distribución cuando la generación se realiza de forma dispersa; el modelo de sistemas

eólicos equipados con generadores de inducción doblemente alimentados empleado eleva la potencia de cortocircuito en el sistema de distribución; los sistemas de acumulación distribuida son técnicamente viables, mejorando la autonomía, el despacho y la fiabilidad de las microrredes.

Llegado a esto, se determina que la microrred tratada en su conjunto cumple con los requisitos establecidos para los sistemas de generación distribuida; este sistema propuesto mejora la fiabilidad del sistema eléctrico en su conjunto.

Por todo ello, se considera que este proyecto abre la puerta al desarrollo de microrredes inteligentes en el sistema de distribución de energía eléctrica, que se considera de gran importancia y necesaria para futuras investigaciones y proyectos que se lleven a cabo a partir de este tema; como lo es de importancia para este trabajo, en el cual la información anteriormente obtenida ayudará a entender mejor el tema con el cual se realizará el diseño de la microrred y sus diferentes sistemas de implementación.

Investigación en el extranjero acerca de las microrredes

La empresa Asea Brown Boveri (2017) realizó el proyecto titulado: *Microrred Solar en la isla Robben* en Sudáfrica, región que goza de una geografía tan sobrecogedora que durante siglos ha alojado una famosa prisión quemada por el sol y barrida por los vientos, una microrred con energía solar y sostenible.

La microrred es esencialmente una red eléctrica a pequeña escala que permitirá a la isla Robben reducir drásticamente la utilización de generadores diésel, voraces consumidores de gas óleo y grandes contaminadores de dióxido de carbono, de los que anteriormente dependía la isla para su suministro eléctrico. ABB, siglas para abreviatura de la empresa, que ya ha instalado más de tres docenas de microrredes en diferentes localidades, adapta esta tecnología a islas de todo el mundo o a cualquier ubicación en la que comunidades aisladas necesiten energía estable, limpia y sostenible, cuando no sea posible el acceso a la red eléctrica pública.

La microrred cuenta con sofisticadas tecnologías digitales que le aportan una eficiencia óptima. La capacidad de supervisión remota de ABB Ability permite controlar y operar el sistema desde Ciudad del Cabo, a 9 kilómetros de distancia, a través de las peligrosas corrientes que rodean

la isla. La configuración remota también elimina la necesidad de mantener personal de mantenimiento en la isla, donde la variabilidad del clima impide a veces el desplazamiento hacia y desde tierra firme.

La isla Robben, que también ha servido de puerto y faro, tiene las necesidades energéticas de una ciudad pequeña, equivalentes a las de 130 viviendas. Antes de que la microrred entrase en servicio, la isla dependía totalmente de generadores diésel que quemaban 600.000 litros de combustible al año, con un elevado coste y una importante contaminación atmosférica. Al permitir que la isla se alimente con energía solar, al menos durante nueve meses del año, utilizando los generadores diésel solo como reserva, la microrred podrá reducir los costes de combustible y las emisiones de carbono en un 75%.

La microrred de la isla Robben captura la energía solar mediante un conjunto de paneles fotovoltaicos situados al sudeste de la isla, que cubren un área equivalente a un campo de fútbol y tienen una capacidad máxima de 667 kilovatios. Doce inversores solares convertirán la corriente continua (CC) variable generada en los paneles solares, en la corriente alterna (CA) necesaria para el consumo eléctrico en la isla. La microrred puede funcionar con energía solar durante el día, reforzada con baterías que pueden alimentar la red durante aproximadamente siete horas tras la puesta de sol.

El proyecto está integrado en una iniciativa de desarrollo turístico sostenible del Ministerio de Turismo y ha sido desarrollado por SOLA Future Energy, una compañía de ingeniería, adquisiciones y construcción. Una ventaja adicional de la red inalámbrica es que no es necesario construir zanjas para cables, lo que ayuda a proteger el medio ambiente de la isla.

Investigación nacional acerca de las energías renovables

En el Centro de Energías Renovables (CENER), la Dra. Raquel Garde (2015) realizó diferentes análisis bajo el nombre de *Almacenamiento, integración a la red de energías renovables y redes inteligentes*, en cuanto a tipos de energías renovables. En el estudio se determinaron las aplicaciones de los sistemas de almacenamiento de energía que se han utilizado, como ejemplo de ello se tiene: soporte de la red, UPS (telecom, sistemas off-grid, etc.), nuevas tecnologías electrónicas (portátiles), entre otras; así como las diferentes tecnologías: baterías avanzadas,

baterías de flujo, hidrógeno, almacenamiento virtual o gestión de la demanda mediante consumos despachables.

Se analizaron los aportes que da el almacenamiento de la energía, entre ellos se pueden destacar: menores costes de capital (puede suministrar o absorber energía en momentos puntuales haciendo un uso más eficiente de la red y reduciendo la necesidad de infraestructuras), fiabilidad (su rápida respuesta ante incidencias hace la red más robusta), suavizando la variabilidad de las renovables, avanza hacia un sistema eléctrico más verde y sostenible.

El almacenamiento de energía proporciona una capacidad de generación utilizable en los picos de consumo que permite reducir las necesidades de reserva convencional de generación, lo que se traduce en un beneficio económico, porque se pueden evitar inversiones en plantas de generación. La capacidad de almacenamiento en el sistema permite incrementar su flexibilidad y su correcta gestión reduce los costes asociados a los ajustes de la Operación del Sistema.

El objetivo es regular la potencia que genera la planta renovable para equilibrar la generación con la demanda. Los tiempos de actuación pueden ser largos (horas) o cortos para cubrir desequilibrios locales con variaciones de potencia casi instantáneas.

El uso del almacenamiento de energía, por ejemplo, en nudos congestionados, permite retrasar estas inversiones y resultar en un uso más eficiente de la red eléctrica, a la vez que minimiza el riesgo de que el crecimiento no produzca congestiones.

Las tecnologías más adecuadas dependen del tamaño, para redes de distribución las baterías son una buena opción. En cuanto a microrredes, se puede encontrar como objetivo el diseño de microrredes y sus estrategias de control para permitir el funcionamiento óptimo de sus diferentes elementos, añadiendo nuevas funcionalidades, asegurando el suministro eléctrico en modo aislado, atenuando las perturbaciones en modo conectado y colaborando en el mantenimiento de la estabilidad de la red.

El almacenamiento es un componente clave para la gestión óptima de la energía, y el desarrollo de microrredes con almacenamiento es un primer paso hacia las Smart Grids (Redes Inteligentes).

Investigación nacional acerca de la implementación de microrredes

En el Instituto Tecnológico de Costa Rica, la estudiante de Ingeniería ambiental Natalia Bonilla (2017) realizó la *Propuesta de diseño de una microrred en la comunidad de Santa Elena, Pérez Zeledón, basada en Whites Lane Smart Micro Grid*. Dicho artículo propone el diseño de una microrred inteligente para la comunidad, la propuesta consiste en 10 clientes (familias campesinas), cuyas casas de habitación están dotadas con una capacidad fotovoltaica de 2 kW y un medidor inteligente para monitorear el consumo, de acuerdo con una promoción de conciencia sobre el uso racional y eficiente de la energía.

Como se mencionó anteriormente, la potencia del sistema fotovoltaico es de 2 kW por cliente. Al usar paneles de 250 W, se requerirían 8 módulos por cliente para un total de 80 módulos para toda la microrred. Las dimensiones aproximadas de un panel solar de 60 celdas son de 1650 mm x 990 mm x 38 mm; asumiendo un área aproximada de 2m² por panel, se requeriría de 16 m² para todo el sistema fotovoltaico. Como se muestra en el cuadro 1, el área del techo de todas las casas es mayor a 16m².

Con respecto al almacenamiento de energía en la comunidad, para un estimado de consumo diario de 73,66 kWh, y un día de autonomía, el requerido es de 108.33 kWh. Se considera que las dimensiones del sistema de baterías deben ser 3019 mm de largo, 2408 mm de ancho y 1686 mm de altura.

La energía eléctrica generada por los paneles, luego de pasar por un micro inversor, ingresará a un equipo llamado transverter que administra el flujo de energía entre diferentes posibles fuentes de generación, como son las baterías, los consumidores y la red eléctrica externa. Además, se instalará un sistema de almacenamiento de energía con baterías, para operar de manera autónoma en la noche y en momentos en que la demanda sea mayor que la producción fotovoltaica. También, se conectará a la microrred una estación de carga de vehículos eléctricos abastecida por 24 paneles solares, con el fin de promover el uso de este tipo de medio de transporte y de este tipo de infraestructuras en la comunidad y en el país.

Investigación sobre el cerro Chirripó y sus instalaciones

En el trabajo de investigación titulado: *Soluciones energéticas para la vida cotidiana*, realizado por Andrés Brenes (2002), en la Universidad de Costa Rica, se investigó acerca de la planta del Parque Nacional Chirripó, que se localiza en la Cordillera de Talamanca, provincia de Limón. Está en una zona donde convergen las provincias de San José, Cartago y Limón. El parque tiene como propósito fundamental la protección de sus recursos naturales. Allí se haya la elevación más alta de Costa Rica, el cerro Chirripó con 3.820 m sobre el nivel del mar. La variedad de flora y fauna, así como sus condiciones topográficas convierten el lugar en un centro de interés turístico.

Este proyecto se realizó para las instalaciones ubicadas en los albergues de Base Crestones, en el sitio conocido como Base Crestones, donde se ubica el refugio de los guarda-parques. Estos funcionarios públicos deben realizar la labor de vigilancia, mantenimiento de senderos y atención al público. En el refugio se instaló el equipo de energía solar, lo que permitió que, desde el mes de noviembre de 1993, este disponga de electricidad. En el año 1998 y ante la apertura de las nuevas instalaciones del parque, se instaló un sistema fotovoltaico de mayor capacidad que el que existía desde 1993.

El equipo consta de 10 paneles, 10 reguladores, 10 baterías de 105 amperios-hora. La carga instalada consta de 40 lámparas fluorescentes compactas, un toma para el equipo de radiocomunicación y otro para un uso diverso como radio o televisor. Los paneles se ubicaron sobre estructuras metálicas.

Limitaciones

El Parque Nacional cuenta con fechas específicas para realizar visitas, por lo cual, el difícil acceso al área es la limitación más importante.

Investigación teórica

Microrredes eléctricas

Los sistemas de distribución eléctricos tienen que desarrollarse, de tal manera que los objetivos principales sean brindar un servicio continuo y de calidad, en el sentido de que no existan interrupciones y que las ondas sean lo más senoidales posibles, de tal manera que esté libre de armónicos. El uso de la energía eléctrica tiene grandes ventajas, ya que su transporte es fácil y eficiente; además de que es accesible a lugares lejanos y se puede subdividir hasta niveles muy pequeños, complementariamente hay ausencia de residuos.

El incremento de consumo de energía eléctrica en el mundo y la gran dependencia de combustibles fósiles han implicado la búsqueda de fuentes de energías renovables, con las cuales se plantea disminuir el impacto ambiental; dando como resultado un acelerado desarrollo de tecnologías como son la generación de energía eólica y fotovoltaica.

Otro aspecto importante es la generación distribuida que se conceptualiza como una generación en instalaciones relativamente pequeñas, en general inferiores a 10 MW, que se sitúan cerca de los consumos y conectadas a la red de distribución en media y baja tensión, normalmente, y que complementan a la generación tradicional de grandes unidades conectadas generalmente a la red de transporte (Colmenar, Borge, Collado y Castro, 2015).

De la definición de generación distribuida surge el concepto de microrredes que son un conjunto de cargas, generadores y sistemas de almacenamiento de energía, aislados o conectados a la red convencional eléctrica, los cuales pueden ser gestionados de manera coordinada para suministrar electricidad de forma fiable.

La implementación de microrredes tiene ventajas como la reducción de pérdidas en la red, descongestión de los sistemas de transporte de energía y disminución del impacto ambiental del sistema eléctrico. En la figura 1, se visualiza el esquema de una microrred (Bordons y Valverde, 2015).

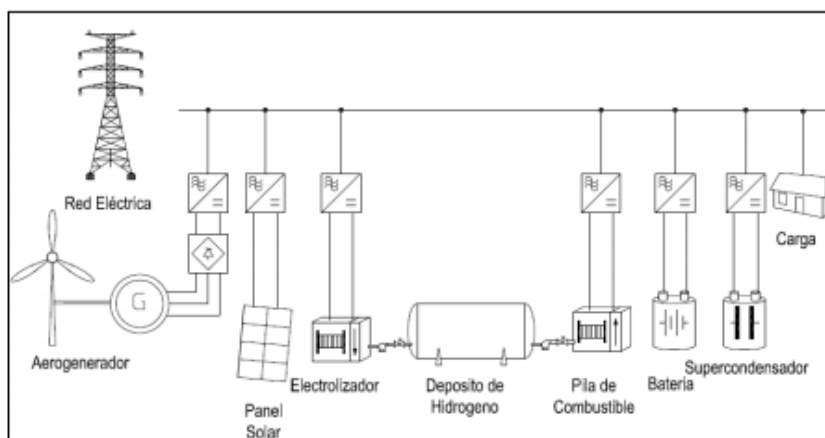


Fig 1. Esquema de una microrred. Fuente: Bordons y Valverde (2015).

Microrredes en corriente continua.

Los sistemas de corriente alterna (CA) se han utilizado ampliamente, primero convirtiendo los altos niveles de tensión de transmisión a bajos niveles de tensión en distribución, que son utilizados para hacer funcionar a las diferentes cargas tanto en el sector residencial como industrial. Por otro lado, la corriente continua (CC) se usa en sistemas de distribución de la industria para alimentar cargas electrónicas de alta sensibilidad, en las infraestructuras de telecomunicaciones y transmisiones punto a punto para largas distancias, un esquema se presenta en la figura 2:

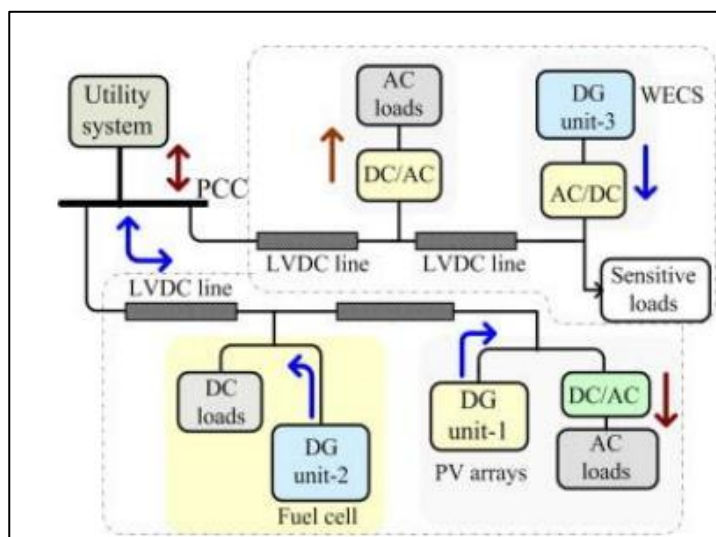


Figura 2. Esquema de una microrred en CC. Fuente: John, Mwasilu, Lee y Jung (2013).

En la actualidad, gran parte de las cargas eléctricas están controladas o actúan con electrónica de potencia, las cuales necesitan corriente continua para su funcionamiento; esta necesariamente requiere una conversión de CA a CC, que en la mayoría de los casos utiliza rectificadores que no tienen una alta eficiencia.

En la mayoría de casos, la energía producida por generadores de corriente continua debe convertirse en corriente alterna para sincronizarse con la red eléctrica convencional y está nuevamente en CC para algunas aplicaciones; estas conversiones implican pérdidas de energía.

La red de distribución en corriente continua aumenta la eficiencia en lo referente a la entrega de energía a la red de distribución y una mejor calidad de la energía. Aunque también las redes de CC presentan problemas como la sincronización de los generadores, de igual manera, hay problemas en las elevadas corrientes de arranque de transformadores, motores y generadores.

Se determinan algunas ventajas del uso de microrredes de CC como bajas pérdidas, la no existencia de potencia reactiva ni corrección del factor de potencia, la falta de armónicos y no se necesita cambiar los conductores en algunos casos. Por otro lado, también existen desventajas como el uso de sistemas de protección más complejos, no hay puntos de cruce por cero y se necesitan niveles de tensión más altos.

Microrredes en corriente alterna.

Una de las principales características de las microrredes de Corriente Alterna (CA) es la conexión directa con la red eléctrica convencional. La ventaja principal es la alimentación eléctrica a las cargas en forma directa, considerando también que el acoplamiento de una microrred de CA es menos costoso en términos económicos, ya que se requiere un menor tamaño de convertidor AC-DC, para manejar los flujos de energía entre la red de suministro eléctrico y la red de corriente continua, esto se puede visualizar en la figura 3.

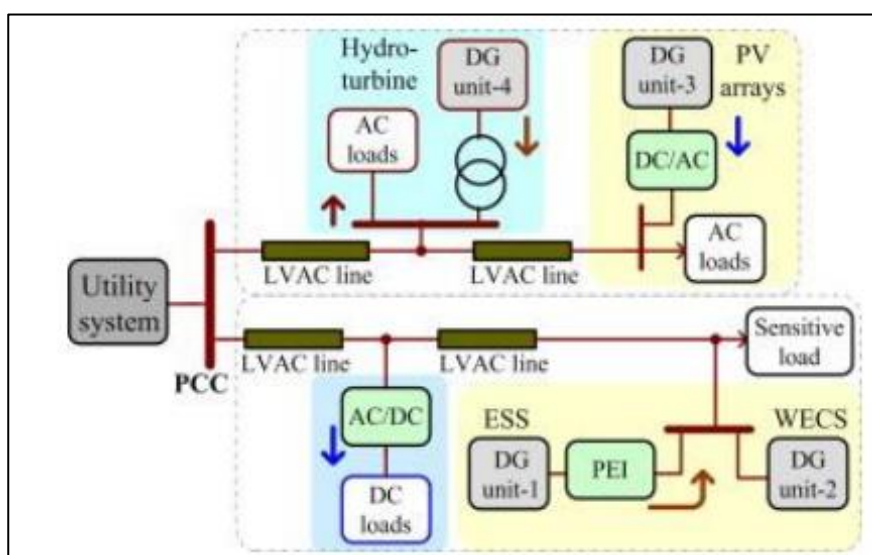


Figura 3. Esquema de microrred en CA. Fuente: John, Mwasilu, Lee y Jung (2013).

De manera general, en condiciones normales, el funcionamiento de una microrred de CA consiste en alimentarse de fuentes locales, si la demanda de potencia de carga es menor que la potencia producida por las unidades de generación de la microrred, considerando también que el exceso de energía puede ser exportado al sistema principal. En la mayoría de los casos, las microrredes de CA funcionan a voltajes y frecuencias aplicados en la mayoría de los sistemas de distribución convencionales, ya que estos tienen una gran flexibilidad. Por lo tanto, se recalca que las microrredes de CA basadas en fuentes de energías renovables y no renovables son de gran aplicación en áreas remotas, edificios e industria, de tal manera que se asegura el suministro de

energía mejorando la eficiencia y confiabilidad en la infraestructura del sistema eléctrico (John, Mwasilu, Lee y Jung, 2013).

Integración de fuentes de energía en una microrred.

Las diferentes fuentes que componen una microrred dependen de la potencia necesaria solicitada por la carga, de la tecnología utilizada, impacto ambiental, modo de utilización; además de que no están definidas exactamente, ya que las mismas dependen del lugar de emplazamiento. Lo que sí está definido es que las fuentes de generación deben estar lo más cerca posible del consumidor o consumidores según sea el caso.

En estos procesos, el consumidor se convierte en autogenerador de energía, pudiendo el mismo estar o no conectado a la red eléctrica convencional de media tensión o baja tensión, que, en muchos de los casos, dependiendo de la regulación de cada país, se puede verter a la red de distribución los excedentes de energía generados por estas fuentes. En cuanto a niveles de tensión, lo recomendable es realizar las conexiones en baja tensión, de tal manera que se abarque una mayor cantidad de consumidores.

Todas las tecnologías de fuentes de generación renovable son implementables en las microrredes, siempre teniendo en cuenta que el suministro de energía sea seguro tanto en calidad como confiabilidad y que los precios sean competitivos frente a las tecnologías convencionales. De igual manera, se pueden implementar fuentes de energía no renovables que se basan en el uso de combustibles fósiles y energías convencionales.

Dentro de las tecnologías más utilizadas en las microrredes están la biomasa, la fotovoltaica y la eólica; destacando que con la energía fotovoltaica se puede cubrir la mayor cantidad de potencia demandada. Realizando una revisión, se determina que dentro de las fuentes de energía convencionales están la cogeneración, turbinas de gas, motores de combustión interna y microturbinas. Y dentro de las energías renovables, se recalcan las tecnologías minihidráulica, fotovoltaica, eólica, biomasa, geotérmica y marinas (Colmenar, Borge, Collado y Castro, 2015).

Demanda de energía

En general, la carga es lo más importante en un diseño de un sistema eléctrico, considerando siempre que es un parámetro impredecible, además, es importante conocer los factores de carga que son de gran apoyo para prever la demanda máxima, el cual es un parámetro significativo en el diseño. Los factores de carga se obtienen midiendo directamente en las redes de operación, ya que cada uno de estos sistemas tiene sus características y funcionamientos particulares.

Los factores de carga juegan un papel importante en el diseño del sistema eléctrico, de tal manera que se utilice de mejor forma los recursos materiales y el desempeño de los mismos sea óptimo. Las cargas pueden clasificarse de diferentes formas; lo más habitual es agruparlas con el perfil de la demanda con el tiempo, por ejemplo, el sector industrial, comercial y residencial.

De acuerdo con Morón (2009): “La carga eléctrica es el aparato o conjunto de aparatos conectados a un sistema eléctrico que demandan una potencia eléctrica. El valor de la potencia demandada es el valor de la carga y normalmente se conoce como la demanda” (p.).

La demanda máxima en un sistema eléctrico es el mayor de todas las potencias demandadas, las cuales se han sucedido en un periodo específico de tiempo y este es el valor que se debe utilizar para realizar los cálculos de dimensionamiento. La carga instalada es la suma de todas las potencias nominales de los aparatos que utilizan la energía; diferenciando así el concepto de capacidad instalada que corresponde a la suma de las potencias nominales de los equipos que generan energía (Yebra, 2009).

Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es la conversión directa de la energía contenida en la radiación solar en energía eléctrica, sin la producción de humos ni ruidos.

La radiación solar incide sobre la tierra en forma de fotones, las cuales son partículas en forma de energía. La conversión se realiza mediante la exposición al sol de materiales

semiconductores cristalinos en los cuales la acción de los fotones produce una diferencia de potencial eléctrico, esto se visualiza en la figura 4.

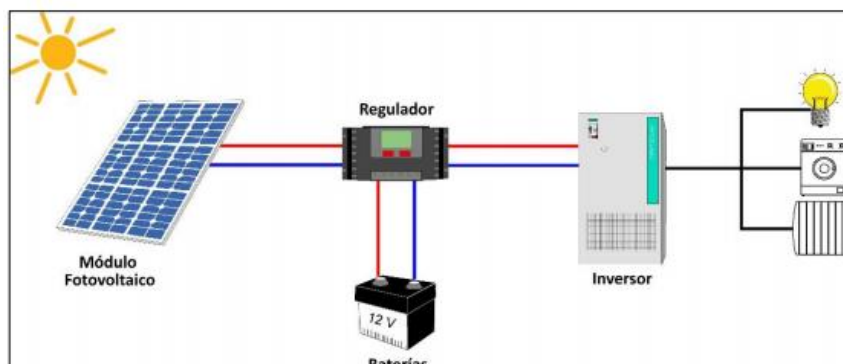


Figura 4. Esquema de un sistema fotovoltaico. Fuente: Cenit Solar (s.f.).

Si luego se conecta un conductor entre las caras del material semiconductor, el conjunto de electrones circulará por el hilo conductor estableciéndose una corriente eléctrica, la cual es llamada energía solar fotovoltaica. Una de las aplicaciones más convencionales de la energía solar fotovoltaica es proporcionar energía eléctrica a zonas aisladas, específicamente para electrificación de viviendas, sistemas de bombeo, sistemas de señalización vial, sistemas de comunicaciones, etc.

Como segunda opción se usa la energía fotovoltaica para inyección directa a la red eléctrica convencional, en este caso se trata de grandes capacidades de potencia instalada (Colmenar, Borge, Collado y Castro, 2015).

Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.

La energía solar mediante el uso de los paneles solares puede ser implantada de diferentes maneras y tener muy variadas aplicaciones, entre las que se distinguen:

Aplicaciones autónomas.

Las aplicaciones autónomas serían aquellas en las que los paneles solares no están conectados a ningún tipo de red y sirven para abastecer al mismo lugar en el cual recogen la energía del sol.

Dentro de este tipo de aplicaciones autónomas, se pueden encontrar distintos tipos. Algunas de las más frecuentes serían la espacial (para producir energía para los satélites o estaciones espaciales en órbita), para autoabastecimiento en hogares o zonas rurales, las telecomunicaciones y el alumbrado público, entre muchos otros usos y aplicaciones.

Tipos de paneles solares

Tipos de paneles en función de los materiales. Existen diferentes tipos de paneles solares en función de los materiales semiconductores y de los métodos de fabricación que se empleen. Los tipos de paneles solares que se pueden encontrar en el mercado son tres:

Silicio puro monocristalino.

Están basados en secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado, en una sola pieza. En el laboratorio se han alcanzado rendimientos máximos de 24,7% para este tipo de paneles y en los comercializados 16%.

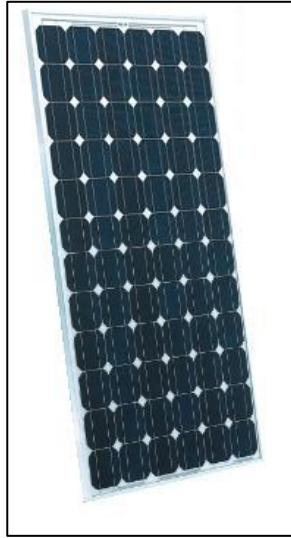


Figura 5. Paneles de silicio puro monocristalino. Fuente: Sitio solar (2013).

Silicio puro policristalino.

Los materiales son semejantes a los del tipo anterior, aunque en este caso el proceso de cristalización del silicio es diferente. Los paneles policristalinos se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales. Son visualmente muy reconocibles por presentar en su superficie un aspecto granulado. Con ellos se obtiene un rendimiento inferior que con los monocristalinos (en laboratorio de 19,8% y en los módulos comerciales de 14%) y su precio también es más bajo.



Figura 6. Paneles de silicio puro policristalino. Fuente: Sitio solar (2013).

Por las características físicas del silicio cristalizado, los paneles fabricados siguiendo esta tecnología presentan un grosor considerable. Mediante el empleo del silicio con otra estructura o de otros materiales semiconductores, es posible conseguir paneles más finos y funcionales, que permiten incluso, en algún caso, su adaptación a superficies irregulares. Son los denominados paneles de lámina delgada.

Así, entonces, los tipos de paneles de lámina delgada son:

Silicio amorfo (TFS).

Se basan también en el silicio, pero, a diferencia de los dos anteriores, los de este material no siguen aquí estructura cristalina alguna. Paneles de este tipo son habitualmente empleados para pequeños dispositivos electrónicos (calculadoras, relojes) y en pequeños paneles portátiles. Su rendimiento máximo alcanzado en laboratorio ha sido de 13%. El de los módulos comerciales es de 8% (Sitio solar, 2013).



Figura 7. Paneles de silicio amorfo. Fuente: Material fotovoltaico (2017).

Conexiones de los módulos.

Conexión en paralelo.

La conexión en paralelo se realiza conectando, por un lado, todos los polos positivos de la placa de la instalación solar y, por el otro, conectando todos los polos negativos. De esta forma se mantiene el voltaje o tensión (voltios) de las placas solares, mientras que se suma la intensidad (amperios).

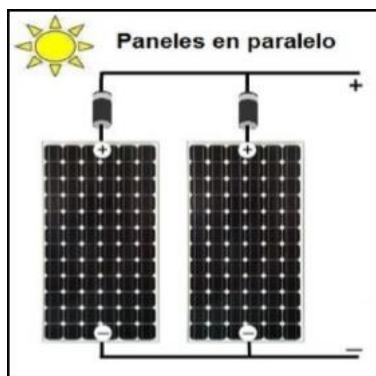


Figura 8. Conexión de paneles solares en paralelo. Fuente: MpptSolar (2019).

Conexión en serie: mediante la conexión en serie se conectan directamente las placas solares entre sí y se conecta el polo positivo de un panel con el polo negativo del siguiente panel. A diferencia de la conexión en paralelo, se mantiene la intensidad y se suma el voltaje.

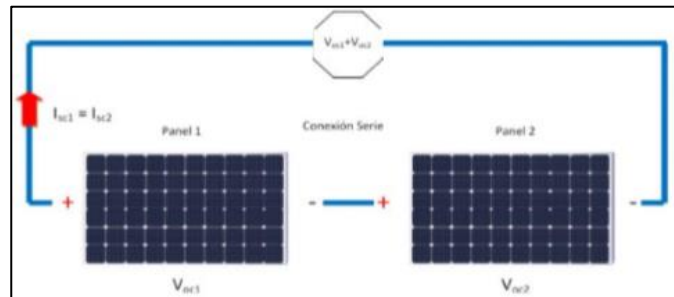


Figura 9. Conexión de paneles solares en serie. Fuente: Rivas (2019).

Procedimiento para el cálculo de una instalación fotovoltaica

Cálculo de consumo energético

Ecuación 1: Consumo energético

$$\text{Consumo (KWh)} = \frac{P(W) * Hd * N}{1000}$$

Donde:

P: potencia real de cada dispositivo.

Hd: horas diarias de uso del dispositivo.

N: número de dispositivos utilizados.

Hora solar pico.

La hora solar pico (HSP) es una unidad que mide la irradiación solar y se define como el tiempo en horas de una hipotética irradiación solar constante de 1000 W/m².

Una hora solar pico equivale a 3,6 MJ/m² o, lo que es lo mismo, 1 kWh/m², tal como se muestra en la siguiente conversión:

Ecuación 2: Conversión de hora solar pico

$$1\text{HSP} = \frac{1000\text{W} \cdot 1\text{h}}{\text{m}^2} * \frac{3600\text{s}}{1\text{h}} * \frac{1\text{J}}{1\text{W}} = 3,6\text{MJ}/\text{m}^2$$

Se utiliza en el dimensionamiento de paneles fotovoltaicos.

Número de paneles solares necesarios.

Para el cálculo de la cantidad de paneles solares, esta se especifica con la siguiente fórmula:

Ecuación 3: Número de paneles solares

$$\text{NP} = \frac{\left(\frac{E}{\text{RSN}}\right) * 1000}{\text{Wp}}$$

Donde:

NP: es el número de paneles solares necesarios.

E: es el consumo energético real anual (kWh/año).

Wp: es la potencia pico del panel (Wp).

RSN: es la radiación solar neta (kWh/m²/año).

(ReFeel Costa Rica S.A., 2016)

Conexión de los paneles solares

Conexión en serie.

Ecuación 4: Número de paneles solares conectados en serie

$$NP_s = \frac{V_{BAT}}{V_{MOD,MPP}}$$

Donde:

NP_s : número de paneles en serie.

V_{BAT} : voltaje del banco de baterías.

$V_{MOD,MPP}$: voltaje máximo del panel.

Conexión en paralelo

Ecuación 5: Número de paneles solares conectados en paralelo

$$NP_p = \frac{NP_T}{NP_s}$$

Donde:

NP_p : número de paneles en paralelo.

NP_T : número de paneles totales.

NP_s : número de paneles en serie.

(Alonso, 2015)

Inclinación de placas solares

Las placas solares deben tener una inclinación con un grado de ángulo óptimo para captar los rayos del sol de manera perpendicular. Una inclinación equivocada podría causar una pérdida significativa en la eficiencia de todo el sistema solar.

Sin embargo, encontrar el ángulo correcto de los paneles no es fácil, ya que la luz solar no es constante en el planeta, varía en función de la latitud del lugar y de la época del año de observación. En el hemisferio norte del planeta, el sol está bajo en el horizonte a medida que se avanza hacia el norte. Además, en los meses de invierno, el sol es particularmente menor que en los meses de verano. Lo contrario sucede en el hemisferio sur.

Para determinar el ángulo de inclinación adecuado de los paneles solares, que maximice la radiación sobre ellos, se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 6: Ángulo de inclinación máxima en grados

$$I_m = \Phi + 10^\circ$$

Donde:

I_m : es la inclinación máxima en grados.

Φ : es la latitud del lugar de la instalación.

Inversores fotovoltaicos

C.C. a los inversores de AC utilizados por PV campo convertir electricidad de la C.C. que genera el campo PV a la CA, compatible en cuanto al voltaje a y la frecuencia con la red.

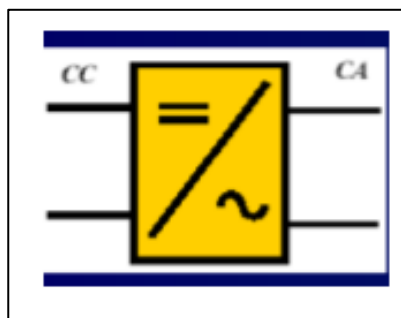


Figura 10. Símbolo del inversor monofásico

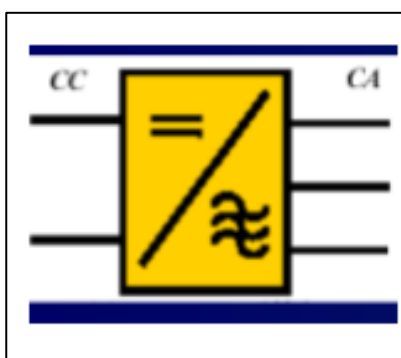


Figura 11. Símbolo del inversor trifásico

Tipos de inversores

Los inversores para instalaciones fotovoltaicas se utilizan en proyectos de tamaño pequeño o medio. Son clasificados de algunos kWc hasta unos pocos cientos de kWc. El inversor puede conectarse a una o varias cadenas de módulos fotovoltaicos, dependiendo del modelo y el tamaño de la instalación. Su voltaje DC de entrada generalmente es clasificado para unos pocos cientos de voltios, mientras que la salida de la CA puede ser solo o trifásico.



Figura 12. Inversor para instalaciones fotovoltaicas. Fuente: Mapsa (s.f.)

El micro inversor está conectado a uno o hasta unos pocos módulos PV. Estos inversores no son clasificados por más que algunos cientos de vatios, mientras que su voltaje de entrada no suele ser superior a unas decenas de voltios. La salida AC es monofásico. Debido a la baja entrada de voltaje DC, estos inversores son interesantes debido a su seguridad y pueden ser utilizados por pequeños, medianos o incluso grandes campos fotovoltaicos.

Todo tipo de inversores tienen en común la búsqueda del punto de operación de capacidad máxima (MPPT-punto de energía máximo que sigue), una eficiencia de conversión de DC a AC de sobre 95% y desconexión automática si no se detectan voltaje AC de la red (estándar VDE01261-1), para evitar la electrocución de los trabajadores en casos de mantenimiento de la red (Boileau, s.f.).

Principio de funcionamiento de un inversor PV.

El propósito del inversor es convertir la salida eléctrica generada por el campo de PV para una salida de CA compatible con la red. Para ello, el sistema MPPT busca el punto de funcionamiento donde la potencia es máxima desde todos los puntos posibles de operación (voltaje de CC) en la salida del campo de PV.

Entonces, un segundo sistema electrónico, el convertidor, convierte la tensión DC en AC, compatible en términos de magnitud y fase con la de la red. La eficiencia del inversor depende de

qué tan bien pueden coincidir con el voltaje, frecuencia y fase de la red, como la porción de la energía inyectada a la red para la energía producida del campo PV determina las pérdidas eléctricas en el inversor.

La electrónica del inversor PV también debe tener en cuenta las normas de seguridad, como la desconexión de la red en caso de ausencia temporal del voltaje de CA o evitar la inserción de armónicos a la red que puede perturbar el funcionamiento de aparatos eléctricos sensibles. Parte de la retroalimentación del rendimiento de una instalación PV también puede estar seguro por el inversor, por grabación o un servidor de reenvío de la información del funcionamiento (Boileau, s.f.).

Rendimiento del panel.

Los paneles más empleados son los monocristalinos y los policristalinos. La eficiencia de un panel monocristalino está en torno al 16%, la eficiencia de un panel policristalino está en torno al 14% y la eficiencia de un panel amorfo es en torno al 8% (Viloria, 2013).

Sombras

Según Viloria (2013), en toda instalación de modulas hay que evitar las sombras y de forma especial cuando se instalan sobre soportes y estructuras estando uno continuo del otro, es decir, en filas paralelas. El que una parte del panel esté entre una sombra puede significar que se comporten como receptores y consumen energía del resto, en lugar de producirla. Por lo general, se admite que un máximo de 2% de la superficie total de la instalación pueda entrar en sombras (Viloria, 2013).

Actualmente, son considerados un atractivo por las empresas, ya que sirven para uso industrial o residencial, debido a que estas celdas fotovoltaicas cuentan con un 25% de eficiencia energética.

Conductores en DC y AC

Según el Código Eléctrico Nacional (NEC 2008), para conductores en corriente directa (DC), se encuentra el dimensionamiento de los conductores y dispositivos de protección contra sobre corriente, el cual dice en el artículo 690.8 (B)(1):

Los conductores del circuito y los dispositivos de protección contra sobre corriente deben dimensionarse de modo que conduzcan como mínimo 125 por ciento de la corriente máxima calculada según la sección 690.8 (A). Se permitirá que la corriente nominal o el ajuste de disparo de los dispositivos de protección contra sobre corriente cumplan lo establecido en las secciones 240.4 (B) y (C).

Ecuación 7. Corriente en un circuito DC

$$I_{\text{circuito DC}} = I_{\text{max panel}} * 1,25$$

En el NEC 2008 artículo 690.10 B, dimensionamiento y protección dice que:

Los conductores entre el circuito de la salida del inversor y el medio de desconexión del edificio o estructura deben estar dimensionados con base en el valor nominal de salida del inversor. Estos conductores deben de protegerse contra sobre corrientes de acuerdo con el artículo 240. Dicha protección debe ubicarse en la salida del inversor.

Sin embargo, no hay que olvidar el artículo 690.8 B1.

Ecuación 8. Corriente en un circuito AC

$$I_{\text{Circuito AC}} = I_{\text{max inversor}} * 1.25$$

En la tabla 310.16 de ampacidades permisibles con conductores aislados para tensiones nominales de 0 a 2000 volts y 60° C y 90° C (NEC 2008).

La energía eólica

Es la energía obtenida del viento. Esta energía renovable aprovecha la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire y que es transformada en otras formas útiles

para las actividades humanas. La energía eólica ha sido aprovechada desde la antigüedad para mover los barcos impulsados por velas o hacer funcionar la maquinaria de molinos al mover sus palas. Al funcionar mediante el viento, un recurso inagotable, se considera que la energía eólica es una energía renovable.

En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir energía eléctrica mediante aerogeneradores. Este tipo de energía se puede utilizar también en otras aplicaciones como, por ejemplo, para propulsar embarcaciones a vela.

La energía eólica es un recurso abundante, renovable, limpio y ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero reemplazando centrales termoeléctricas que funcionan con combustibles fósiles, lo que la convierte en un tipo de energía verde. Sin embargo, su principal inconveniente es su intermitencia.

La energía eólica depende de forma indirecta de la energía solar. Cuando el sol calienta el aire (es decir, gracias a la energía solar), este cambia de densidad. La diferencia de densidad entre diferentes masas de aire provoca el movimiento y las corrientes de aire. El aire más denso (frío) pesa más y tiende a bajar (Energía Solar, 2016).

Generadores eólicos

En general, hay cuatro escalas de aplicaciones de la energía eólica con fines de generación eléctrica, los cuales se detallan a continuación:

Sistemas eólicos en gran escala conectados a la red eléctrica, también denominados parques eólicos, con potencias superiores a 1 MW.

Sistemas medianos utilizados para abastecer pequeños poblados que requieren sistemas de respaldo por medio de generadores de diésel, con potencias superiores a 100 kW e inferiores a 1 MW.

Sistemas pequeños utilizados para abastecer a pequeñas comunidades. Constan de una turbina eólica, un generador de diésel de respaldo y un banco de baterías, con potencias superiores a 1 kW e inferiores a 100 kW.

Sistemas individuales por vivienda, que constan básicamente de una turbina eólica y baterías para el almacenamiento de energía. Potencias inferiores a 1kW. Las turbinas eólicas cada año cuestan menos por unidad de energía instalada. La unidad de energía eólica de sistemas de gran escala en lugares con vientos adecuados puede ser más barata que el recurso energético hídrico. Por otro lado, estos sistemas, en cualquier escala, permiten tener acceso a la energía en distintos lugares; hay años de sequía, pero no hay años sin viento.

La potencia del viento.

Las palas de la turbina frenan el viento al capturar su energía cinética convirtiéndola en mecánica, por lo tanto, el viento se moverá más lentamente a la salida del rotor. Dado que la cantidad de aire que pasa por la turbina es igual a la entrada y a la salida, el aire ocupará una mayor sección transversal a la salida, tal como se visualiza en la figura 13.

Este efecto en la turbina eólica se conoce como tubo de corriente; esta muestra cómo el área por la que pasa el viento va creciendo a la salida de la turbina, por tanto, para mantener el caudal, el aire disminuye su velocidad.

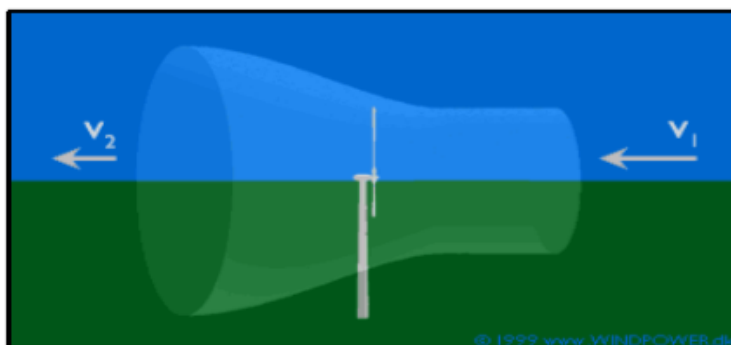


Figura 13. Flujo de viento a través de turbina eólica. Fuente: Motiva (s.f.).

La potencia que contiene el viento es proporcional al cubo de la velocidad y se calcula con la siguiente expresión:

Ecuación 9. Potencia del viento

$$P_{\text{viento}} = 1/2 * \rho * S * v^3$$

ρ : Densidad del viento

S : Superficie

La cantidad de energía que posee el viento varía con la tercera potencia de su velocidad media.

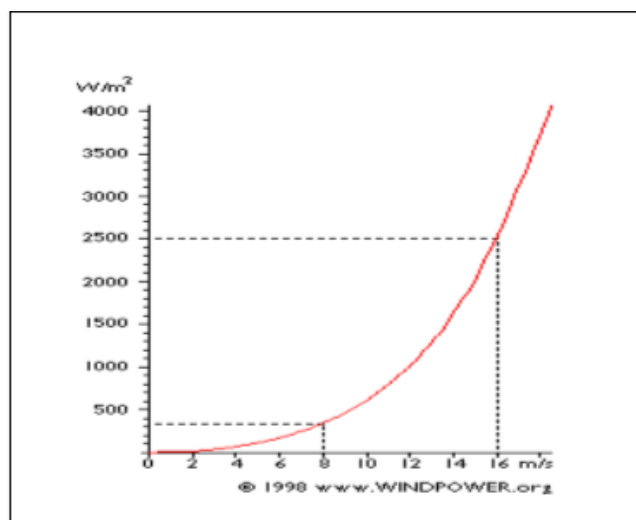


Figura 14. La potencia del viento

Si la velocidad del viento se duplica, la cantidad de energía que contenga será $2^3 = 8$ veces mayor.

La figura 14 muestra que, con una velocidad del viento de 8 metros por segundo, se obtiene una potencia (cantidad de energía por segundo) de 314 W por cada metro cuadrado expuesto al viento (viento que incide perpendicularmente en el área barrida por el rotor). A 16 m/s se obtendrá una potencia ocho veces mayor, esto es de 2.509 W/m².

Curva de potencia de un aerogenerador

Esta curva indica cuál es la potencia eléctrica que producirá un aerogenerador a diferentes velocidades de viento. Observe el ejemplo de la figura 15.

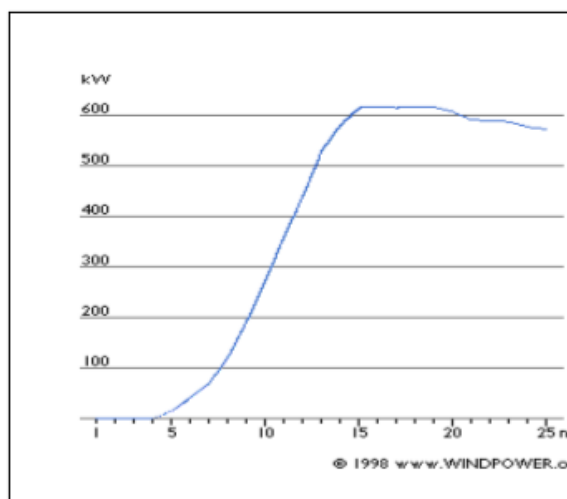


Figura 15. Ejemplo de curva de potencia de un aerogenerador

Las curvas de potencia se obtienen a partir de medidas realizadas en campo, donde se sitúa un anemómetro sobre un mástil relativamente cerca del aerogenerador (no sobre el mismo aerogenerador ni demasiado cerca de él, pues el rotor del aerogenerador puede crear turbulencia y hacer que la medida de la velocidad del viento sea poco fiable).

En realidad, en el gráfico puede verse una nube de puntos esparcidos alrededor de la línea azul y no una curva bien definida. El motivo es que en la práctica la velocidad del viento siempre fluctúa y no se puede medir exactamente la columna de viento que pasa a través del rotor del aerogenerador. Así, pues, en la práctica se debe tomar un promedio de las diferentes medidas para cada velocidad del viento y elaborar el gráfico con esos promedios.

Aerogeneradores en microrredes.

Existen diferentes tipos de aerogeneradores, entre los principales están los de eje horizontal y los de eje vertical; tal como se muestra en la figura 16.

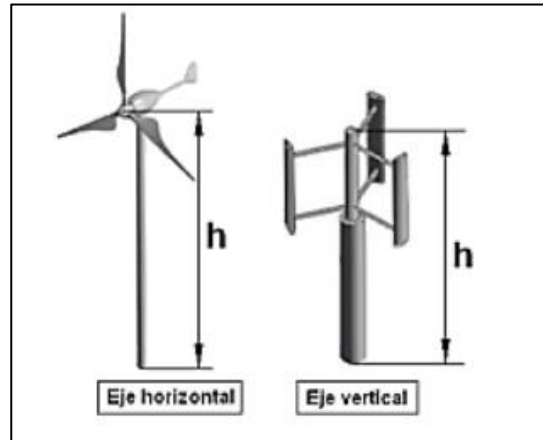


Figura 16. Aerogenerador de eje horizontal y eje vertical.

Los aerogeneradores de eje horizontal tienen el eje de rotación paralelo a la dirección del viento. De acuerdo con la velocidad de giro, estos se pueden dividir en aerogeneradores lentos, rápidos y de velocidad intermedia.

Los aerogeneradores de eje vertical tienen su eje de rotación perpendicular a la dirección del viento; pueden ser del tipo sanovius o darrieus. En cuanto a los aerogeneradores utilizados en mini eólica, cuyas potencias van desde los 50W hasta 1.000W, se recalcan los de tipo síncrono de imanes permanentes, con los imanes ubicados en rotor. A menudo tienen un número de polos elevado para tener velocidades nominales más bajas.

En las aplicaciones de aerogeneradores mini eólicos está el uso en zonas aisladas, instalaciones con gran consumo e incluso conexión a la red.

El regulador en sistemas eólicos.

La función del regulador en los sistemas eólicos es transformar la energía generada de corriente alterna a corriente continua. En instalaciones aisladas con batería conectadas al bus de

continua, controla el estado de la batería evitando sobrecargas de la misma y controlando el funcionamiento del aerogenerador.

El regulador también tiene como función controlar la energía suministrada de tal manera que no existan sobrecargas, protegiendo al acumulador y a la instalación. Algunos conceptos que hay que tener presente en el manejo de reguladores son los siguientes:

- La tensión nominal: es la tensión nominal del sistema, algunos modelos de reguladores se seleccionan manual o automáticamente.
- La intensidad nominal: es la intensidad nominal procedente de la instalación.
- La tensión corte de sobrecarga: es el máximo voltaje que el regulador permite que alcance la batería.
- La tensión de rearme de carga: es el valor de voltaje al que se reconecta el sistema para cargar la batería.
- La tensión corte de sobre descarga: es el valor mínimo de voltaje antes de desconectar el consumo.
- La tensión de rearme de descarga: es el valor de voltaje que reconecta el consumo a la batería.

Paneles solares y aerogeneradores (sistema híbrido)

Son los encargados de transformar la energía del sol y del viento en energía eléctrica. La orientación ideal de los paneles es hacia el sur geográfico y con una inclinación equivalente a la latitud del lugar en donde se vaya a realizar la instalación.

Ventajas de los sistemas híbridos.

La principal ventaja de un sistema híbrido es la posibilidad del aprovechamiento conjunto y optimizado de los recursos locales disponibles, en el que se pueden garantizar altos niveles de calidad, confiabilidad y rendimiento. Con reducción de costos en la instalación y operación del

sistema, los sistemas híbridos representan actualmente una solución viable para las exigencias de energía eléctrica en áreas aisladas o no electrificadas.

En el pasado, de hecho, se utilizaban solo generadores de diésel, que en la modalidad operativa de baja carga muestran una eficiencia reducida en el funcionamiento, altos costos de mantenimiento y un breve tiempo de vida de la instalación.

Los sistemas híbridos permiten reducir esos problemas y aprovechar los recursos renovables existentes en el territorio, lo que constituye una opción viable y favorable ambiental y socialmente.

Baterías

La batería eléctrica es un dispositivo que consta de una o más celdas electroquímicas que tienen la capacidad de convertir la energía química almacenada, en electricidad. A su vez, cada celda tiene un cátodo o electrodo positivo y un ánodo o electrodo negativo, además, posee electrolitos que facilitan el movimiento de los iones entre los electrodos facilitando que fluya la corriente eléctrica.

En una microrred la función principal de las baterías es almacenar energía cuando haya excedentes a coste cero y utilizarla cuando las fuentes renovables cuyo combustible primario no tiene coste no generen lo suficiente para cubrir la demanda. Las diferencias en las tecnologías de fabricación de baterías definen el coste, la capacidad de almacenamiento de carga, su vida útil y tamaño.

Básicamente se diferencian dos tipos de baterías: las baterías primarias tienen la energía almacenada en reactivos químicos y se libera al conectarla a una carga en un solo ciclo; las baterías secundarias son aquellas donde las reacciones químicas que participan en la conversión de energía son reversibles permitiendo la acumulación y descarga de electricidad.

Las baterías utilizadas en microrredes son llamadas secundarias, ya que permiten recargarse a partir de energía eléctrica revirtiendo el proceso electroquímico.

La tecnología de plomo ácido es la más madura, sus desventajas son la limitación en el número de ciclos de carga y descarga, la contaminación debido al electrolito y la baja densidad de

energía que se traduce en peso y tamaño, por lo que no son recomendables para sistemas que requieren movilidad o portabilidad. El costo de esta tecnología es bajo y su eficiencia es cercana al 75%; es importante tener en cuenta las siguientes especificaciones técnicas en el manejo y operación de las baterías.

La **tensión nominal** es el voltaje por elemento de la batería, en el caso de las baterías de plomo ácido tienen 2 V/vaso.

La **capacidad de descarga** es la cantidad total de carga en amperios hora (Ah) que puede suministrar la batería durante un tiempo tN , desde plena carga hasta alcanzar la tensión de corte Vd (1,8 V/vaso para plomo-acido). Dicha capacidad depende de la corriente de descarga y de la temperatura.

La **capacidad nominal** es la cantidad de carga que puede extraerse en 20 horas, a una temperatura de 20°C, hasta que la tensión entre terminales llegue a 1,8 V/vaso.

El **régimen de descarga o carga** es la relación entre la capacidad nominal de la batería y el valor de la corriente a la que se realiza la descarga o carga. Con altas corrientes de descarga, la capacidad de la batería es menor, ya que las transformaciones internas son más superficiales.

La **vida de la batería** se define como el número de ciclos que soporta la batería conservando una capacidad residual por encima del 80% de la capacidad nominal. El tiempo de vida disminuye cuando aumenta la profundidad de las descargas (DOD) y cuando aumenta la temperatura de trabajo. El nivel de descarga (DOD) viene definido por el porcentaje de descarga de la batería.

CÓMO ES EL MANTENIMIENTO DE PLACAS SOLARES

El **mantenimiento de placas solares** no es excesivamente complicado, aunque es indispensable para asegurar la mayor vida útil posible a los paneles, unos 30 años. El mantenimiento depende de diversos factores como la complejidad de la instalación o la climatología de la localización donde su ubica. Eso sí, en cierto modo también se puede hablar de una serie de normas de mantenimiento que podrían ser aplicadas a todas las **placas solares**:

En primer lugar, los paneles deben estar totalmente limpios para poder absorber la mayor cantidad de energía posible. Se calcula que un panel solar sucio o rallado puede producir entre un 15% y un 30% menos de energía. Para **limpiar los paneles** basta con aplicar agua y jabón en la superficie y frotar sin excesiva fuerza. No hay que limpiarlo nunca en seco puesto que puede tener arenas u otros cuerpos extraños que produzcan desperfectos en el panel. También se pueden limpiar con un cepillo de cerdas suaves.

- Hacer revisiones del **depósito de acumulación**, pues contiene partes esenciales para la captación y transformación de energía. Deberías hacerle una revisión una vez al año.
- También es importante que las **gomas aislantes** se encuentren en perfecto estado.
- Revisión de **daños estructurales**, como grietas, roturas, fugas, desperfectos provocados por temporales...

CUÁNTO CUESTA EL MANTENIMIENTO DE PLACAS SOLARES

El mantenimiento de placas solares depende de factores como el tamaño, la localización o la calidad de la instalación.

Lo que sí es seguro es que un correcto mantenimiento de los paneles solares repercute en un menor coste a medio y largo plazo. Por ejemplo, **limpiar y revisar los paneles** semanalmente asegura su buen funcionamiento y puede evitar que se tenga que gastar 7.000 euros en un panel nuevo.

El precio también depende de quién realice el mantenimiento. Si lo hace usted mismo, costará lo que cuesten los materiales necesarios. Si se contrata a otros **profesionales**, se pagará también la mano de obra.

El correcto mantenimiento de las placas solares permite ahorrar a medio plazo. De hecho, la mayor parte del desembolso se hace para poner en marcha la instalación. Una vez hecho esto, la inversión se recupera en un tiempo que oscila entre los **7 y los 15 años**. (Fernando, 2015)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Enfoque de la investigación

El presente trabajo tendrá un enfoque cualitativo, ya que cuenta con una modalidad de investigación proyectiva, esto según Hurtado (2000) indica:

La investigación proyectiva consiste en la elaboración de una propuesta o de un modelo como solución a un problema o una necesidad de tipo práctico ya sea de un grupo social o una institución en un área particular del conocimiento a partir de un diagnóstico preciso de las necesidades del momento, los procesos explicativos o generadores involucrados y las tendencias futuras. (p. 325)

La investigación comprende un diagnóstico del sistema de generación de energía que actualmente está utilizando el Parque Nacional, el cual permitió la propuesta de diseño de microrredes con energías renovables.

Método de la investigación

Para la elaboración de dicho diagnóstico, se recurrió a información que se obtuvo mediante la compañía que implementó el sistema que actualmente está generando electricidad en el Parque Nacional.

Fuentes de información

En la elaboración de este proyecto se utilizaron mayormente las fuentes primarias, Buonacore (1980) las define como: “Las que contienen información original no abreviada ni traducida: tesis, libros, nomografías, artículos de revista, manuscritos. Se les llama también fuentes de información de primera mano...” (p. 229). Incluye la producción documental electrónica de calidad.

Procesos para la recolección y análisis de datos

Las técnicas de procesamiento y análisis de datos se darán a partir de la recolección de datos por medio de planos, datos de mercado, etc. Mediante investigación en diferentes instituciones del

Estado, se hará la recolección de datos y para determinar el lugar donde se podrá instalar la microrred en caso de que esta requiera ser instalada.

Respecto al procedimiento metodológico, la investigación se desarrollará en cuatro etapas, con las cuales se busca el cumplimiento de los objetivos planteados, que corresponden a la puesta en operación de actividades, haciendo uso de distintas herramientas.

Etapas I: Planteamiento del problema

En esta etapa se expusieron: el problema, los objetivos, el alcance y las limitaciones de la investigación.

Etapas II: Investigación

Se hizo una búsqueda de información sobre sistemas fotovoltaicos y sistemas con aerogeneradores, para determinar la energía que requieren las instalaciones del albergue Base Crestones. Además, se estudió la normativa legal vigente en el país sobre generación de energía.

Etapas III. Desarrollo

Se plantearon los dos posibles diseños por escoger, dependiendo de su funcionalidad técnica y económica. Se estimó el consumo eléctrico de las instalaciones del albergue de manera investigativa, con el fin de obtener los datos necesarios para escoger el sistema renovable más apto y realizar el análisis financiero de rentabilidad.

Etapas IV: Conclusión

Al finalizar todas las etapas, se procedió a emitir las conclusiones del trabajo y a efectuar las correspondientes recomendaciones.

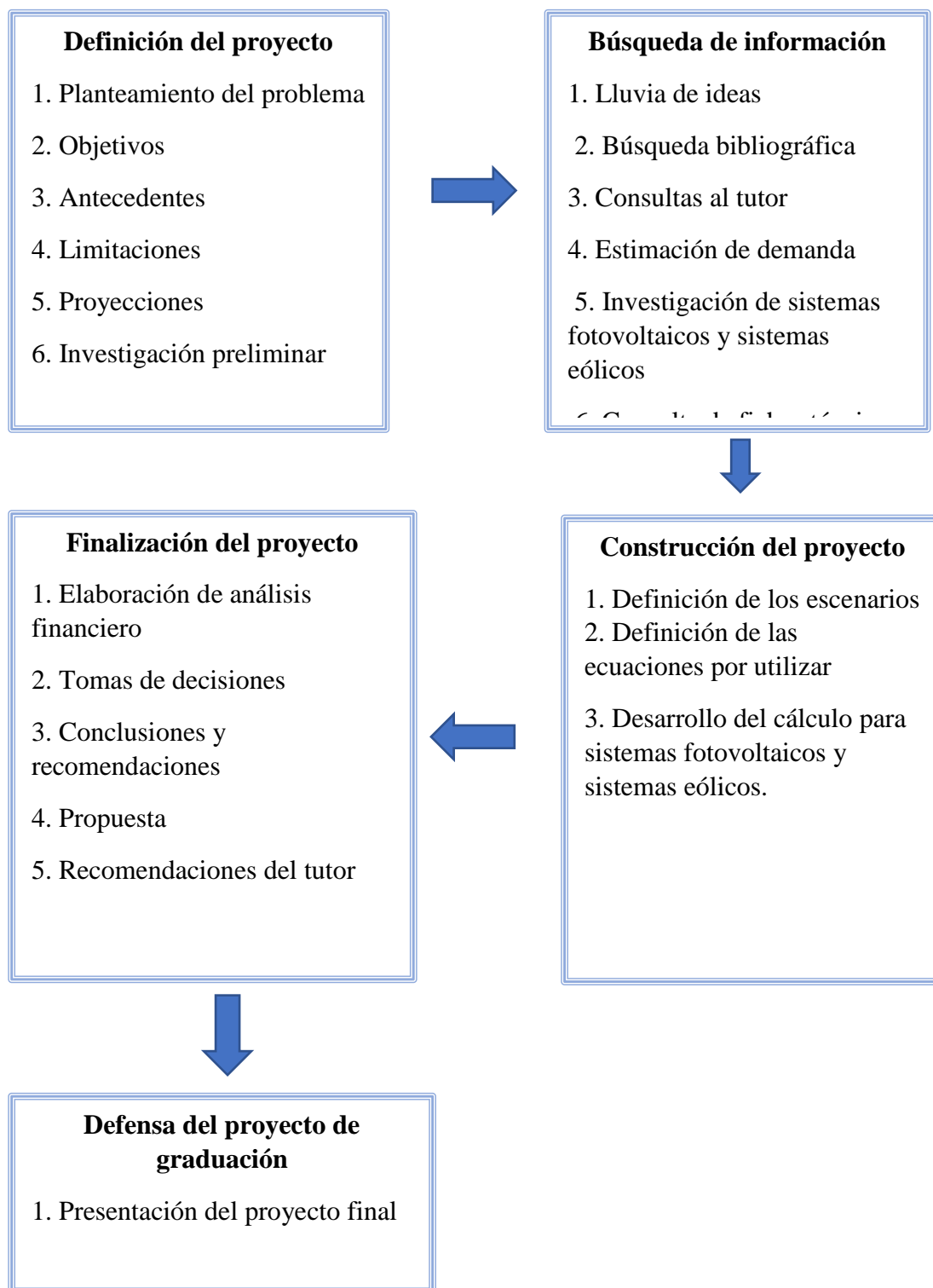


Figura 17. Diagrama de flujo del marco metodológico (Fuente propia)

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE DATOS

Diagnóstico

El objeto del presente trabajo es realizar el diseño de una microrred eléctrica aislada basada en renovables, para suministrar electricidad en el Parque Nacional Chirripó; por lo que primero se define el sitio de emplazamiento. El lugar donde se desarrollará el diseño del presente trabajo es en los albergues de Base Crestones; el cual se encuentra a una altura de 3440 m.s.n.m.

Las coordenadas del sitio de emplazamiento se visualizan en la tabla 1 y figura 18 respectivamente:

Tabla 1. Coordenadas del sitio. Fuente (IMN)

Coordenadas	
Latitud norte	09° 27 ' 30 ''
Longitud oeste	83° 30 ' 30 ''

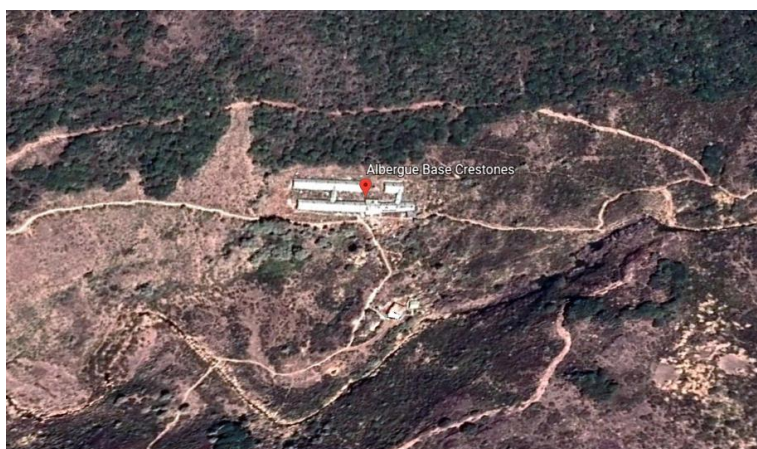


Figura 18. Ubicación geográfica del sitio. Fuente: Google Earth (2019).

Diseño de la microrred

Para diseñar la microrred se implementará energía renovable con un sistema fotovoltaico como solución y un sistema mixto, fotovoltaico y eólico como opción de respaldo, ambos sistemas aislados de la red por las condiciones del Parque Nacional, con esto se busca cubrir la carga

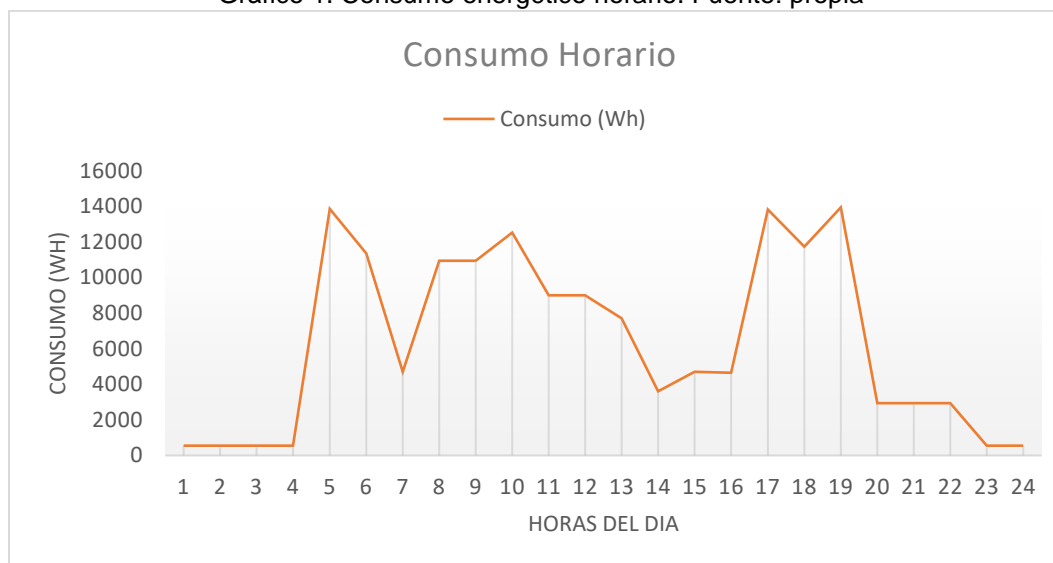
demandada del lugar al 100%, aun cuando los sistemas se encuentren en su estado crítico y este se encuentre funcionando con el banco de baterías por utilizar en el diseño.

Consumo aproximado diario actual

Tabla 2. Consumo energético diario. Fuente: propia

Horas del día	Consumo (Wh)
1	551
2	551
3	551
4	551
5	13851
6	11351
7	4709
8	10949
9	10949
10	12519
11	9009
12	9009
13	7699
14	3599
15	4699
16	4651
17	13821
18	11741
19	13941
20	2941
21	2941
22	2941
23	551
24	551

Gráfico 1. Consumo energético horario. Fuente: propia



En el gráfico 1 se logra ver el consumo horario. El promedio diario de consumo es 6443 Wh/día y las horas con mayor cantidad de energía consumida van en periodos de las 5 a 7 de la mañana y luego desde las 4 de la tarde a las 8 de la noche.

Consumo aproximado diario de los nuevos requerimientos

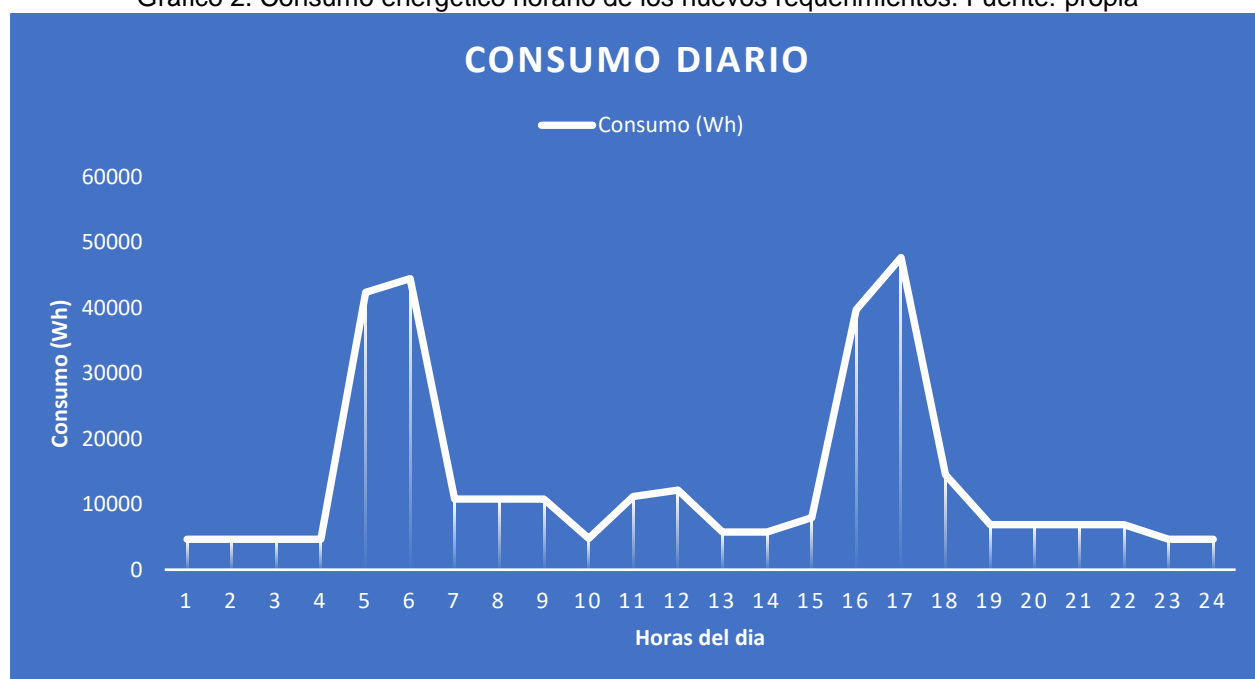
A continuación, se presenta una tabla con los nuevos requerimientos, estos datos fueron proporcionados por el ICE, en el que se proponen más dispositivos para los albergues, estos consumos se pueden observar con más detalle en el apéndice 2, más adelante se hará una tabla con todos los consumos proporcionados.

Tabla 3. Consumo horario energético nuevos requerimientos. Fuente: propia

Horas del día	Consumo (Wh)
1	4652
2	4652
3	4652
4	4652
5	42372
6	44500
7	10800
8	10800
9	10800

10	4800
11	11200
12	12160
13	5760
14	5760
15	7960
16	39760
17	47710
18	14502
19	6902
20	6902
21	6902
22	6902
23	4652
24	4652

Gráfico 2. Consumo energético horario de los nuevos requerimientos. Fuente: propia



En el gráfico 2 se logra ver el consumo horario. El promedio diario de consumo es 135616.83 Wh/día y las horas con mayor cantidad de energía consumida van en periodos de las 5 a 7 de la mañana y luego desde las 4 hasta las 6 de la tarde.

Estimación de consumo diario de los nuevos complejos.

En el proceso de investigación, con información otorgada por el SINAC, se obtuvo que como proyecto a futuro se realizara una ampliación de dos complejos más en el albergue, esta se puede observar en el apéndice 4. Con la información obtenida en cuanto a las nuevas ampliaciones se estimaron cargas que se pueden encontrar comúnmente y siguiendo las mismas relaciones de uso de las tablas anteriores, esto se puede observar en el apéndice 3, para lograr tener un consumo aproximado de dichos complejos, estos se presentan a continuación:

Tabla 4. Consumo energético diario de los nuevos complejos. Fuente: propia

Horas del día	Consumo (Wh)
1	1800
2	1800
3	1800
4	1800
5	2302
6	6702
7	6200
8	1800
9	1800
10	1800
11	1800
12	2310
13	2110
14	2110
15	2110
16	6710
17	7412
18	2812
19	2812
20	2812
21	2812
22	2812
23	1800
24	1800

Gráfico 3. Consumo energético horario de los nuevos complejos. Fuente: propia



Las estimaciones se hicieron suponiendo la cantidad y tipos de equipos que se pueden encontrar en los complejos, como televisores, equipos de cocina, entre otros; obteniendo así, un consumo promedio diario de 2917.75 Wh/día.

Estimación de consumo total de los consumos anteriores.

Una vez teniendo el consumo del complejo, con los consumos actuales (O), nuevos requerimientos (NR) y las ampliaciones (NC), se procede a hacer el cálculo con los consumos teniendo de resultado un consumo total de 549,056 kWh/día

Tabla 5. Consumo total energético horario. Fuente: propia

Horas del día	Consumo (Wh)			Consumo Total (Wh)
	O	NR	NC	
1	551	4652	1800	7004
2	551	4652	1800	7005
3	551	4652	1800	7006
4	551	4652	1800	7007
5	13851	42372	2302	58530
6	11351	44500	6702	62559
7	4709	10800	6200	21716
8	10949	10800	1800	23557
9	10949	10800	1800	23558
10	12519	4800	1800	19129
11	9009	11200	1800	22020
12	9009	12160	2310	23491
13	7699	5760	2110	15582
14	3599	5760	2110	11483
15	4699	7960	2110	14784
16	4651	39760	6710	51137
17	13821	47710	7412	68960
18	11741	14502	2812	29073
19	13941	6902	2812	23674
20	2941	6902	2812	12675
21	2941	6902	2812	12676
22	2941	6902	2812	12677
23	551	4652	1800	7026
24	551	4652	1800	7027
kWh/día	154,626	324,404	70,026	549,056
kWh/mes	4638,78	9732,12	2100,78	16471,68
kWh/año	55665,36	116785,44	25209,36	197660,16

Gráfico 4. Consumo total energético horario. Fuente: propia



En el gráfico 2 se logra ver el consumo horario. El promedio diario de consumo es 135616.83 Wh/día y las horas con mayor cantidad de energía consumida van en periodos de las 5 a 7 de la mañana y luego desde las 4 hasta las 6 de la tarde.

Fuentes de energía.

Es necesario conocer cuáles son las condiciones del viento y la radiación solar en el Parque Nacional. Es importante conocer datos estadísticos para identificar si realmente ahí existen condiciones apropiadas para la instalación del sistema.

Condición de la radiación solar

La información anterior fue recopilada por el Instituto Meteorológico Nacional ubicado en el barrio Aranjuez. Estos datos se tomarán de las condiciones en cuanto a radiación para el dimensionamiento del sistema.

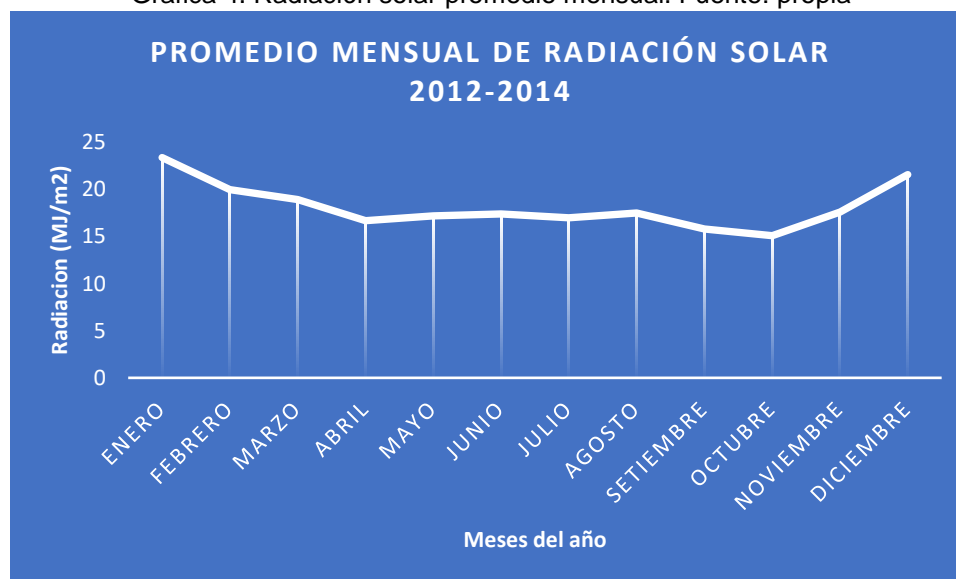
Tabla 6. Promedios de radiación solar. Fuente: (IMN)

Radiación Solar en Parque Nacional Chirripó, periodo del 2012 al 2014		
Mes	Radiación (MJ/m ²)	Horas solar pico (HSP)
ENERO	23,4	6,5
FEBRERO	20	5,56
MARZO	18,95	5,26
ABRIL	16,7	4,64
MAYO	17,2	4,76
JUNIO	17,4	4,83
JULIO	17	4,71
AGOSTO	17,5	4,85
SETIEMBRE	15,8	4,38
OCTUBRE	15,1	4,19
NOVIEMBRE	17,6	4,88
DICIEMBRE	21,6	5,99
PROMEDIO ANUAL	18,16	5,05

Con la ecuación 1 presente en el marco teórico, se calcularon las horas pico sol de cada mes, esto para los cálculos del número de paneles que ocupará el sistema. Para dar un ejemplo de este cálculo, se tomará el mes de enero que tiene mayor radiación

$$23,4MJ/m^2 \times \frac{1HPS}{3,6MJ/m^2} = 6,5 HPS$$

Grafica 4. Radiación solar promedio mensual. Fuente: propia



Según la gráfica 4 del promedio de radiación solar para los años 2012, 2013 y 2014 expresadas de enero hasta el mes de diciembre, se observa con mayor claridad que el mes del índice más alto es el mes de enero, donde llega a un $23,4 MJ/m^2$ y los niveles más bajos se presentan en los meses de septiembre y octubre.

El estudio del sistema fotovoltaico se realizará con el promedio anual de radiación solar, para que los módulos entreguen un promedio de energía en los meses con menores y mayores horas pico de sol.

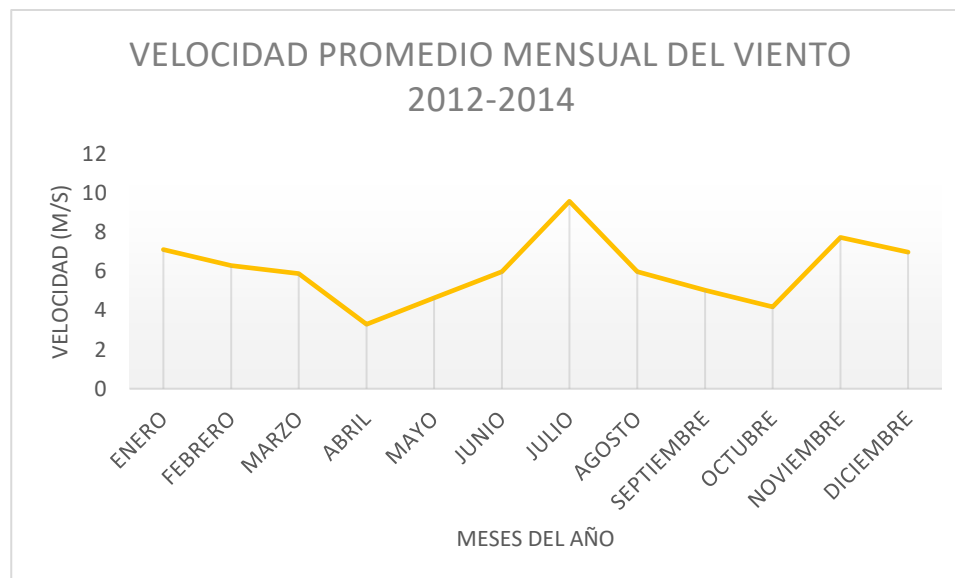
Condición de la velocidad del viento.

Respecto a la velocidad del viento, se tomará el promedio de las lecturas de cada mes del año para realizar la estimación mensual de energía generada.

Tabla 7. Velocidad media del viento. Fuente: (IMN)

Velocidad media del viento en Parque Nacional Chirripó, periodo de 2012 al 2014	
Mes	Velocidad media (m/s)
ENERO	7,13
FEBRERO	6,3
MARZO	5,9
ABRIL	3,3
MAYO	4,65
JUNIO	6
JULIO	9,6
AGOSTO	6
SETIEMBRE	5,05
OCTUBRE	4,2
NOVIEMBRE	7,75
DICIEMBRE	7,7
PROMEDIO ANUAL	6,12

Gráfico 5. Velocidad promedio mensual del viento. Fuente: propia



Al igual que en el promedio de la radiación, mediante la gráfica 5, se logra observar que el mes en el cual se puede aprovechar más la velocidad del viento es el mes de julio; por otra parte, durante el mes de abril se tendrá la menor velocidad aprovechable.

Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Una vez identificados los parámetros como el pico de demanda máxima y el consumo de energía máximo diario, se procede a analizar los datos solares para realizar el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, el cual es el que cubrirá toda la demanda.

Cantidad de paneles solares

Esta cantidad de paneles solares por calcular se realiza como guía para observar el cálculo teórico de los mismos, ya que no se tomará en cuenta el espacio requerido que vayan a abarcar la cantidad de paneles solares resultantes.

Antes de este cálculo, se debe definir la marca del fabricante para obtener los datos técnicos de los paneles fotovoltaicos, ya que se tienen que usar para la estimación del número de paneles solares. Los paneles por utilizar son de la marca Jinko Solar, modelo JKM330P-60, la información técnica de este equipo se encuentra adjunta en la sección de apéndices de este documento, específicamente en el apéndice 5. Estas fichas son facilitadas por la empresa con la cual se realiza

el estudio. El modelo se utiliza, ya que es el panel de mayor potencia con la que trabaja la empresa con la cual se está realizando el estudio.

Cabe destacar que la potencia por cubrir son KWh/día. Entonces, como se observa en el gráfico 3, en el cual se encuentra el consumo total diario, se obtiene que este es de 549,056 kWh/día, para un total anual de 197 660.16 kWh/año.

El siguiente es el cálculo de paneles, en el que se utiliza una de las ecuaciones especificadas en el marco teórico, la cual es la siguiente:

$$NP = \frac{\left(\frac{E}{RSN}\right) * 1000}{Wp}$$

Donde:

Np: es el número de paneles solares necesarios.

E: es el consumo energético real anual (kWh/año).

Wp: es la potencia pico del panel (Wp).

RSN: es la radiación solar neta (kWh/m²/año).

Fuente: (ReFeel Costa Rica S.A., 2016)

$$NP = \frac{\left(\frac{197660.16 \text{ kWh/año}}{1841 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2/\text{año}}}\right) * 1000}{330 \text{ W}}$$

$$NP = 325 \text{ paneles}$$

La potencia instalada en módulos fotovoltaicos alcanza un valor de 107.25 kW.

Cálculo de conexión de los paneles

Conexión en serie.

$$NPs = \frac{V_{BAT}}{V_{MOD,MPP}}$$

$$NPs = \frac{48V}{37.8V} = 1.26 \approx 1$$

Conexión en paralelo

$$NPp = \frac{NP_T}{NPs}$$

$$NPs = \frac{325}{2} = 325$$

Ángulo de inclinación

Si la instalación de los módulos se hace de manera fija, se admitirán desviaciones hasta de 10° respecto a la latitud, como se menciona en la sección de investigación teórica del marco referencial.

$$Im = /\Phi/ + 10^\circ$$

Donde:

Im: es la inclinación máxima en grados

Φ : es la latitud del lugar de la instalación.

$$Im = /9^\circ/ + 10^\circ = 19^\circ \approx 20^\circ$$

El sol varía su ubicación según la estación del año, por esta razón, no siempre los módulos recibirán la misma radiación por su orientación. La inclinación óptima, como se mostró anteriormente, es de 20° hacia el sur, debido a que Costa Rica se ubica en el hemisferio norte y es donde se contempla el sol hacia el sur durante más días al año.

Selección del inversor off-grid

La selección del inversor se realizará mediante un promedio del consumo total horario al día de las instalaciones. En la tabla 5, se logra observar los consumos horarios totales de cada uno de los consumos que se calcularon, con esto se obtiene un promedio de consumo diario de 22,89 kWh/día, dado esto se seleccionan 3 inversores de 8000 W MPPT cada uno.

Conductores y protecciones contra sobre tensión

En este procedimiento se calcularán los conductores y la protección contra la sobretensión de los circuitos en DC y AC. Para los conductores y protecciones de contra sobre tensión, se empleará el Código Eléctrico Nacional (NEC) (2008).

Como se manejan los paneles fotovoltaicos en serie, la corriente máxima será igual en todo el circuito, por ende, la corriente de un solo panel será igual en el resto del circuito. Para el módulo que se utilizará de 330W, la corriente máxima es de 8.74 A.

En el NEC 2008 se encuentra el dimensionamiento de los conductores y dispositivos de protección contra sobre corriente, el cual dice en el artículo 690.8 (B)(1):

Los conductores del circuito y los dispositivos de protección contra sobre corriente deben dimensionarse de modo que conduzcan como mínimo 125 por ciento de la corriente máxima calculada según la sección 690.8 (A). Se permitirá que la corriente nominal o el ajuste de disparo de los dispositivos de protección contra sobre corriente cumplan lo establecido en las secciones 240.4 (B) y (C).

$$I_{\text{circuito DC}} = I_{\text{max panel}} * 1,25$$

$$I_{\text{circuito DC}} = 8,74 \text{ A} * 1,25 = 10,93 \text{ A}$$

Según el NEC 2008 en la tabla 310.16, el calibre por utilizar es de 12 AWG THHN COBRE, porque soporta una ampacidad de 25 A.

Conductor en corriente alterna AC

En el NEC 2008 artículo 690.10 B, dimensionamiento y protección dice que:

Los conductores entre el circuito de la salida del inversor y el medio de desconexión del edificio o estructura deben estar dimensionados con base en el valor nominal de salida del inversor. Estos conductores deben de protegerse contra sobre corrientes de acuerdo con el artículo 240. Dicha protección debe ubicarse en la salida del inversor.

Sin embargo, no hay que olvidar el artículo 690.8 B1.

$$I \text{ Circuito AC} = I_{\text{max inversor}} * 1.25$$

$$I \text{ Circuito AC} = 34.78 \text{ A} * 1.25 = 43.47 \text{ A}$$

Con el NEC 2008 en su apartado de tabla 310.16, se escoge el calibre para los inversores, para este caso el inversor de 8000 W, se elige 6 AWG THHN COBRE, ya que este soporta 55 Amperes.

Protecciones de sobre tensión DC

Para la protección en DC se utiliza el artículo 240.6 A, de fusibles e interruptores automáticos de disparo fijo, por tanto, se fija en un fusible de 15 A.

Protecciones sobre tensión AC

Para la protección en AC se utiliza el artículo 240.6 A, de fusibles e interruptores autónomos de disparo fijo, por tanto, se fija en un fusible de 60 A.

Selección de las baterías

Para el cálculo del banco de baterías se consideran diferentes factores como:

- *Ed*: energía demandada en el día de mayor consumo: 549,056 kWh/día.

- *Da*: días de autonomía: 1.
- *DOD*: profundidad de descarga: 50%
- *Vb*: tensión de la bancada: 48 Vdc.
- *VB*: tensión de la batería: 2 Vdc.
- *Ah*: capacidad de la batería: 3500 Ah.

La batería escogida es serie STA (OPzS) de la marca FAAM que presenta las características mostradas anteriormente. Con las baterías seleccionadas y las especificaciones técnicas necesarias, se procede a realizar el cálculo del número de elementos.

$$\text{Capacidad total de almacenamiento (CA)} = Ed / Vb$$

$$\text{Capacidad total de almacenamiento} = 549,15 \text{ kWh/día} / 48 \text{ V} = 11440,63 \text{ Ah}$$

Con la capacidad de almacenamiento se procede a calcular el número de bancos de batería.

Número de bancos de baterías.

$$\text{Número de bancos} = CA / Ah = 3,27 \approx 4 \text{ bancos}$$

$$\text{Número de bancos} = 11440,63 \text{ Ah} / 3500 \text{ Ah} = 3,27 \approx 4 \text{ bancos}$$

Así mismo, teniendo el número de bancos de baterías, se procede al cálculo de número de baterías

$$\text{Número de baterías} = Nb / BB = 3,27 \approx 4 \text{ bancos}$$

$$\text{Número de baterías} = 4 \text{ bancos} * 24 \text{ baterías por banco} = 96 \text{ baterías}$$

Por último, se realiza el cálculo de los cargadores.

$$\text{Cantidad de cargadores} = \frac{CA}{\frac{A_{cargador}}{\text{Horas efecto carga}}}$$

$$\text{Cantidad de cargadores} = 11440,63 \text{ Ah} / 30 \text{ A(cargador)} = 381,35 / 7 = 54 \text{ cargadores}$$

(ReFeel Costa Rica S.A., 2016)

Dimensionamiento del sistema eólico.

Selección de la turbina eólica

En este apartado, se determinó el aerogenerador que se utilizará para efectos de este estudio. A continuación, se presenta un cuadro de una turbina eólica de eje horizontal modelo Wind plus 25.3+. Estos datos técnicos provienen de los fabricantes de las turbinas eólicas antes mencionadas. Las fichas técnicas de ambos aerogeneradores se pueden observar en la sección de apéndices.

Tabla 8. Características del aerogenerador Wind Plus 25.3 +. Fuente: Bornay Energies

Artículo	Wind Plus 25.3+ (Eje Horizontal)
Potencia Nominal	5000 W
Velocidad de arranque	3 m/s
Velocidad para potencia nominal	12 m/s
Rango de funcionamiento	2-30 m/s
Máxima velocidad del viento	60 m/s
Características físicas	
Peso total del aerogenerador	165 kg
Altura total del aerogenerador	5,35 m
Características de producción anual a diferentes velocidades medias del viento	
2 m/s	500 kWh/año
4 m/s	5000 kWh/año
6 m/s	1000 kWh/año
8 m/s	19000 kWh/año
12 m/s	25000 kWh/año

Turbina eólica.

Es el encargado de atrapar la fuerza del viento. Para la selección de este elemento, se escoge la turbina de eje horizontal Wind plus de 5kw.

Generador.

El generador convierte la potencia mecánica proporcionada por la turbina en electricidad. Este elemento viene incorporado en la turbina Wind plus.

El voltaje producido por este generador tiene una amplitud y una frecuencia que depende de la velocidad de rotación de la turbina. Así, antes de ser conectada a la red de distribución de energía, esta potencia generada debe ser transformada primero para tener una amplitud fija y frecuencia compatible con la red.

Regulador

El elemento que se selecciona para esta función es el Regulador MPPT Wind + rectifica, controla y filtra la energía producida por el aerogenerador entregando energía apta para la carga, optimizando y generando el máximo de energía posible desde el Aerogenerador, gracias al seguimiento del punto de máxima eficiencia MPPT.

Potencia eléctrica esperada debido a las turbinas eólicas

Tabla 9. Datos de potencia producida según la curva de energía. Fuente: propia

Velocidad media del viento (m/s)	Energía producida anualmente (KWh/año)	Energía producida mensualmente (KWh/mes)
2	500	42
4	5000	417
6	1000	833
8	19000	1583
12	25000	2083

En la tabla 8 se detalla la energía estimada por el fabricante que puede llegar a producir una turbina eólica Wind plus de 5000W. Dicha tabla es obtenida de la curva de energía presente en las fichas técnicas del aerogenerador. En esta curva se puede apreciar la generación eléctrica anual para diferentes velocidades del viento, como se puede analizar en la tabla 9, el comportamiento de la generación eléctrica es directamente proporcional a la velocidad media del viento, según como se había estudiado en el marco teórico de este documento, se observa claramente que, a mayor velocidad de viento, la energía obtenida crece de manera exponencial. También se calcula la energía de entrega en periodos de meses, esto se da con la conversión de KWh/año a KWh/mes, para cada mes del año.

Con estos datos y la información obtenida en la tabla 7, se puede estimar la energía producida por los aerogeneradores, interpolando entre los valores superiores e inferiores de la energía producida con los datos de velocidades medias del viento para cada mes del año.

Tabla 10. Energía producida por el aerogenerador

Mes	Días	Velocidad promedio mensual (m/s)	Energía entregada por aerogenerador (KWh/mes)
Enero	31	7,13	1256.75
Febrero	28	6,3	945.5
Marzo	31	5,9	812.2
Abril	30	3,3	285.75
Mayo	31	4,65	552.2
Junio	30	6	833
Julio	31	9,6	1783
Agosto	31	6	833
Septiembre	30	5,05	635.4
Octubre	31	4,2	458.6
Noviembre	30	7,75	1489.25
Diciembre	31	7,7	1470.5
Promedio anual		6,12	878
Resultados anuales (kWh/año)			4327

La tabla 10 se refiere a la interpolación de cada una de las velocidades medias del viento durante cada mes del año. El mes de mayor generación eólica es julio, con 1783 KWh/mes; esto debido a que esa época del año presenta las mejores condiciones de viento, a diferencia del mes de abril que presenta niveles de generación muy bajos.

Cálculo del número de aerogeneradores

Para el cálculo de la cantidad de aerogeneradores, primeramente, se estimará la cantidad necesaria para generar 100% de la carga. Tomando la generación anual de la tabla 10, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Nt = \frac{C_{ea}}{G_{ta}}$$

Donde:

- N_t : número de turbinas o aerogeneradores.
- C_{ea} : consumo estimado anual.
- G_{ta} : energía generada por un aerogenerador anual.

(Vindas, 2018)

Por lo tanto,

$$N_t = \frac{197660.16 \text{ kWh/año}}{4327 \text{ kWh/año}} = 45.68 \approx 46 \text{ aerogeneradores}$$

Para generar el consumo, se necesitan 46 aerogeneradores Wind 25.3+. Todos los equipos de generación eólica necesitan una distancia recomendada entre un generador y otro. El mínimo recomendado por el fabricante es de 15 m lineales.

Cálculo de conductores para el sistema eólico.

Para el cálculo de los conductores de este sistema se consultó la ficha técnica de los dispositivos, estos se pueden ver en el apéndice 10. En la ficha podemos observar que se recomiendan diferentes calibres de cables dependiendo de la distancia de los dispositivos; para el caso de selección del conductor de los aerogeneradores estimando una distancia de no más de 200m entre el aerogenerador y el regulador se seleccionan 3 cables # 2 AWG THHN CU; mientras que entre el regulador y las baterías el fabricante recomienda que la distancia entre ellos no sea de más de 10m, por tanto, según la ficha técnica se selecciona un conductor #4/0 AWG THHN CU.

Sistema de generación mixta (fotovoltaica y eólica)

El sistema de generación mixta estará compuesto por los paneles solares modelo JKM330PP-72 de Jinko y aerogeneradores Wind 25.3+ de la marca Bornay. El objetivo de este primer diseño es el de generar el total (100%) del consumo eléctrico que es de 197660.16 kWh/año, mediante el uso de los aerogeneradores en combinación con el arreglo de 325 paneles solares, calculados en los puntos anteriores.

Para hacer posible este planteamiento de diseño, se debió calcular la cantidad de módulos fotovoltaicos que se pueden llegar a instalar en la zona para estimar la generación anual de esos 325 paneles solares y calcular la diferencia de energía que tengan que cubrir los aerogeneradores.

Tabla 11. Energía producida por los 46 aerogeneradores. Fuente: propia

Mes	Días	Velocidad promedio mensual (m/s)	Energía entregada por (46) aerogenerador (KWh/mes)
Enero	31	7,13	57810.5
Febrero	28	6,3	43493
Marzo	31	5,9	37361.2
Abril	30	3,3	13144.5
Mayo	31	4,65	25401.2
Junio	30	6	38318
Julio	31	9,6	82018
Agosto	31	6	38318
Septiembre	30	5,05	29228.4
Octubre	31	4,2	21095.6
Noviembre	30	7,75	68505.5
Diciembre	31	7,7	67643
Promedio anual		6,12	40388
Resultados anuales (kWh/año)			310178

En la tabla 11, con la energía producida por los 46 aerogeneradores que es de 310178 kWh/año y el consumo anual de la zona es de 197660.16 kWh/año, podemos determinar que el sistema de generación eólica va a cubrir el 56,92% del consumo, por tanto, para que en combinación con el sistema solar cubran el 100%, se reduce la cantidad de paneles a 140, para que así, este cubra el 43,08% restante.

Análisis de resultados

A continuación, se presentan los análisis de los resultados obtenidos en cada sección anterior desarrollada en el capítulo cuatro, los diseños y los cálculos para la toma de decisiones en esta investigación.

Consumo de energía

Con los datos otorgados por el ICE y el SINAC se estimó un consumo horario, para así determinar un consumo en kWh/año, de igual manera, con esta estimación se logra determinar las horas al día en las que el complejo demanda más energía, teniendo rangos de 8 horas en las que el complejo tiene bajo consumo de energía.

Las fuentes de energía

La mayor motivación en el desarrollo de este proyecto es fomentar el uso de energías limpias y de esta forma ayudar al Parque Nacional.

Debido a que Costa Rica tiene sus dos estaciones definidas, las cuales son invierno y verano, las horas de sol pico y las velocidades del viento van de la mano con ellas, ya que, en la época de invierno, que es la época predominante en el país, se tendrá menos irradiación solar y menos velocidades en los vientos. Esto debido a la temperatura y a las corrientes de aire frío que afectan las velocidades del viento. Por lo tanto, a la hora de instalar paneles solares cuya eficiencia depende de la cantidad de horas solares pico que tenga el día, en el caso de aerogeneradores, que van a depender directamente de la velocidad de los vientos que se presenten en la zona de instalación, esto lo compensaría la mejora en las condiciones ambientales que se tienen en las épocas de verano. Esto a favor de los sistemas de captación de energía solar y eólica.

En el Parque Nacional Chirripó se tiene un promedio anual de irradiación solar de 5.05 HSP; pero como cada mes del año tiene una condición climatológica distinta, se tiene que hacer al menos un análisis de generación fotovoltaica por cada mes del año. Por ejemplo, en la tabla 5 se puede observar la diferencia en los datos de HSP mes a mes. La época de mayor irradiación solar sería enero, con 6.5 HSP y como contraparte octubre con 4.19 HSP, con menor índice de irradiación solar, lo que afectará directamente la producción solar de la planta fotovoltaica.

Por otra parte, están las condiciones del viento que, de igual manera que en las condiciones solares, varían de mes a mes, según los datos estadísticos suministrados por el IMN. Estas condiciones del viento presentan un comportamiento similar al de las horas solares pico. En los meses de verano se pueden observar velocidades del viento de mayor magnitud en comparación con los meses de invierno, con la excepción del mes de diciembre, que presenta condiciones de viento similares a las de los meses de verano. Lo anterior se puede entender con mayor facilidad en la tabla 6 de este documento.

Energía esperada por los aerogeneradores

Si se explica bien la tabla 10, en la que se hace un análisis de generación eólica para cada mes del año, se puede notar que las velocidades del viento en la zona son velocidades relativamente altas. Esto si se toma en cuenta que la velocidad solamente para el arranque del equipo escogido está en alrededor de los 3 m/s. También hay que considerar que el rango de generación de este aerogenerador admite hasta un mínimo de 2m/s, una vez rota la inercia, pero con eficiencias energéticas bastante bajas en comparación con su generación nominal.

Energía esperada por módulos fotovoltaicos

Como se ha dicho anteriormente, la cantidad de energía generada por una planta de generación solar dependerá de la cantidad de módulos con los que cuenta la planta y con las condiciones del clima.

Con respecto a la parte solar de este proyecto, lo primero que se hizo fue calcular un número de paneles solares con el consumo anual en la zona y con los kWh/m² al año. Este cálculo arrojó que iban a ser necesarios 325 módulos fotovoltaicos, para cubrir la demanda con las condiciones del clima dadas, teniendo así una energía de 107.25 kW como potencia instalada de la planta fotovoltaica.

Planteamientos de diseño

En este proyecto se plantearon dos casos de diseño, el primero que será una planta de aerogeneradores en combinación con módulos fotovoltaicos y el segundo que es únicamente la planta solar.

Caso 1. Sistema mixto.

En este primer caso, se comienza estimando la cantidad de módulos por instalar en la zona, cuyo resultado fue de 325 paneles solares. En la tabla 10 se puede observar que la cantidad de energía que se tiene que encargar de cubrir el sistema eólico es de 4327 KWh. Se saca una cantidad de energía por cubrir anual, que es poco más de 56%, mientras el sistema fotovoltaico cubre poco más del 43%; este porcentaje hace que el sistema solar se reduzca a 140 paneles, teniendo así una energía de 46.2 kW como potencia instalada de la planta fotovoltaica y según las velocidades del viento y las necesidades energéticas, los cálculos indican que serán necesarios 46 aerogeneradores, cantidad que técnicamente es poco viable de instalar.

Caso 2. Sistema solar únicamente.

Como se había mencionado previamente, en este planteamiento se utilizarán únicamente los 325 paneles solares.

Para obtener el ángulo óptimo de inclinación de los módulos, se utiliza la ecuación 6 del capítulo II, en la que, según la latitud geográfica del edificio, se obtiene que la orientación debe ser dirigida hacia el sur, con una inclinación de 20° , pues Costa Rica se encuentra ubicada en el hemisferio norte, donde se observa el sol hacia el sur durante más días del año.

Para realizar el cálculo del inversor para este sistema, se toma en cuenta que las cargas no estarán siempre conectadas al mismo tiempo, por tanto, se calcula un promedio de consumo durante las 24 horas, teniendo un consumo de 22.89 kWh/día, por tanto, según el criterio mencionado, se realiza la selección de tres inversores de 8 kW cada uno.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

Conclusiones

Al desarrollar el presente diseño de una microrred eléctrica basada en energías renovables para suministrar electricidad a los albergues Base Crestones, se obtuvieron los siguientes resultados y conclusiones:

En el estudio de consumo se realizó una estimación con la información otorgada por el ICE y el SINAC, las estimaciones se elaboraron con potencias comúnmente usadas por los equipos que se pueden encontrar en los complejos. Dado que es información recolectada de entidades, se maneja de la forma en la que esta se brinda, además, no se logra realizar un estudio de comparación de consumo, ya que, debido al difícil acceso al sitio y según el SINAC, la información en cuanto a los sistemas eléctricos de los complejos en el Parque Nacional es prácticamente nula.

Con información en cuanto a la radiación solar y la velocidad del viento diaria y mensual otorgada por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), se realizó un estudio de dos fuentes de energía renovables, con esto se realizan gráficos de ambos estudios, los cuales están presentes en el capítulo IV de este documento; en estos se logra observar que ambas condiciones climáticas son relativamente constantes.

Tal como se logra evidenciar en el desarrollo del trabajo, se plantearon dos diferentes casos de análisis, para el uso de energías renovables. El primero fue un sistema mixto utilizando sistemas fotovoltaicos y aerogeneradores. El segundo es utilizando únicamente un sistema fotovoltaico.

En el proceso de dimensionamiento se realizaron consultas a la Ing. Gabriela Matute de ReFeel Costa Rica, ella sirvió de apoyo brindando información sobre cómo se lograba diseñar una planta fotovoltaica que cubriera los requisitos necesarios para el consumo que tiene la zona. Se hizo el seguimiento de los consejos brindados, con lo cual se logra determinar la cantidad de paneles con la ecuación 3. Esta se calcula con los kWh/m² anuales de radiación solar, lo cual ayuda a un sobredimensionamiento necesario para un sistema off-grid, que contempla que, mientras este sistema se encuentre generando, a su vez, cargue el sistema de respaldo, para que en el caso de las horas sin sol que, de igual manera, son las horas de consumos picos, este sistema de respaldo logre generar la energía requerida en los complejos.

Para el caso de la solución mixta, se logró determinar un total de 140 paneles, el cual, junto a la instalación de 46 aerogeneradores, da un aproximado de energía generada de KWh al año; dado que este proyecto se da como planteamiento de solución para una problemática presente en los albergues del Parque Nacional, no se realizan comparaciones de consumo energético, pero en todo caso que se requiera la instalación del sistema, en el capítulo VI del documento se realiza el estudio de inversión de los dos casos de diseño propuesto, lo cual da como inversión que el sistema mixto tendrá un costo de ₡447.233.197,18. Con estos resultados se comprueba que no es viable la implementación de aerogeneradores, si se compara con el costo de inversión del sistema fotovoltaico únicamente, dado que el costo de este es de ₡246.237.887,39.

Recomendaciones

Cuando se realizó el análisis para la estimación del lugar, se observa que se realizan estimaciones de cargas conectadas durante todo el día, por ejemplo, el uso de los cargadores de celulares, esto se puede observar en el apéndice 2. También se observa que utilizan termo duchas, por lo tanto, se recomienda eliminar estas cargas y dejar únicamente el calentador, ya que el uso de esta carga aumenta el consumo a poco más del 50%.

De igual manera se propuso un recalcu de consumo realizando nuevamente la tabla con los datos de los equipos que estos contienen, esto se puede observar en el apéndice 11, con esta se obtuvo una reducción de consumo que pasa de los 549,056 kW/día a los 143,704 kW/día. Si se emplean estas recomendaciones el albergue necesitaría 10 paneles, 1 inversor y 2 baterías de plomo-ácido.

En cuanto al sistema fotovoltaico, se recomienda contratar a una empresa con experiencia en este tipo de instalaciones en Costa Rica que ofrezca el servicio de trámites, instalación, mantenimiento, seguimiento y atención de eventualidades. Todo esto con el fin de que el sistema instalado funcione de forma correcta y eficaz; además de tener la garantía de que los responsables de la instalación les den el seguimiento necesario a los equipos y al sistema en general, en caso de ser necesario intervenirlos.

También se recomienda implementar el uso de la gestión remota en el sistema ya que en la ficha técnica del inversor solar (apéndice 6), se puede observar que este tiene la opción de ser manejado mediante una red disponible.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

Para proceder con la propuesta, se requiere efectuar la inversión inicial, que es tomada de una cotización hecha por la empresa ReFeel Costa Rica el 05 de marzo de 2019.

A continuación, en la tabla 12, se muestra el cálculo de la inversión en cuanto al sistema fotovoltaico, este representará el caso 2 de los diseños propuestos. Con estos mismos cálculos de este sistema se hará la evaluación del caso 1, con el fin de determinar la viabilidad económica de cada uno de los diseños propuestos.

Tabla 12. Inversión del sistema fotovoltaico. Fuente: propia

Inversión del sistema fotovoltaico				
Producto	Modelo	Cantidad	Precio unitario USD	Total USD
Panel solar	Jinko JKM330 de 330 Wp	325	142,7	46.377,5
Inversor	Leonardo Off- Grid	3	3016,12	9.048,36
Baterías	FAAM 28STA3500	96	2821,37	270.851,52
Cargador	WRM 30+	54	717,57	38.748,78
			Subtotal	365.026,16
			Gastos administrativos (2%)	7.300,52
			Mano de obra, material eléctrico (20%)	73.005,23
			Total	445.331,91

Con la realización de la tabla 12, se obtiene un subtotal de ₡218.073.697,99 con un tipo de cambio de ₡602,3 por dólar, dato que fue consultado el día 12 de marzo de 2019 en la página web del Banco Central de Costa Rica. A este subtotal se le suma 10% de mano de obra y material

eléctrico, así como 2% de gastos administrativos. Con esto se obtiene que la inversión del sistema solar con inversores comunes es de ₡246.237.887,39.

Para el cálculo de la inversión, se utilizaron precios brindados en la red de Bornay Energies y con promedios estimados del precio de los productos.

Tabla 13. Inversión del sistema eólico. Fuente: propia

Inversión del sistema eólico				
Producto	Modelo	Cantidad	Precio unitario USD	Total USD
Aerogenerador	Wind 25,3 +	46	5.362,5	246675
Interface	Wind 25+	46	746,25	34327,5
Anemómetro	Small Thies	46	80	3680
Torre cuatripata	P-750	46	862,5	39675
Subtotal				324.357,5
Gastos administrativos (2%)				6.487,15
Mano de obra, material eléctrico (10%)				32.435,75
Total				363.280,4

Para la realización de la tabla 13, se tomaron por unidad y se multiplicaron por la cantidad necesaria de productos para el proyecto. Se obtiene un subtotal de ₡195.263.215 con un tipo de cambio de ₡602,3 por dólar, dato que fue consultado el día 12 de marzo de 2019 en la página web del Banco Central de Costa Rica. A este subtotal se le suma 10% de mano de obra y material eléctrico, más 2% de gastos administrativos. Con esto se obtiene que la inversión del sistema eólico es de ₡218.803.784,92.

Realizando la evaluación de las inversiones con las tablas 11 y 12, se determina la inversión del caso 1 que es del sistema mixto, teniendo en cuenta que, al implicar los aerogeneradores, se reducen los paneles a 140, por tanto, el costo del sistema mixto sería de ₡447.233.197,18.

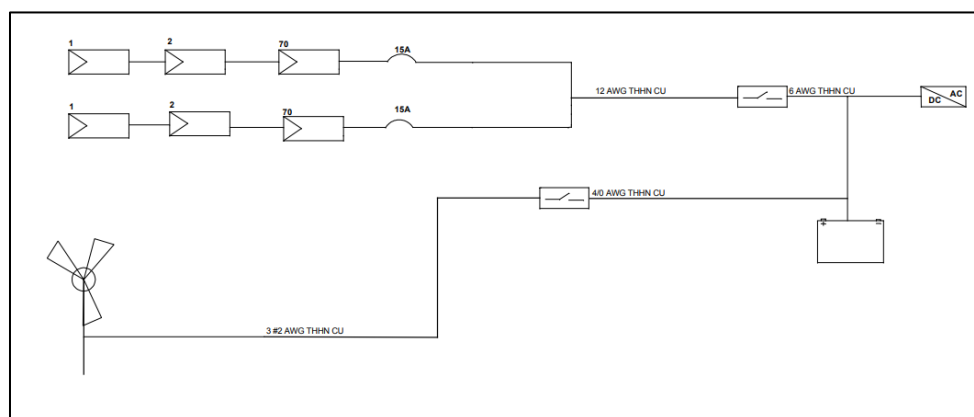


Figura 19. Diagrama unifilar de los sistemas propuestos. Fuente: Elaboración propia (AutoCAD).

Costos de instalación del sistema escogido (Sistema Fotovoltaico)

Cabe destacar que no fue posible obtener la cotización del costo de la mano de obra, y que normalmente en la mayoría de estos casos el costo de mano de obra se calcula al 10% del valor de los equipos que se instalan, pero para este proyecto, en particular, se decide aumentar ese valor a causa de factores como la lejana locación, condiciones extremas del sitio de la obra y que, para transportar los materiales o equipos a la zona, los únicos medios son el uso de caballos en el que el costo por kg es de 2600 colones; o helicóptero del cual no se tiene valores en cuanto a precio, por tanto se calcula un valor de mano de obra al 20%.

REFERENCIAS

- Alonso, J. (2015). *Consideraciones previas para calcular una instalación fotovoltaica aislada*. Recuperado de <https://www.sfe-solar.com/baterias-solares/manual-calculo/>
- Áreas Protegidas y Parques Nacionales de Costa Rica. (2019). *Áreas Protegidas y Parques Nacionales de Costa Rica*. Recuperado de <https://areasyparques.com/areasprotegidas/parque-nacional-chirripo/>
- Asociación Nacional de Protección contra Incendios. (2008). *Código Eléctrico Nacional (NEC)*. Recuperado de
- Boileau, H. (s.f.). *Conexión a red de sistemas fotovoltaicos*. Recuperado de http://www.labri.fr/perso/billaud/Helios2/resources/es09/Chapter_9_ES.pdf
- Bordons, C. G. y Valverde, L. (2015). Gestión óptima de la energía de microrredes con generación renovable. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial* 12 (2015) 117–132. Recuperado de <https://polipapers.upv.es/index.php/RIAI/article/view/9384/9370>
- Buonacore, D. (1980). *Diccionario de Bibliotecología* (2 ed.). Buenos Aires, Argentina: Marymar.
- Cenit Solar. (s.f.). *Esquema*. Recuperado de http://www.cenitsolar.com/imagenes/esquema_asilada.jpg
- Chirripo.org. (s.f.). *Chirripó: Hay que vivirlo*. Recuperado de <https://www.chirripo.org/parque-nacional-chirripo/>
- Colmenar, A., Borge, D., Collado, E. y Castro, M. (2015). *Generación distribuida, autoconsumo y redes inteligentes*. España: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Energía Solar. (2016). *Energía eólica*. Recuperado de <https://solar-energia.net/energias-renovables/eolica>
- Google Earth. (2019). *Albergue Base Crestones*. Recuperado de <https://earth.google.com/web/@9.45720792,-83.50407811,3336.12170177a,548.0930689d,35y,-50.90761635h,44.9968708t,-0r/data=ChcaFQoNL2cvMTFieWNnbWRndxgCIAEoAg>
- Ingemecánica. (2019). - *Tutorial nº 192 - Instalación Solar Fotovoltaica para Vivienda*. Recuperado de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html#seccion44>
- John, J., Mwasilu, F., Lee, J. y Jung, J. (2013). AC-microgrids versus DC-microgrids with distributed energy resources: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 387-405. Recuperado de <https://www.journals.elsevier.com/renewable-and-sustainable-energy-reviews>
- Mapsa. (s.f.). *Inversores Residenciales para Paneles Solares*. Recuperado de <https://www.mapsacatalogo.com/productos-inversoresparapanelessolaresresidenciales.html>

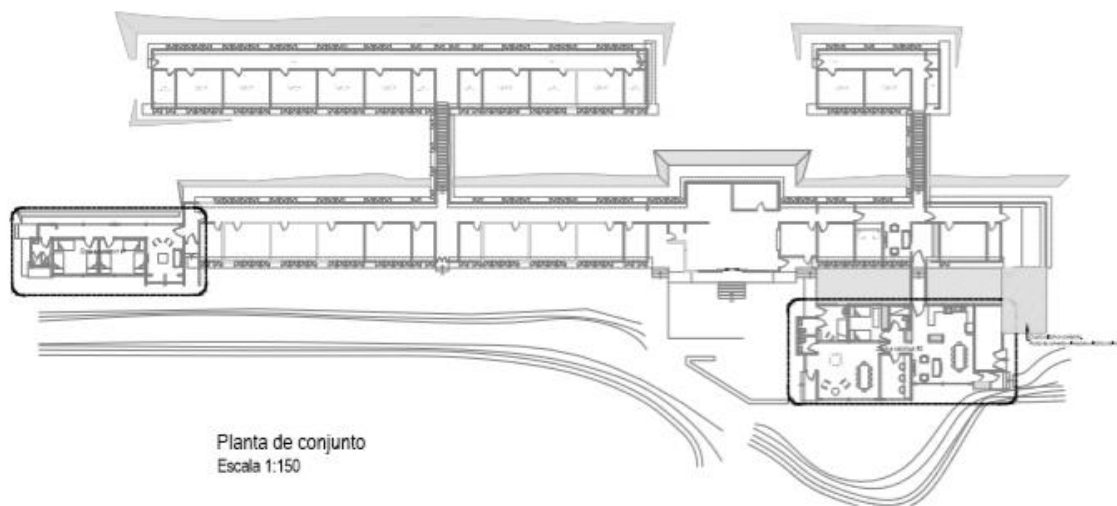
- Material fotovoltaico. (2017). *Célula de Silicio Amorfo*. Recuperado de <http://materialfotovoltaico.com.mx/tecnologias/c%C3%A9lula-de-silicio-amorfo.html>
- Motiva. (s.f.). *Motiva*. Recuperado de https://www.motiva.fi/myllarin_tuulivoima/windpower+web/es/tour/wres/tube.htm
- Mpptsolar. (2019). *Paneles solares fotovoltaicos en paralelo*. Recuperado de <http://www.mpptsolar.com/es/paneles-solares-paralelo.html>
- ReFeel Costa Rica S.A. (2016). *ReFeel Costa Rica S.A.* Recuperado de www.refeel.eu
- Rivas, P. (2019). *Paneles solares fotovoltaicos, ¿cuál elegimos?* Recuperado de <https://instalacionesyeficienciaenergetica.com/paneles-solares-fotovoltaicos/>
- Sitio solar. (2013). *Los paneles solares fotovoltaicos*. Recuperado de <http://www.sitiosolar.com/los-paneles-solares-fotovoltaicos/>
- Viloria, J. R. (2013). *Montaje mecánico en instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A.
- Vindas, M. (2018). *Ahorro energético en la empresa Geotecnologías S.A. por medio de un sistema eólico, fotovoltaico y mixto*.
- Yebra, J. (2009). *Sistemas Eléctricos de Distribución*. México: Reverté.

COMPLEJO 1																										
Equipos/Items	Cantidad	Potencia por unidad (W)	Distribución de la demanda por un Et de columna																							
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Luminaria	17	4						152	152									152	152							
Teléfono	3	600																600	600							
Computar	10	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Cable de telecomunicaciones	5	200																200	200							
Distribución de demanda (W)			200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	312	312	200	200	200	200	200	200	200
Potencia máxima demanda (W)	407																	312	312	200	200	200	200	200	200	200
Potencia máxima demanda (VA)	200																	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Energía aproximada (Wh)	704																	704	704	200	200	200	200	200	200	200

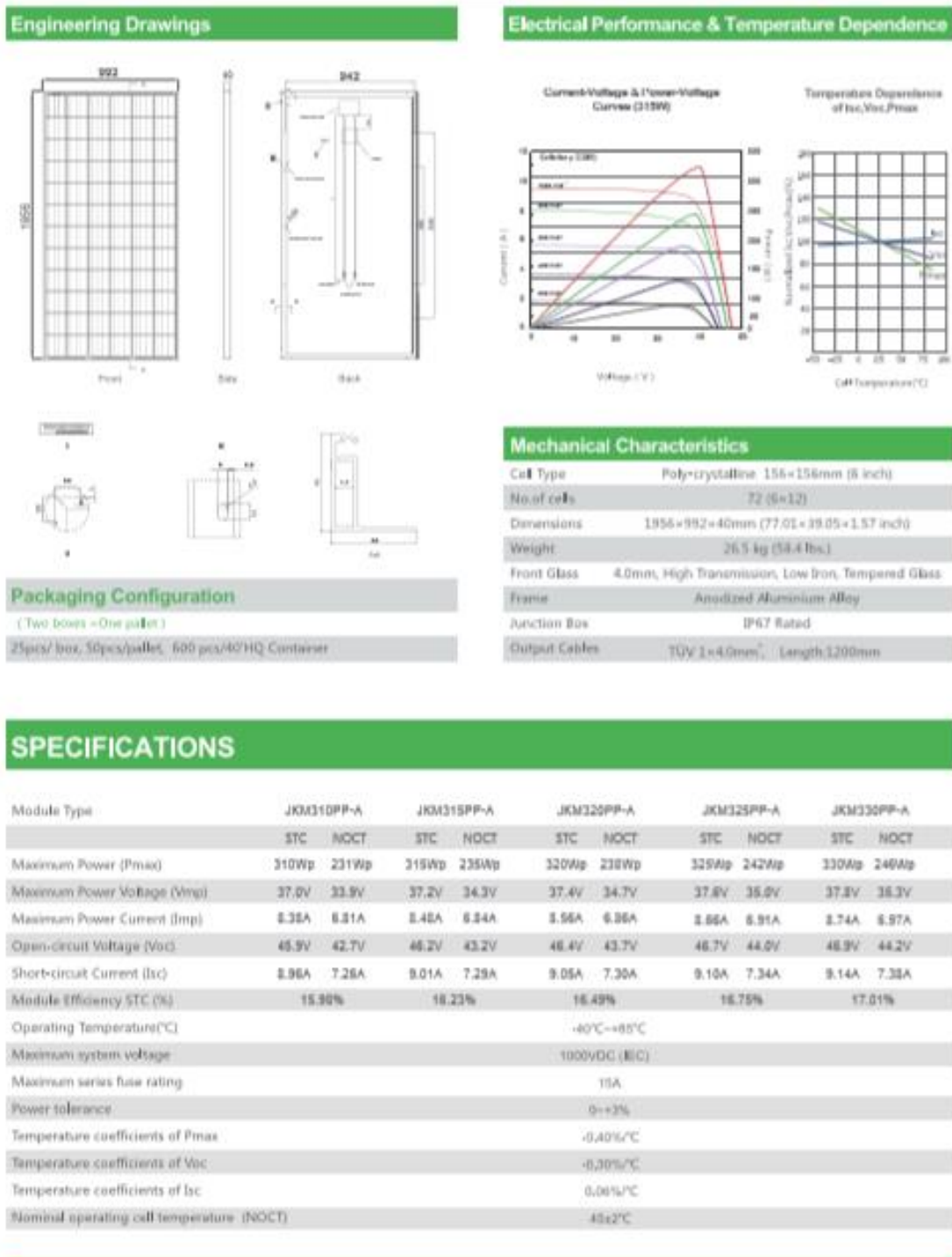
COMPLEJO 2																										
Equipos/Items	Cantidad	Potencia por unidad (W)	Distribución de la demanda por un Et de columna																							
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Luminaria	17	4						152	152									152	152							
Teléfono	3	600																600	600							
Computar	10	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Cable de telecomunicaciones	5	200																200	200							
Fibra óptica	4	312						232	232									232	232							
Switch	5	232						232	232									232	232							
Refrigeradora	5	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
Extractor de cocina	5	1600						1600	1600									1600	1600							
Distribución de demanda (W)			1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	2316	2316	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
Potencia máxima demanda (W)	1625																	2316	2316	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
Potencia máxima demanda (VA)	1600																	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
Energía aproximada (Wh)	6320																	6320	6320	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600

Distribución total de la demanda por un Et de columna por un complejo																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Demanda Total Maxima (W)	1100	1000	1000	1000	2302	1702	6200	1000	1000	1000	1000	1000	2316	2316	2316	2316	2316	4316	4316	2316	2316	2316	2316	2316	2316	1000
Potencia máxima demanda (W)	242																	242	242	242	242	242	242	242	242	242
Potencia máxima demanda (VA)	1000																	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Total de Energía aproximada de un complejo (Wh/ día)	7004																	7004	7004	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Wh/ hora	29209,26																	29209,26	29209,26	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000

Apéndice 4. Planta de los nuevos complejos. (SINAC)



Apéndice 5. Ficha técnica del panel solar 330W.



Apéndice 6. Ficha técnica del inversor solar 8000W.

LEONARDO OFF-GRID 8kW/8000/48 MG

PV ENERGY SAVING SYSTEM

DATASHEET



-  **MPPT charge controller technology with 4 independent inputs**
-  **8 kWp Maximum PV Power**
-  **DC/AC pure sine wave inverter**
-  **6000 VA continuous power**
-  **16000 W maximum power**
-  **48 Vdc battery voltage**
-  **Output Voltage 230 V, 50 Hz**
-  **95% inverter efficiency**
-  **Protections:**
 - Low battery
 - Over-temperature
-  **Sealed, GEL and flooded lead-acid batteries**
-  **IP20 metal box**

Il Leonardo Off-Grid 8kW/8000/48 MG è stato concepito e appositamente sviluppato per la produzione e lo stoccaggio di energia domestica: abbinato a moduli fotovoltaici e a batterie di accumulo provvede all'alimentazione della abitazione fino al suo completo auto-sostentamento.

Il sistema prevede quattro ingressi MPPT indipendenti tramite regolatore di carica dedicato: tale tecnologia implementa un circuito di ricerca della massima potenza in funzione dalla tensione e della corrente del modulo PV, massimizzando sempre l'energia erogata.

L'ingresso AC di cui è dotato il sistema garantisce la continuità di esercizio delle utenze senza percettibili discontinuità sia in caso di batteria scarica a causa della ridotta energia rinnovabile disponibile, sia in caso di potenza richiesta dal carico superiore alla capacità dell'apparecchio.

Leonardo Off-Grid 8kW/8000/48 MG is a complete system able to manage, control and integrate a PV system with storage in order to provide energy savings of households for a complete autonomy.

The system has four independent inputs through charge controllers that implement MPPT. According to the battery voltage and its charge level, the charge controller activates always the PV module at its higher level maximizing energy from PV module that consequently is charged in the battery. Temperature compensates battery charging.

The Leonardo System AC input assures operational continuity of the loads without noticeable discontinuities also during the switching events and in case of low battery because of the reduced renewable energy available.

WESTERN CO.
Via Passubio, 1 - 63074 San Benedetto del Tronto (AP) - Italy
Tel. +39 0735751248 - Fax +39 0735 751254
info@western.it - www.western.it



WESTERN CO.[®]

ELECTRONIC EQUIPMENTS - SOLAR SYSTEMS

Electrical Features

LEONARDO OFF-GRID 8kW/8000/48 MG

		Leonardo Off-Grid MG 8kW/8000/48V			
		Min	Typ	Max	
INVERTER	Output power	P _{out}	8000VA	16000W	
	Battery voltage	V _{batt}	40,0V	48V	66V
	Output voltage	V _{ac}	-	230V	-
	Output frequency	F _{ac}	-	50Hz ±0.1%	-
	Input Voltage	I _{ac}	-	50A	-
	Transfer time Anti Blackout	T _{tw}	-	10mS	-
	Overload threshold	P _{oc}	-	85%	-
	Efficiency	Eff	-	95%	-
	Absorption during bypass	P _{bp}	-	<8W	-
	Self-consumption in stand-by mode	P _{sb}	-	25W	-
	Discharge threshold limit	T _{ba}	45,9V	46,0V	46,1V
	Reset threshold from low battery	T _{bs}	55,1V	55,2V	55,3V
	Internal over-temperature alarm	T _{ot}	-	65°C	-
	Operating temperature	T _{amb}	-10°C	25°C	60°C
		Min	Typ	Max	
PV CHARGER	Battery voltage	V _{batt}	-	48,0V	-
	MPPT INPUTS	N _{mpp}	-	4	-
	Module voltage per channel	I _{pan}	-	-	26,0A
	Open circuit voltage modules	V _{pan}	-	-	150V
	Maximum power per channel	P _{ch}	-	2kW	-
	Total maximum power	P _{max}	-	-	8kW
	Charging voltage at 25° C (ABSORPTION)	V _{EoC}	-	57,6V	-
	ABSORPTION phase time	T _{abs}	-	4h	-
	Open-circuit voltage (FLOAT)	V _{flt}	-	55,2V	-
	Efficiency	Eff	-	97,2%	-
	V _{EoC} function compensation of battery temperature (T _{batt})	V _{tadj}	-	-86mV/°C	-
	Self-consumption	I _q	-	12 mA	-
	Operating temperature	T _{amb}	-10°C	25° C	60°C
Dissipated power	P _{diss}	-	-	66W	
		Min	Typ	Max	
ENCLOSURE	Section of battery cables	-	50mm ²	-	
	Length of battery cables	-	1,5mt	-	
	Protection degree	-	IP20	-	
	Dimensions	395x940x250 mm			
	Weight	-	55kg	-	



WESTERN CO.
Via Pisubio, 1/3 – San Benedetto del Tronto (AP)
Tel: +39 0735.751248 Fax: +39 0735.751254

**MADE
and
USED**

Apéndice 7. Ficha técnica de las baterías Plomo-ácido.

Baterías FAAM STA (OPzS)



Ref. art.: faam-opzs

Las baterías FAAM son la mejor opción en relación calidad precio del mercado. Son el resultado de la última tecnología e investigación en su campo lo que da una fiabilidad sin precedentes.

La serie STA (OPzS) de FAAM representa un conjunto de última tecnología e historia, la nueva tecnología se mezcla con la calidad tradicional para dar lugar a una batería de fiabilidad y robustez sin precedentes.

Características y ventajas:

- (+) Placa tubular Pb/Sb
- (-) Placas de rejilla de plomo empastado
- Separadores con alto grado de porosidad y baja resistencia
- Doble separación
- Interconexiones entre placas de cobre
- Recipiente ignifugo
- Terminales robustos
- Recipiente transparente
- Bajas pérdidas en reposo
- Amplia gama de producto
- Versátil
- Bajo mantenimiento
- Vida Larga



Referencias oficiales

- CEI IEC 60896 part 1
- DIN 40736 part 1
- EN 50272-2
- EUROBAT "Long life (15 años)

Baterías FAAM STA (OPzS)



Ref. art.: faam-opzs

MODELO	EQUIVALENCIA (DIN)	Tensión (V)	CAPACIDAD		DIMENSIONES			ALTO (TOTAL)	PESO Kg (+/- 5%)
			C-10 (Ah) (DIN 40736-1)	C-120 (Ah)	LARGO	ANCHO	ALTO		
2STA55	2 OPzS 100	2	100	150	103	206	402	432	9,7
3STA55	3 OPzS 150	2	150	225	103	206	402	432	14,5
4STA55	4 OPzS 200	2	200	300	103	206	402	432	19,5
5STA55	5 OPzS 250	2	250	375	124	206	402	432	22
6STA55	6 OPzS 300	2	300	450	145	206	402	432	26
5STA70	5 OPzS 350	2	350	525	124	206	518	548	32,5
6STA70	6 OPzS 420	2	420	630	145	206	518	548	34,5
5STA100	5 OPzS 500	2	500	750	145	206	693	723	46
6STA100	6 OPzS 600	2	600	900	145	206	693	723	49
7STA100	7 OPzS 700	2	700	1050	210	191	693	723	55
8STA100	8 OPzS 800	2	800	1200	210	191	693	723	62
10STA100	10 OPzS 1000	2	1000	1500	210	233	693	723	82,5
12STA100	12 OPzS 1200	2	1200	1800	210	275	693	723	97
12STA125	12 OPzS 1500	2	1500	2250	210	275	843	873	110
14STA125	14 OPzS 1750	2	1750	2625	210	275	843	873	136
16STA125	16 OPzS 2000	2	2000	3000	214	399	819	849	160
20STA125	20 OPzS 2500	2	2500	3750	212	487	819	849	198
24STA125	24 OPzS 3000	2	3000	4500	212	576	819	849	234
28STA125	28 OPzS 3500	2	3500	5250	212	576	819	849	266

Apéndice 8. Ficha técnica del aerogenerador 5000W.

25.3+

Número de hélices	3
Diámetro	4,05 m
Material	Fibra de vidrio / carbono
Dirección de rotación	En sentido contrario a las agujas del reloj
Sistema de control	1) Regulador electrónico 2) Pásivo por inclinación

Características eléctricas

Alternador	Trifásico de imanes permanentes
Imanes	Neodimio
Potencia nominal	5000 W
Voltaje nominal	220 Vac
RPM	⊕ 400
Controladores	Regulador MPPT Wind+ Multitensión: 12, 24, 48 Vdc Intensidad: Max. 125 Amp Tipo de batería: Inundada, AGM, Gel Lithio Interface Wind+ Bombeo directo de agua AC ó DC Telecom Conexión a red

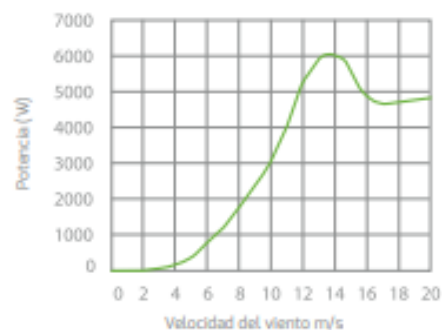
Velocidad de viento

Rango de funcionamiento	2 - 30 m/s
Para arranque	3 m/s
Para potencia nominal	12 m/s
Para frenado automático	14 m/s
Máxima velocidad de viento	60 m/s

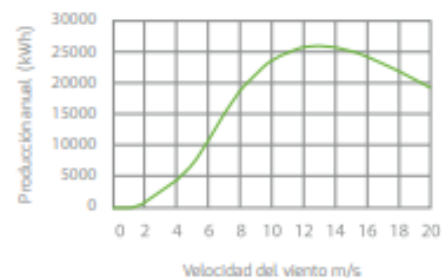
Características físicas

Peso aerogenerador	107 kg
Peso regulador	33 kg
Peso interface	24 kg
Embalaje	120 x 80 x 80 cm - 143 Kg
Dimensiones - peso	260 x 40 x 15 cm - 22 Kg
Total	0,91 m ³ - 165 Kg
Garantía	3 años

Curva de potencia



Energía



Apéndice 9. Ficha técnica del regulador eólica.

Regulador MPPT *WIND+*

El Regulador MPPT Wind + rectifica, controla y filtra la energía producida por el aerogenerador entregando energía apta para la carga, optimizando y generando el máximo de energía posible desde el Aerogenerador, gracias al seguimiento del punto de máxima eficiencia MPPT.

El Aerogenerador proporciona energía en CA trifásica a una tensión nominal de 220 vac.

El regulador MPPT Wind + realiza todas las funciones de rectificación y extracción de la mayor cantidad, disponible, de energía, entregando la energía en CC a 12, 24 o 48 voltios a la batería.

El regulador dispone de todos los sistemas de seguridad y control, con configuración programable y sistemas de control aptos para todo tipo de condiciones de viento.

Consulte con su instalador de confianza para una mayor información sobre todas las nuevas funcionalidades de el Regulador MPPT Wind +.



www.bornay.com

Especificaciones	
Entrada Aerogenerador	
Tipo de entrada	Trifásica CA
Conectores	MC4
Rango de voltaje operativo	80 - 480 Vac
Voltaje máximo admisible	510 Vac
Potencia máxima	3000 W (Wind 12+) / 8000 W (Wind 25+)
Resistencia de frenado	5000 W (Wind 12+) / 30000 W (Wind 25+)
Protección entrada	Varistores
Salida	
Tipo de salida	CC
Conectores	2 x M10
Tensión de salida	12 / 24 / 48 Vdc
Protección	Salida protegida mediante fusible 125 Amp.
Operacionales	
Consumo en reposo	< 3 W
Consumo a máxima potencia	< 30 W
Conexiones	
Anemómetro	Si, opcional
Comunicaciones	2 x RS485 / 1 x RS232
USB	1 x mini USB Tipo B versión
Bluetooth	Opcional con Bornay Bluetooth dongle
Parada de emergencia	Si, Seto de emergencia
Parada de emergencia remota	Si, con interruptor externo
Pole	Libre de potencial, CSM, NA, NC
Entradas auxiliares digitales	2
Finca	
Grado de protección	IP20
Materia	Aluminio
Color	RAL7035
Ventilación	Forzada
Montaje	Sobre pared
Dimensiones	500 x 507 x 180 mm
Dimensiones embalaje	585 x 600 x 275 mm - 0,10 m ³
Peso	30 kg (Wind 12+) / 35 kg (Wind 25+)
Peso embalaje	31,5 kg (Wind 12+) / 36,5 kg (Wind 25+)

Bornay

P.O. Box, Camino del Río, 504 - 01600 Casallo (Alcázar) ESPAÑA - Tel: +34 965 960 205 - Fax: +34 965 960 702 - bornay@bornay.com

Apéndice 10. Conductores del sistema eólico.

Los cableados deber ser siempre lo más cortos en la medida de lo posible.

Sección de cable desde el aerogenerador hasta el regulador. Serán 3 cables preferiblemente de cobre (Cu) y se deben respetar estas secciones según las distancias. Para cables de aluminio se deben calcular las equivalencias.

A continuación se presentan 2 tablas la primera es para cables en mm^2 y la segunda es para cables en nomenclatura AWG.

Modelo	0-20m (mm^2)	20-50m (mm^2)	50-80m (mm^2)	80-150m (mm^2)	150-200m (mm^2)
Bornay 13+	2.5	4	6	10	16
Bornay 25.2+	4	6	10	16	25
Bornay 25.3+	6	10	16	25	35

Modelo	0-20m (AWG)	20-50m (AWG)	50-80m (AWG)	80-150m (AWG)	150-200m (AWG)
Bornay 13+	13	11	9	7	5
Bornay 25.2+	11	9	7	5	3
Bornay 25.3+	9	7	5	3	2

Sección de cable desde el regulador hasta la batería. Tabla para cables de Cobre (Cu).

Modelo	Batería (V)	0-5m (mm^2)	0-5m (AWG)	5m-10m (mm^2)	5m-10m (AWG)
Bornay 13+	12	50	1/0	95	4/0
Bornay 13+	24	35	2	70	2/0
Bornay 13+	48	25	3	50	1/0
Bornay 25.2+ *	12	50	1/0	120	5/0
Bornay 25.2+	24	50	1/0	95	4/0
Bornay 25.2+	48	35	2	70	2/0
Bornay 25.3+ *	12	50	1/0	120	5/0
Bornay 25.3+ **	24	50	1/0	95	4/0
Bornay 25.3+	48	50	1/0	95	4/0

Apéndice 11. Tabla de consumos recomendada

Descripción de equipo o sistema	Cantidad	Potencia por unidad (Watts)	Horas de uso	Consumo
Lavadora 21 lbs	1	1200	2	2400
Secadora de ropa	1	6240	2	12480
Televisor a color	1	90	4	360
Cocina de tres discos	1	3600	2	7200
Luminarias	68	20	8	10880
Computadora de escritorio	1	350	2	700
Computadora portátil	1	60	2	120
Calentador de agua	1	3000	2	6000
Radio de comunicación	1	45	2	90
Refrigeradora de 10 cfs	1	506	4	2024
Central telefónica	1	2500	4	10000
Impresora para computador	1	48	2	96
Licuada	1	1500	1	1500
Batidora	1	170	1	170
Termoducha	2	4000	1	4000
Radiograbadora	17	20	1	20
Plancha eléctrica	1	1100	1	1100
Olla arrocera	1	800	2	1600
Televisor	8	100	2	1600
Caja de televisión Satelital	8	20	2	320
Refrigeradora	5	500	4	10000
Wafieras	2	600	1	1200
Lavadora	3	2000	2	12000
Bombillos Led	40	18	8	5760
Teléfonos	5	10	2	100
Computadoras portátiles	3	40	1	120
Router	24	20	1	480
Percolador	2	900	1	1800
Celulares	50	20	2	2000
Olla arrocera grande	4	1600	2	12800
Coffe Maker	2	1100	1	2200
Luces de emergencia	12	6	4	288
Impresoras	2	50	1	100
Datáfono	2	20	1	40
Calentador de agua para 30 personas	2	3000	2	12000
Aireador para la planta de tratamiento de aguas	1	260	2	520
Cámara de vigilancia	10	20	2	400
Luminarias	13	9	8	936
Televisor	1	150	2	300
Celulares	10	20	2	400
Caja de televisión Satelital	1	20	2	40
Luminarias	17	9	8	1224
Televisor	2	150	2	600
Celulares	10	20	2	400
Caja de televisión Satelital	2	20	2	80
Fluorecentes	4	58	8	1856
Cocina	1	3200	2	6400
Refrigeradora	1	1400	4	5600
Extractor de cocina	1	1400	1	1400
DEMANDA HORARIA (W/día)	143704			
DEMANDA HORARIA (kW/año)	51733,44			