

Universidad Internacional de las Américas

Escuela de Ingeniería Electromecánica

**Trabajo Final de Graduación para optar por el grado de
Bachillerato en Ingeniería Electromecánica**

**“Análisis de un sistema híbrido de energías renovables
(solar/eólico) para una institución de educación media en la
zona de Belén de Carrillo Guanacaste Costa Rica”**

Autor:

Kristofer Moraga Obando

Tutor:

Ing. Álvaro Rojas Camacho

Lector:

Ing. Billy Retana Peña

San José, Costa Rica 2018

Dedicatoria

A mi madre y abuela que a pesar de mis tropiezas y fallas nunca perdieron la confianza en mí, las que siempre estuvieron conmigo dándome su apoyo, fortaleza y motivación en los momentos difíciles que aprecian en el camino.

Agradecimientos

Primeramente, agradezco a Dios y a la Virgen, por darme las fuerzas necesarias para concluir y salir victorioso en esta etapa tan importante de mi vida.

A mi madre Sileny Obando Villegas y abuela Sandra Matarrita Sánchez, quienes fueron mis pilares más fuertes y el motor de impulsión para seguir adelante y no desistir a lo largo de esta travesía tan bonita y difícil de mi vida, además a mi hermano Alonso Bans Bach Obando y hermana Nicole Moraga Picón los dos pilares faltantes e igual de importantes para sostener tan difícil proyecto de vida.

Familiares, en general, que de una u otra manera siempre me brindaron su apoyo y sus mensajes de aliento para que continuara y hoy pudiera concluir con éxito tan dura batalla y, además salir victorioso.

A mis compañeros aquellos que lucharon y no desistieron y brindaron su apoyo en todo momento, a mi Tutor por brindarme la oportunidad de trabajar con él y brindarme sus conocimientos.

Tabla de Contenido

| | |
|---|-----------|
| Resumen..... | 1 |
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN..... | 2 |
| Planteamiento del problema | 3 |
| Objetivos | 3 |
| Objetivo general..... | 3 |
| Objetivos específicos..... | 3 |
| Justificación | 4 |
| Antecedentes | 5 |
| Antecedente N°1..... | 5 |
| Antecedente N° 2 | 6 |
| Antecedente N° 3 | 7 |
| Proyecciones | 8 |
| CAPÍTULO II: Marco Referencial..... | 10 |
| Diagnóstico..... | 11 |
| Marco teórico..... | 16 |
| Energías Renovables..... | 16 |
| Energía eólica | 16 |
| La energía Solar | 16 |
| Sistemas híbridos (solar/eólico)..... | 17 |
| Radiación solar | 18 |
| Energía eléctrica producida a partir de energía solar | 18 |
| Paneles solares..... | 19 |
| Tipos de paneles solares | 20 |
| Paneles fotovoltaicos | 20 |
| Paneles solares térmicos..... | 20 |
| Funcionamiento paneles solares..... | 20 |
| Ventajas y desventajas de los paneles solares..... | 21 |
| Ventajas de los paneles solares..... | 21 |
| Desventajas de los paneles solares..... | 22 |
| Elementos constituyentes de un sistema solar fotovoltaico | 23 |

| | |
|--|-----------|
| Célula fotovoltaica..... | 23 |
| Inversores..... | 24 |
| Micro inversor..... | 24 |
| Regulador..... | 25 |
| Cableado..... | 25 |
| Estructuras de soporte..... | 25 |
| Estructuras móviles..... | 26 |
| Conexiones paneles solares..... | 26 |
| Conexión serie..... | 26 |
| Conexión en paralelo..... | 26 |
| Orientación de los paneles solares..... | 27 |
| Inclinación placas solares..... | 27 |
| Inclinación Solar: ¿Cuál es el ángulo de los paneles solares?..... | 28 |
| Sistema solar fotovoltaico de generación..... | 28 |
| Autoconsumo Fotovoltaico..... | 29 |
| Hora solar pico (HSP)..... | 30 |
| Cantidad de paneles necesarios para el sistema..... | 30 |
| Cálculo del ángulo para la instalación de paneles solares..... | 33 |
| Cálculo del inversor..... | 33 |
| La energía eólica..... | 33 |
| ¿Cómo funciona la energía eólica?..... | 34 |
| Ventajas e inconvenientes de la energía eólica..... | 34 |
| Ventajas de la energía eólica..... | 34 |
| Desventajas de la energía eólica..... | 35 |
| Aerogeneradores..... | 36 |
| Aerogeneradores de pequeña potencia..... | 37 |
| Recurso eólico suficiente..... | 38 |
| La dirección del viento..... | 39 |
| La velocidad del viento..... | 39 |
| Sistema eólico de generación..... | 40 |
| Análisis financieros VAN y TIR herramientas para la viabilidad del proyecto..... | 40 |
| Valor Actual neto (VAN)..... | 41 |

| | |
|--|----|
| Ventajas e inconvenientes del VAN | 42 |
| Tasa Interna de Retorno (TIR) | 43 |
| ¿Cómo se calcula la TIR? | 43 |
| Criterio de selección de proyectos, según la Tasa interna de retorno | 44 |
| Inconvenientes de la Tasa interna de retorno | 45 |
| Artículos y normativa técnica AR-NT-POASEN vigente en Costa Rica..... | 45 |
| Medición neta de electricidad | 45 |
| Libre acceso a la red de distribución nacional | 46 |
| Artículo 131. Modalidades de régimen contractual | 47 |
| Artículo 133. Cláusulas contractuales mínimas | 48 |
| Artículo 151. Obligaciones de los generadores en pequeña escala para autoconsumo | 49 |
| Artículo 156. Precios para la compensación de excedentes..... | 49 |
| Artículo 158. Facturación, modalidad contractual “Medición Neta Completa” | 50 |
| Artículo 159. Liquidación anual..... | 51 |
| Limitaciones | 51 |
| CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO | 52 |
| Enfoque de la investigación | 53 |
| Método de investigación..... | 53 |
| Fuentes de información | 57 |
| Variables o Categorías de Análisis..... | 57 |
| Instrumentos | 58 |
| Proceso para la Recolección y Análisis de datos | 58 |
| CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS | 60 |
| Generación de energía con fuentes renovables (solar/eólica) | 61 |
| Propuestas de diseño del sistema híbrido fotovoltaico y eólico..... | 61 |
| Promedio mensual de energía fotovoltaica | 62 |
| Consumo eléctrico anual..... | 65 |
| Selección del micro-aerogenerador | 67 |
| Potencia eléctrica esperada debido a las turbinas eólicas y las variaciones del viento | 68 |
| Energía producida por micro-aerogenerador | 69 |
| Arreglo de paneles y consumo eléctrico generado por 147 paneles solares..... | 73 |
| Montaje de los 147 módulos en las áreas disponibles | 75 |

| | |
|--|-----|
| Diferencia de energía por cubrir de los aerogeneradores de pequeña potencia (diseño uno)..... | 79 |
| Comportamiento mensual de los 6 aerogeneradores | 80 |
| Diseño dos, análisis del sistema implementando un sistema de tipo conectado a la red 100% paneles solares con inversores | 83 |
| Selección del equipo fotovoltaico | 84 |
| Cálculo de inversores por utilizar diseño uno y dos..... | 84 |
| Calculo inversor solar propuestas diseño uno y dos..... | 85 |
| Calculo inversor común..... | 85 |
| Calculo del micro-inversor por utilizar | 86 |
| Cálculo de conductores y protecciones contra sobre tensión | 88 |
| Conductores en corriente directa (DC) | 88 |
| Protección de sobre tensión en corriente directa (DC) | 89 |
| Protección sobre tensión en AC | 90 |
| Conductor del electrodo de puesto a tierra..... | 90 |
| Tubería para instalación eléctrica | 90 |
| Elementos necesarios para la conexión a la red de los aerogeneradores | 91 |
| Turbina eólica..... | 91 |
| Generador | 91 |
| Rectificador | 92 |
| Controlador eólico..... | 92 |
| Inversor eólico..... | 92 |
| Soporte y acomodo de los paneles solares..... | 92 |
| Acomodo y soporte de paneles solares zona B..... | 93 |
| Acomodo y soporte paneles solares zonas C y D | 93 |
| Ángulo óptimo para el panel..... | 94 |
| Acomodo de los micro-aerogeneradores..... | 94 |
| Análisis financiero | 95 |
| Análisis financiero diseño uno, análisis del sistema híbrido (solar/eólico) supliendo el total de carga anual 100% del sistema tipo conectado a la red, implementando el uso de inversores en el sistema fotovoltaico..... | 96 |
| Análisis financiero diseño 2, análisis del sistema implementando un sistema de tipo conectado a la red 100% paneles solares con inversores y análisis con micro-inversores. | 101 |
| Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones | 107 |

| | |
|--|-----|
| Conclusiones | 108 |
| Recomendaciones | 110 |
| Capítulo VI: Propuesta..... | 112 |
| Planteamientos de diseño..... | 113 |
| Propuesta de implementación del diseño | 113 |
| Aspectos tomados en cuenta para la elección de la mejor propuesta de diseño | 113 |
| Fuentes de energías renovables | 113 |
| Energía generada por el sistema solar | 114 |
| Condiciones climáticas | 115 |
| Propuesta final del diseño seleccionado y resumen del costo del proyecto | 115 |
| Resumen del costo del proyecto seleccionado..... | 116 |
| Propuesta final, diseño dos planta solar supliendo la demanda total de la carga con inversores . | 116 |
| Soporte y acomodo de los paneles solares..... | 116 |
| Acomodo y soporte de paneles solares zona B..... | 116 |
| Acomodo y soporte paneles solares zonas C y D | 117 |
| Ángulo óptimo para el panel..... | 117 |
| Soportes paneles solares..... | 117 |
| Diagrama unifilar..... | 117 |
| Bibliografía | 119 |
| Apéndices..... | 121 |
| Apéndice A: Consumo eléctrico Liceo Académico de Belén | 121 |
| Apéndice B: Datos instituto meteorológico | 122 |
| Apéndice C: Ficha técnica turbina eólica Enair modelo E30 PRO | 124 |
| Apéndice D: Información técnica panel solar | 126 |
| Apendice E : ficha técnica inversor | 128 |
| Apéndice F: Controlador eólico Enair Pro-Grid | 131 |
| Apéndice G: Correo Enair | 132 |
| Apéndice I: Cotización sistema 89 módulos..... | 134 |
| Apéndice J: Soporte paneles solares..... | 135 |
| Apéndice K: Tasas de interés utilizadas | 135 |
| Apéndice L: Ficha técnica micro-inversor | 136 |
| Apéndice M: Costo micro-inversores..... | 137 |

Figuras.

| | |
|---|-----|
| <i>Figura 1. Imagen Satelital Liceo Académico de Belén</i> | 11 |
| <i>Figura 2. Pabellón A áreas de dirección y aulas de computación.</i> | 12 |
| <i>Figura 3. Vista techo zona B</i> | 12 |
| <i>Figura 4. Vista techo pabellón C</i> | 13 |
| <i>Figura 5. Vista techo pabellón D</i> | 13 |
| <i>Figura 6. Zona 5 comedor y galerón anexo</i> | 14 |
| <i>Figura 7. Imagen satelital de las zonas disponibles para la instalación del equipo</i> | 14 |
| <i>Figura 8. Conexión de paneles solares en serie</i> | 26 |
| <i>Figura 9. Conexión paneles solares en paralelo</i> | 27 |
| <i>Figura 10. Inclinación óptima de un panel solar</i> | 28 |
| <i>Figura 11. Sistema fotovoltaico</i> | 29 |
| <i>Figura 12. Aerogenerador de pequeña potencia</i> | 38 |
| <i>Figura 13. Sistema eólico</i> | 40 |
| <i>Figura 14. Diagrama de flujo</i> | 55 |
| <i>Figura 15. Acomodo de los 147 paneles solares</i> | 76 |
| <i>Figura 16. Diagrama unifilar sistema 89 paneles con micro-inversores</i> | 88 |
| <i>Figura 17. Zona 5, área disponible micro-aerogeneradores.</i> | 94 |
| <i>Figura 18. Diagrama unifilar sistema mixto</i> | 95 |
| <i>Figura 19. retorno de la inversión sistema 83,60 % de la carga demandada</i> | 100 |
| <i>Figura 20. Ahorro generado por el sistema 100% de la carga demanda</i> | 104 |
| <i>Figura 21. Ahorros generados sistema 100% solar con micro-inversores</i> | 106 |

Tablas

| | |
|---|----|
| <i>Tabla 1: Resumen área disponible</i> | 15 |
| <i>Tabla 2. Radiación solar, Belén Carrillo Guanacaste.</i> | 62 |
| <i>Tabla 3. Horas solar pico (HSP)</i> | 63 |
| <i>Tabla 4. Velocidad promedio del viento, Belén de Carrillo Guanacaste.</i> | 65 |
| <i>Tabla 5. Consumos eléctricos periodos 2017</i> | 65 |
| <i>Tabla 6. Características micro-aerogenerador Enair E30PRO.</i> | 67 |
| <i>Tabla 7: Potencia generada, según la curva de energía del micro-aerogenerador</i> | 69 |
| <i>Tabla 8. Energía producida por el micro-aerogenerador</i> | 70 |
| <i>Tabla 9. Ejemplo interpolación para el cálculo de la potencia generada mensualmente por los aerogeneradores.</i> | 71 |
| <i>Tabla 10. Potencia generada por 147 módulos solares vs Consumo eléctrico sistema convencional.</i> | 74 |
| <i>Tabla 11. Potencia generada por 74 módulos solares vs Consumo eléctrico sistema convencional.</i> | 78 |
| <i>Tabla 12. Diferencia energía por cubrir aerogeneradores de pequeña potencia</i> | 79 |

| | |
|---|------------|
| <i>Tabla 13. Comportamiento mensual sistema de seis aerogeneradores.....</i> | <i>81</i> |
| <i>Tabla 14: Consumo energético convencional vs consumo energético sistema híbrido</i> | <i>82</i> |
| <i>Tabla 15. Potencia generada por 89 módulos solares y Consumo eléctrico sistema convencional</i> | <i>83</i> |
| <i>Tabla 16. costo equipo solar diseño uno</i> | <i>96</i> |
| <i>Tabla 17. Facturación estimada del sistema solar contra facturación actual</i> | <i>98</i> |
| <i>Tabla 18. Continuación de tabla 17, facturación estimada del sistema solar contra facturación actual</i> | <i>98</i> |
| <i>Tabla 19. Ahorro generado al sistema solar</i> | <i>99</i> |
| <i>Tabla 20. Retorno de la inversión sistema 83,60% de la demanda.....</i> | <i>99</i> |
| <i>Tabla 21. Costo Sistema solar.....</i> | <i>101</i> |
| <i>Tabla 22. Facturación sistema solar contra sistema convencional.....</i> | <i>102</i> |
| <i>Tabla 23. Continuación facturación sistema solar contra sistema convencional.....</i> | <i>102</i> |
| <i>Tabla 24. Costo equipo solar supliendo el 100%.....</i> | <i>103</i> |
| <i>Tabla 25. Ahorros generados por el sistema 100% de la carga demandada.....</i> | <i>103</i> |
| <i>Tabla 26. Costo del equipo solar con micro-inversores.....</i> | <i>105</i> |
| <i>Tabla 27. Ahorros generados por el sistema 100% paneles con micro-inversores</i> | <i>105</i> |

Resumen

El propósito de realizar este diseño era bajar los altos consumos eléctricos que genera la institución Liceo Académico de Belén, por lo que se realizaron dos diseños electromecánicos en los cuales se incluyen las energías renovables solar y eólica.

El primer diseño que se realizará consta de un sistema híbrido solar/eólico, que busca suplir el 100% de la demanda energética de la Institución la cual el 83,60% será suplido por energía solar por medio de paneles solares y un 16,40% abastecerlo con energía eólica.

El diseño dos de igual manera se busca suplir el consumo energético total de la Institución, pero utilizando un 100% de energía solar.

Una vez realizados los cálculos de los dos diseños se efectuó un análisis financiero para determinar qué tan factible es el proyecto, puesto que no se tuvo respuesta de los fabricantes de los aerogeneradores para obtener los costos y facturas proformas de los aerogeneradores no se pudo obtener los costos y la inversión inicial para la implementación del sistema mixto, las bajas velocidades en los vientos generadas en la zona no eran óptimas para un proyecto de generación eólica ya que en la mayor cantidad de los meses del año los vientos no daban ni para que la turbina seleccionada arrancara por lo que se opta por implementar el diseño de generación 100% solar.

Se tomó la decisión de implementar el sistema de 100% generación fotovoltaica por las condiciones climáticas presentadas en el lugar, cuando se realizó el cálculo de rentabilidad del proyecto arrojó datos positivos que generarían un ahorro que beneficiaría a la Institución, las aéreas requeridas para la instalación de los paneles son las adecuadas para un sistema 100% solar.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema

¿Cuál es el diseño electromecánico óptimo utilizando energías renovables en una institución de educación media Liceo Académico de Belén ubicada en la zona de Belén Carrillo Guanacaste, Costa Rica?

Objetivos

Objetivo general

Efectuar el diseño electromecánico óptimo utilizando energías renovables en una institución de educación media Liceo Académico de Belén ubicada en la zona de Belén Guanacaste, Costa Rica.

Objetivos específicos

- Determinar el área disponible para la ubicación del sistema fotovoltaico y de aerogeneradores.
- Seleccionar la cantidad y dimensiones de los paneles solares y aerogeneradores necesarios para el diseño mixto, mediante la obtención de datos del consumo eléctrico mensual de la Institución.
- Establecer distintos tipos de diseño para determinar cuál es la mejor opción para implementar en la Institución
- Realizar un diagrama unifilar con la mejor opción de diseño, utilizando la normativa del Código Eléctrico Nacional 2008 (NEC).

- Obtener mediante visitas al Instituto Meteorológico Nacional los datos de radiación solar y velocidad del viento promedio para los sistemas de energías renovables que se implementarán en la Institución.
- Calcular mediante un análisis financiero la rentabilidad del proyecto, tomando en cuenta dos propuestas de diseño.

Justificación

Actualmente, la institución de educación media del Liceo Académico de Belén no cuenta con ningún tipo de sistema de energías renovables, a pesar de la zona donde está ubicada la institución, posee grandes capacidades para producir y aprovechar este tipo de energías , por lo que se confeccionará un diseño híbrido con lo que se aprovecharán las energías fotovoltaica y eólica.

Con la elaboración de este proyecto, se busca la disminución del consumo eléctrico mensual de la Institución; ya que éste presenta un alto consumo debido a la cantidad de equipos de computación, ventiladores, aires acondicionados y las iluminarías de los 4 pabellones, además del área y equipo de refrigeración del comedor de la Institución.

Mediante la implementación de este diseño mixto (solar/ eólico) se busca obtener ventajas provechosas para la Institución, tales como; generar energía eléctrica más eficientemente durante las horas sol del día, durante las noches y partes del día cuando las condiciones del viento se presten para utilizar los micro-aerogeneradores.

Otro aspecto importante sería contrarrestar el pico máximo energético de consumo hacia la red pública que llega alcanzar durante el día y la noche; ya que es un colegio diurno, nocturno y se estima un aproximado de estudiantes de la misma cantidad, tanto en el día y la noche.

Por lo que el alto consumo se debe sobre todo a la utilización de estos equipos, tanto los de aprendizaje como computadoras y los de uso diario como ventilación, luminarias y aires acondicionados.

Antecedentes

Antecedente N°1

Título: DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL COBAEV 35 XALAPA.

Autor: Héctor Domínguez González

Año: 2012

Institución: Universidad Veracruzana

En el presente trabajo, el autor tiene como objetivo principal crear un diseño de un sistema fotovoltaico y utilizar energías renovables para generar energía eléctrica en un edificio que está recibiendo su suministro eléctrico de la red convencional, también, se utiliza una ecuación para el cálculo de la radiación diaria, cuyos datos obtenidos serán de gran ayuda para poner en marcha el proyecto.

En el documento se menciona que se hace una investigación sobre las reformas energéticas existentes, además otro punto importante que se menciona es el de cumplir con los

requisitos para la factibilidad del proyecto con fuentes de energía renovables, para esto se realiza un diagnóstico energético en cumplimiento con los requisitos que establecen los financiamientos, en otras palabras, se realiza un análisis financiero para calcular la rentabilidad del proyecto.

Por otra parte, el autor menciona que este tipo de tecnología presenta diferentes ventajas tales como: instalación simple, emplea una fuente de energía limpia y gratuita, su operación es automática y silenciosa, requiere poco mantenimiento y es amigable con el ambiente. Además, menciona que el mantenimiento para este tipo de sistemas es relativamente sencillo y de bajo costo.

El presente documento puede ser de gran utilidad, ya que, además de poder utilizarse como referencia teórica, se pueden tomar en cuenta una gran variedad de conceptos.

Antecedente N° 2

Título: “Diseño de un sistema que incluya energía renovable fotovoltaica y la detección contra incendios para un edificio de oficinas ubicado en barrio La California.”

Autor: Ronald Solano Castillo

Año: 2017

Institución: Universidad Internacional de las Américas

En la tesis realizada el autor tiene como propósito diseñar un sistema de detención de incendios que incluya la energía renovable fotovoltaica para un edificio ubicado en barrio La California San José, Costa Rica, muy importante mencionar que el presente documento obtiene información actualizada sobre la radiación solar en el país.

El expositor del documento menciona que la energía solar cumple un rol muy importante en nuestra época por ser a una fuente de energía renovable, inagotable, limpia, sustentable.

Mediante un análisis en la zona pretende realizar la descripción, con el fin de determinar los distintos ángulos de inclinación del sol para poder realizar el diseño para la instalación de los paneles solares.

En este documento se mencionan algunas normativas que se han de tener en cuenta en el momento de diseñar e implementar un sistema fotovoltaico.

También, se menciona y da información detallada de los tipos de sistemas fotovoltaicos existentes, tales como el sistema autónomo y el sistema interconectado, donde el sistema autónomo es el que está conectado a baterías que permiten almacenar energía eléctrica para ser usada en periodos de poco aprovechamiento de radiación solar, importante mencionar que pueden haber sistemas autónomos con elementos de consumo en corriente directa y corriente alterna, mientras tanto que los sistemas fotovoltaicos interconectados están conectados a la red convencional, por ende, no posee baterías ni reguladores, así componiéndose el sistema solamente de los módulos fotovoltaicos y el inversor.

Antecedente N° 3

Título: “MODELADO DE LA GENERACIÓN EÓLICA PARA ESTUDIOS EN REDES ELÉCTRICAS”

Autor: ING. CÉSAR HEBERTO OCHOA RUIZ

Año: 2011

Institución: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

En el presente trabajo investigativo el autor se basó en tres partes principales.

En la primera parte resume las principales topologías de turbinas eólicas existentes y con base en éstas, se selecciona una topología con la cual trabajar, que es la turbina eólica de

velocidad variable equipada con generador de inducción doblemente alimentado. La selección de esta topología viene motivada por sus importantes ventajas con respecto de las demás topologías.

El autor menciona que la principal ventaja es que cuenta con un convertidor de potencia en configuración back-to-back que permite la operación de velocidad variable, en comparación a las turbinas eólicas de velocidad fija. Además, se diseña para el 30 % de la potencia nominal de la turbina, reduciendo así las pérdidas eléctricas debidas a la conmutación de los semiconductores, esta ventaja es sobre las turbinas eólicas con convertidor de potencia de escala completa, las cuales sí cuentan con un convertidor, pero éste se diseñan para el 100 % de la potencia nominal de la turbina, lo cual significa mayores pérdidas.

En la segunda parte se desarrollan los modelos de los subsistemas que conforman el modelo completo propuesto del sistema de generación de las turbinas eólicas de velocidad variable.

Por último, se realiza un estudio de estabilidad de pequeña señal para comprobar la estabilidad del sistema ante pequeños disturbios. Se da una breve introducción de estabilidad de pequeña señal, se presenta el caso de estudio, el modelo en espacio de estados del sistema de generación eólico y los resultados obtenidos.

Proyecciones

Lo que se espera de esta investigación es entregar a la institución Liceo Académico de Belén el análisis de dos propuestas de diseño electromecánico incluyendo las energías fotovoltaicas y eólica, donde se escogerá cuál de los dos diseños es el más adecuado para la implementación en la Institución.

Toda la información del diseño elegido se adjuntará y se entregará en forma digital (CD), en donde se encontrarán memorias de cálculo, plano del diseño seleccionado, presupuestos de los costos de los materiales del sistema de paneles solares y aerogeneradores.

CAPÍTULO II: Marco Referencial

Diagnóstico

Información actual de la institución

Puesto que es una institución de educación secundaria la población estudiantil es muy elevada, y el gasto energético es muy elevado. Con la creación de este diseño, se pretende abastecer los siguientes equipos; aires acondicionados, los sistemas de iluminación, receptáculos, abanicos de techo, entre otros sistemas.

La ubicación exacta donde se encuentra la Institucion y en donde se realizará el estudio de generacion fotovoltaica y eólica será en la provincia de Guanacaste, en Belén de Carrillo, específicamente, en las cordenadas $10^{\circ}24'39''$ N, $85^{\circ}35'00''$ W, tal y como se muestra en la Figura 1.

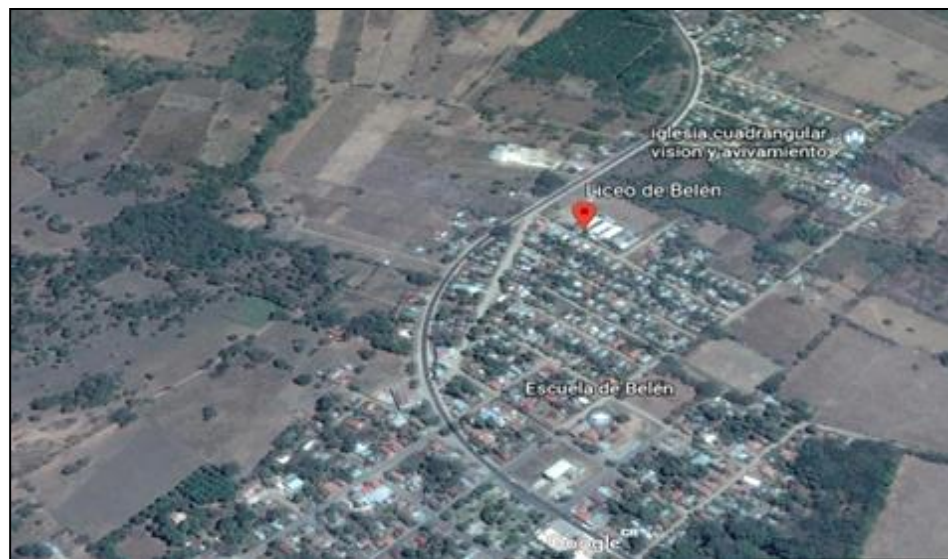


Figura 1. Imagen Satelital Liceo Académico de Belén
Fuente: Elaboración propia

A continuación, con el fin de visualizar de una mejor manera se presenta el área donde se realizará el ensamblaje del equipo fotovoltaico y eólico, este edificio es una sola edificación dividida en 4 pabellones y el área del comedor estudiantil y adjunto a éste un galerón.



Figura 2. Pabellón A áreas de dirección y aulas de computación.
Fuente: Elaboración propia



Figura 3. Vista techo zona B
Fuente: Elaboración propia



Figura 4. Vista techo pabellón C
Fuente: Elaboración propia



Figura 5. Vista techo pabellón D
Fuente: Elaboración propia



Figura 6.Zona 5 comedor y galerón anexo
Fuente: Elaboración propia

En la figura 7 se muestra las zonas que se tienen para la instalación de los paneles y los aerogeneradores.

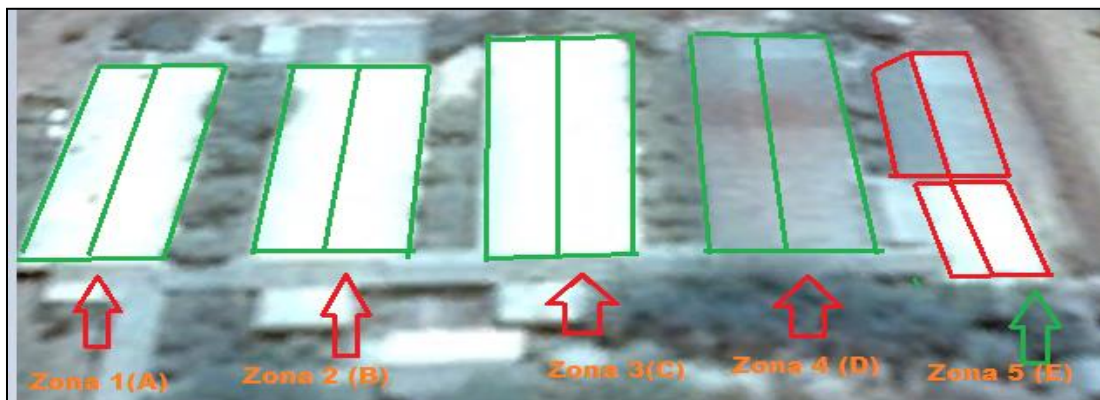


Figura 7.Imagen satelital de las zonas disponibles para la instalación del equipo
Fuente: Google Earth

La zona 5 demarcada con rojo muestra el área disponible en donde planea instalar los aerogeneradores de pequeña potencia, y las zonas demarcadas en verde son las zonas destinadas para la instalación de los paneles solares.

En el cuadro que se mostrará continuación, se observa el resumen de la cantidad de área disponible en metros cuadrados (m^2) por zona para la instalación de los paneles solares y torres eólicas:

Tabla 1: Resumen área disponible

| Resumen del área disponible | |
|---|----------------|
| Zonas | Área (m^2) |
| Pabellón A (zona 1) | 416 |
| Pabellón B (zona 2) | 447 |
| Pabellón C (zona 3) | 517 |
| Pabellón D (Zona 4) | 517 |
| Comedor estudiantil y anexo al galerón (zona 5) | 351 |
| Área total disponible | 2248 |

Fuente: Aplicaciones de Google Earth

Las zonas del área de techado tienen un área total de 2248 metros cuadrados como se muestra en el cuadro 1, esto sin restar el área que ocupan los sistemas de aire acondicionados, que se encuentran en la zona 1.

En el área restante se instalarán una cantidad de paneles solares y micro aerogeneradores con los cuales se espera conseguir un ahorro energético que beneficiará a la Institución.

Marco teórico

Energías Renovables

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales. (EduRED, "S.F")

Energía eólica

Es la que se obtiene de la fuerza del viento, es decir, mediante la utilización de la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire. El término eólico viene del latín *Aeolicus*, perteneciente o relativo a Éolo o Eolo, dios de los vientos en la mitología griega y, por tanto, perteneciente o relativo al viento. 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 aspas. La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire, que desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales al (gradiente de presión). La energía eólica es un recurso abundante, renovable, limpio y ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar termoeléctricas a base de combustibles fósiles, lo que la convierte en un tipo de energía verde. (EcuRED, "S.F")

La energía Solar

Antes de iniciar con el estudio de paneles solares y todo al respecto sobre este tipo de sistema de energía renovable se tiene que hablar un poco de la energía solar.

La energía solar es aquella que se obtiene de la radiación solar que llega a la Tierra en forma de luz, calor o rayos ultravioleta. Es un tipo de energía limpia y renovable, pues su fuente, el Sol, es un recurso ilimitado.

La energía solar puede aprovecharse de dos maneras: mediante la conversión térmica, que consiste en transformar la energía solar en energía térmica, y la conversión fotovoltaica, en la cual se emplean paneles solares para recolectar la energía luminosa y convertirla en eléctrica.

La energía proveniente del Sol ha sido aprovechada por los seres humanos desde tiempos antiguos de manera múltiples. Un ejemplo de ello es la utilización del Sol como fuente de calor para secar la ropa.

La energía solar es importante para el planeta, pues es un recurso energético renovable que podría reducir nuestra dependencia de los combustibles fósiles, altamente contaminantes. Además, ayuda al desarrollo sustentable, disminuye la contaminación y reduce el impacto ambiental. (EcuRED, "S.F")

Sistemas híbridos (solar/eólico)

El sistema híbrido es la unión de dos sistemas de generación a base de recursos renovables o naturales. (...)

Este sistema tiene mayor eficiencia debido a que los sistemas de generación que lo componen son complementarios, en este caso se tiene generación eólica solar fotovoltaica; si existe disminución de viento el sistema no se verá afectado debido a que la parte fotovoltaica la cual ayuda al sistema a evitar pérdidas o bajas de generación, y lo mismo ocurrirá en sentido contrario; si disminuye la radiación solar por aspectos climáticos. (Significados, 2017)

Radiación solar

La energía solar resulta del proceso de fusión nuclear que tiene lugar en el sol. Esta energía es el motor que mueve nuestro medio ambiente, siendo la energía solar que llega a la superficie terrestre 10.000 veces mayor que la energía consumida, actualmente, por toda la humanidad.

La radiación es transferencia de energía por ondas electromagnéticas y se produce directamente desde la fuente hacia fuera en todas las direcciones. Estas ondas no necesitan un medio material para propagarse, pueden atravesar el espacio interplanetario y llegar a la Tierra desde el Sol. El flujo de radiación recibido por la superficie terrestre es una de las variables más importantes del Planeta. (...) (MINISTERIO, "S.F")

Depende principalmente de factores astronómicos como la traslación de la Tierra alrededor del Sol, la inclinación sobre su eje y la actividad solar; aunque también se ve afectada por factores locales, tales como la cobertura nubosa o la absorción energética atmosférica. Es claro que la presencia de elementos topográficos, tales como montañas, lagos o valles, es un factor determinante de la cantidad de radiación que recibe un lugar en cualquier época del año.

Energía eléctrica producida a partir de energía solar

La producción está basada en el fenómeno físico denominado "efecto fotovoltaico", que, básicamente, consiste en convertir la luz solar en energía eléctrica por medio de unos dispositivos semiconductores denominados células fotovoltaicas. Estas células están elaboradas a base de silicio puro (uno de los elementos más abundantes, componente principal de la arena) con adición de impurezas de ciertos elementos químicos (boro y fósforo). Las células se montan en serie

sobre paneles o módulos solares para conseguir un voltaje adecuado. Parte de la radiación incidente se pierde por reflexión (rebota) y otra parte por transmisión (atraviesa la célula). El resto es capaz de hacer saltar electrones de una capa a la otra creando una corriente proporcional a la radiación incidente. La capa antirreflejo aumenta la eficacia de la célula. (...) (Heinrich , Pacheco, Solera , & Alfaro, (2013))

Paneles solares

Un panel solar no es más que un dispositivo encargado de captar la energía solar para posteriormente, ser aprovechada, también se les llama módulo solar.

Los paneles fotovoltaicos son estructura usadas con el fin de aprovechar la luz solar y forma parte de los diversos instrumentos utilizados con este fin. Es un aparato que capta la energía de los rayos solares para aprovecharlos al máximo. Cuando se habla de panel solar se hace referencia, tanto a los colectores solares usados para calentar el agua en casa a través del sol, así como a los paneles o plantas fotovoltaicas, empleados para producir electricidad usando los fundamentos de la energía solar fotovoltaica.

Es importante decir que esas radiaciones radio-magnéticas que envía el sol en forma de energía, percibida como luz y calor, se aprovecha desde hace mucho tiempo atrás y que no es nada nuevo, pero lo que sí es muy actual es la importancia del aprovechamiento de esta energía, debido al “rumbo” que se dice lleva este planeta. (...) (ENERGÍA ECOLÓGICA, "S.F")

Tipos de paneles solares

Paneles fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos son los cuales contienen celdas que se encargan de transformar la energía proveniente del sol en electricidad. (ENERGÍA ECOLÓGICA, "S.F")

Paneles solares térmicos

Este tipo de paneles funciona colectando la energía para obtener calor; muy comúnmente utilizados en calentadores para el agua (calentadores solares), donde cada panel tiene placas solares que son receptoras y que están conectadas a conductos por los que circula el líquido que se desea calentar. (ENERGÍA ECOLÓGICA, "S.F")

Funcionamiento paneles solares

La forma en que funcionan los paneles fotovoltaicos se fundamenta en la acción fotovoltaica producida cuando chocan los rayos solares sobre placas hechas de materiales semiconductores que han sido debidamente tratados, logrando con esto generar electricidad.

En otras palabras, los paneles fotovoltaicos funcionan adsorbiendo la luz del sol, para ello es importante saber cuánta luz es captada por él, ya que ésta será proporcional a la energía que puede suministrar.

Cuando la luz incide sobre la superficie del panel fotovoltaico, parte de la radiación es reflejada y la otra es transmitida por los conductores que tiene cada celda solar del panel.

Las células fotovoltaicas o solares (el módulo de menor tamaño del material semiconductor que es capaz de generar electricidad) se ordenan de diferentes formas para

alcanzar el voltaje y la potencia deseados, para así lograr que la energía del sol se termine convirtiendo en energía consumible. (ENERGÍA ECOLÓGICA, "S.F")

Ventajas y desventajas de los paneles solares

El uso de paneles fotovoltaicos ha sido de gran ayuda en lo que respecta de generar energía, las ventajas son muchas y por lo general superan con creces las desventajas. Sin embargo el camino hacia el uso de nuevas fuentes de energías limpias ha resultado cuesta arriba y se han presentado dificultades para implementarlas. Analicemos las ventajas y las desventajas de los paneles fotovoltaicos. (ENERGÍA ECOLÓGICA, "S.F")

Ventajas de los paneles solares

- La ventaja por excelencia del uso de módulos solares es que es una manera de obtener energía limpia de una fuente de la naturaleza que es en esencia ilimitada. No se necesita usar combustibles fósiles ni energía del tipo nuclear para esto. El petróleo está acabándose y no se puede depender ya de él. La energía solar es una que no produce residuos contaminantes en contraste con las obtenidas de otras fuentes limitadas, que generan gases dañinos para la atmósfera.
- Estos módulos solares permitirán ahorrar energía y dinero. Instalarlos no es para nada complicado y pueden durar mucho tiempo funcionando. El mantenimiento no es costoso ni engorroso.
- Si instalas un panel solar los beneficios serán casi eternos y tendrás energía eléctrica hasta que el Sol se apague, es decir, nunca lo hará.

- Podrás liberarte del monopolio de las empresas eléctricas, puedes ser tu propio suministro de energía gracias a estos innovadores aparatos. (ENERGÍA ECOLÓGICA, "S.F")

Desventajas de los paneles solares

- Parece contradictorio, pero, aunque los paneles fotovoltaicos generan energía limpia, para poder fabricarlos es necesario utilizar energías contaminantes. Se debe obtener silicio y arseniuro de galio de las profundidades de la Tierra y luego ser sometidos a diferentes procesos para que puedan formar parte del panel solar, esto requiere de un proceso contaminante.
- A pesar de que proporcionan energía gratuita, en el momento de instalar módulos solares son mucho más caros que una instalación eléctrica convencional. Y el precio varía de acuerdo a las necesidades de cada hogar, cuanto mayores sean las necesidades mayores será el costo. Es bueno mencionar que el costo se recupera con creces a medida que pase el tiempo, pero no todos pueden costear esta tecnología.
- Otro punto negativo sería el clima del lugar, los módulos solares necesitan mucha luz solar y funciona bien en lugares secos y cálidos. Pero en los lugares fríos y húmedos estos no sirven de mucho porque no podrán generar mucha energía en comparación a la demanda del hogar.
- El factor espacio, también, es determinante, para usar paneles fotovoltaicos eficientemente es necesario que sean muy grandes, para una casa pequeña, puede que los paneles abarquen más espacio que la propia casa. (ENERGÍA ECOLÓGICA, "S.F")

Elementos constituyentes de un sistema solar fotovoltaico

Célula fotovoltaica

La célula fotovoltaica es la parte del panel fotovoltaico encargada de transformar la radiación solar en energía eléctrica gracias al efecto fotovoltaico. El resultado es una corriente eléctrica en corriente continua.

Generalmente, un módulo o panel solar fotovoltaico consiste en una asociación de células fotovoltaicas, encapsulada en dos capas de EVA entre una lámina frontal de vidrio y una capa posterior de un polímero termoplástico u otra lámina de cristal cuando se desea obtener módulos con algún grado de transparencia. Habitualmente, este conjunto de elementos se enmarca en una estructura de aluminio anodizado con el objetivo de aumentar la resistencia mecánica del conjunto y facilitar el anclaje del módulo a las estructuras de soporte.

Las células fotovoltaicas más comúnmente empleadas en los paneles fotovoltaicos son de silicio, y se puede dividir en tres subcategorías:

- Las células de silicio mono cristalino están constituidas por un único cristal de silicio. Este tipo de células presenta un color azul oscuro uniforme.
- Las células de silicio poli cristalino o multicristalino están constituidas por un conjunto de cristales de silicio, lo que explica que su rendimiento sea algo inferior al de las células mono-cristalinas.
- Las células de silicio amorfo o capa fina. Son menos eficientes que las células de silicio cristalino, pero también, menos costosas. Este tipo de células es, por

ejemplo, el que se emplea en aplicaciones como calculadoras o pequeños aparatos que no requieren de una gran cantidad de energía. (Ecosistemas del sureste C.B, (2015))

Inversores

Los inversores son convertidores de corriente continua a corriente alterna que permiten transformar la corriente continua que produce los paneles y almacenan las baterías en corriente alterna, esto permite usar los aparatos convencionales. Uno de los requisitos de los inversores es tener una eficiencia alta, deben estar protegidos contra cortocircuitos y sobrecargas, incorporar rearme y desconexión automática cuando no se está empleando ningún tipo de corriente alterna, admitir demandas instantáneas de potencias mayores del 200% de su potencia máxima, cumplir con los requisitos que para instalaciones de 220 V de corriente alterna establece el reglamento electrotécnico de baja tensión. (Ecosistemas del sureste C.B, (2015))

Micro inversor

Los micro inversores contrastan con los inversores de cadena convencional o dispositivos de inversión central, que están conectados a múltiples paneles solares, debiéndose cambiar el inversor cuando se añade uno más paneles solares nuevos a la instalación inicial.

Los micros inversores tienen varias ventajas sobre los inversores centrales convencionales. La principal ventaja es que cuando se presenta una pequeña cantidad de sombra, escombros o líneas de nieve sobre un mismo panel solar o si, incluso, ocurre un fallo completo de un panel, no se reduce de manera desproporcionada la producción de todo el conjunto. Cada micro inversor recoge la cantidad de energía óptima mediante la realización del seguimiento del punto de máxima potencia para su panel conectado.

También, son fáciles de diseñar y almacenar, ya que normalmente hay un único modelo de convertidor que se puede utilizar con cualquier tamaño de matriz o conjunto y con una amplia variedad de paneles.

El micro inversor que aceptan la entrada de CC a partir de dos paneles solares, en lugar de uno, son un desarrollo reciente. Llevan a cabo el seguimiento del punto de máxima potencia de forma independiente en cada panel conectado. Esto reduce el coste del equipo y convierte a los sistemas fotovoltaicos basados en micro-inversores comparables en coste con el uso de los inversores de cadenas. (wikipedia, (2018))

Regulador

Un regulador solar (o de carga) es un dispositivo encargado de controlar constantemente el estado de carga de las baterías, así como de regular la intensidad de carga con el fin de alargar la vida útil de las baterías. Controla la entrada de corriente proveniente del panel solar y evita que se produzcan sobrecargas y sobre descargas profundas en la batería.

Cableado

El cableado es el elemento que transporta la energía eléctrica desde su generación, para su posterior distribución y transporte. Su dimensionamiento viene determinado por el criterio más restrictivo entre la máxima diferencia de potencial y la intensidad máxima admisible.

Estructuras de soporte

Estructuras fijas. Son muy utilizadas en el ámbito de los módulos fotovoltaicos planos. Dotan a los paneles de ángulos fijos, determinados por la latitud del lugar, que maximizan la

eficiencia de la instalación. Existen modelos para tejado, pared, suelo, poste e inclusive con integración arquitectónica.

Estructuras móviles.

Su concepción es bastante distinta, gracias a uno o dos ejes móviles consiguen aumentar la captación solar de los módulos fotovoltaicos realizando un seguimiento del Sol (una forma similar al proceder de los girasoles, por ejemplo). Obviamente, esta movilidad requiere de un consumo eléctrico y su mayor complejidad mecánica, también, conlleva más operaciones de mantenimiento. (SOLARMAT, (2017))

Conexiones paneles solares

Conexión 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, tal como se muestra. A diferencia de la conexión en paralelo se mantiene la intensidad y se suma el voltaje.

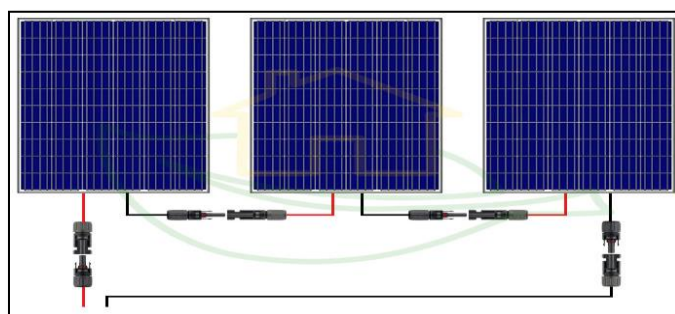


Figura 8. Conexión de paneles solares en serie
Fuente: AutoSolar Energía del Perú.

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).

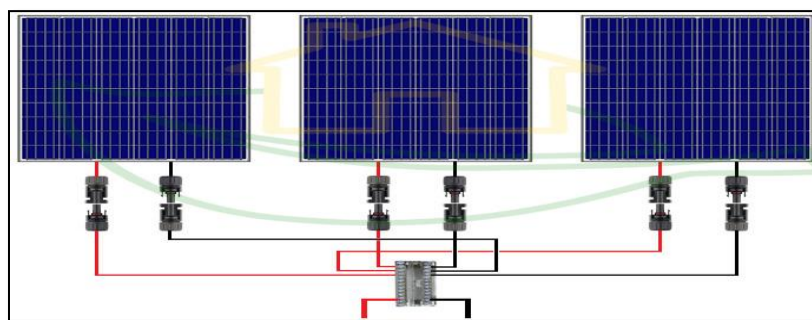


Figura 9. Conexión paneles solares en paralelo
Fuente: AutoSolar Energía del Perú.

Orientación de los paneles solares

Inclinación placas solares

La inclinación de las placas solares debe 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 de 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 nuestro planeta. Varía en función de la latitud del lugar y la época del año de observación. En el hemisferio norte del planeta el sol está bajo en el horizonte a medida que avanzamos 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.

Inclinación Solar: ¿Cuál es el ángulo de los paneles solares?

La gente tiende a aplicar una regla simple, utilizando el ángulo de inclinación igual a la latitud del lugar donde se encuentra la instalación. Esta regla permite obtener un promedio simple del ángulo de inclinación de los paneles, que podrían beneficiarse de un rendimiento promedio aceptable durante todo el período del año. (cultivarsalud, 2015)

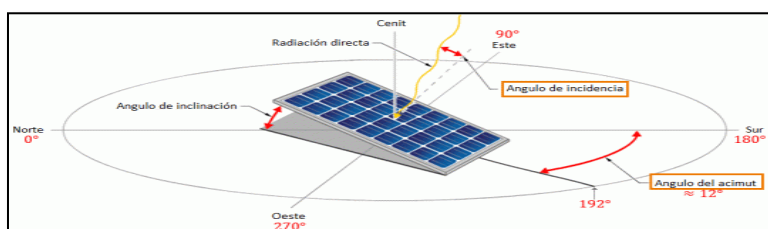


Figura 10. Inclinación óptima de un panel solar
Fuente: SunFields

Sistema solar fotovoltaico de generación

El sistema solar fotovoltaico de generación es un sistema de generación eléctrica que se basa en el aprovechamiento de la luz e irradiación emitida por el sol como recurso renovable, los paneles captan la irradiación solar y convierte esta luz en energía eléctrica.

Esto es producido por el efecto de las células fotovoltaicas, el cual se manifiesta como materiales tipo P y tipo N en su estructura, el cual envía la corriente generada al banco de almacenamiento, al inversor de corriente y a la carga, tomando en cuenta que el regulador entra en funcionamiento de acuerdo con la demanda existente en la carga y a los niveles de voltaje y corriente del banco de baterías.

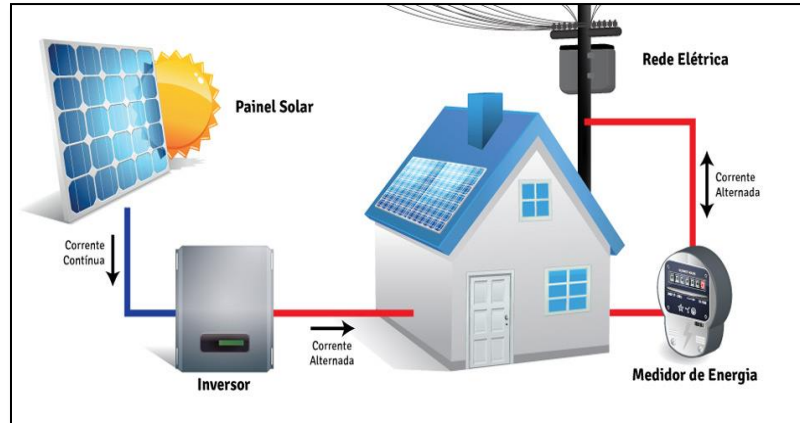


Figura 11. Sistema fotovoltaico
Fuente: JRsolar.

Autoconsumo Fotovoltaico

El autoconsumo fotovoltaico hace referencia a la producción individual de electricidad para el propio consumo, a través de paneles solares fotovoltaicos.

Esta práctica puede ser llevada a cabo por individuos, familias, empresas, centros públicos, etc., siempre y cuando la electricidad producida solo la utilicen estos. El sistema tecnológico que se utiliza para generar la electricidad es denominado sistema de autoconsumo. (Moreira & Noroña, 2015)

Procedimiento para los cálculos necesarios de un sistema fotovoltaico

Ecuación para el cálculo del consumo energético

Ecuación 1: Consumo energético

$$\text{Consumo energético(KWh)} = \frac{P(W) * Hd * N}{1000} \quad (1)$$

Donde se tiene que:

- P: Potencia real de cada dispositivo
- Hd: Horas diarias de uso del dispositivo
- N: Número de dispositivos utilizados (Profesor en línea , (2015))

Hora solar pico (HSP)

La hora solar pico (HSP) es una unidad que mide la irradiación solar y se define como la energía por unidad de superficie que se recibiría con 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 y como se muestra en la siguiente conversión

Ecuación 2: Cálculo horas solar pico (HSP)

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

Se utiliza en el dimensionamiento de paneles fotovoltaicos. (Wikipedia , 2018)

Cantidad de paneles necesarios para el sistema

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

Ecuación 3: Cálculo de la cantidad de paneles necesarios

$$N_p = E / (0.9 * W_p * HSP) \quad (3)$$

Donde se tiene que:

- N_p : Es el número de paneles solares necesarios
- E : Es el consumo energético real
- W_p : Es la potencia pico del panel
- HPS : Son las horas pico solares

También se puede utilizar otra fórmula:

Ecuación 4: Cálculo de números de paneles necesarios

$$N_p = E / (Pr * W_p * HPS) \quad (4)$$

- N_p : Es el número de paneles solares necesarios
- E : Es el consumo energético real
- W_p : Es la potencia pico del panel
- HPS : Son las horas pico solar
- Pr : Es el rendimiento energético de la instalación, definido como la eficiencia de la instalación en condiciones reales de trabajo, en el que se tienen en cuenta las siguientes pérdidas originadas:

Pérdida por dispersión de potencia de los módulos.

Pérdida por incremento de temperatura de las células fotovoltaicas.

Pérdida por acumulación de suciedad.

Pérdida por sombra.

Pérdida por degradación de los módulos.

Pérdida eléctrica.

Pérdida por reluctancia.

Otra ecuación para el cálculo de cantidad de paneles:

Ecuación 5: Cálculo de la cantidad de paneles necesarios

$$C_p = \frac{A_r}{P_p} \quad (5)$$

- C_p = Cantidad de paneles
- P_p = Potencia del panel fotovoltaico
- A_r =Potencia total del arreglo de paneles

Para la potencia total del arreglo de los paneles se utiliza otra fórmula;

Ecuación 6: Cálculo de la potencia total de arreglo de paneles

$$A_r = \frac{1200 * E_d}{I_d} \quad (6)$$

1200= Factor compensación de pérdidas

E_d = Potencia por cubrir (KWh/día)

I_d = Irradiación de la zona diaria (KWh/m²) (ingemecanica, "S.F")

Cálculo del ángulo para la instalación de paneles solares

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

Ecuación 7: Cálculo del ángulo óptimo para la instalación de los paneles solares.

$$I_m = \Phi + 10^\circ \quad (7)$$

Donde se tiene que:

- I_m : Es la inclinación máxima en grados
- Φ : Es la latitud del lugar de la instalación. (cultivarsalud.com, (2013))

Cálculo del inversor

Para dimensionar el inversor adecuado se hace necesario calcular la tensión y corriente generada en el punto de máxima potencia de funcionamiento de los paneles solares, y usarlo como dato mínimo para la selección.

La energía eólica

La energía eólica es la forma de energía renovable que se obtiene al explotar la fuerza del viento. En concreto, es la capacidad de un sistema para transformar la fuerza que tiene el viento en electricidad. Esta energía se explota a través de un equipo llamado aerogeneradores,

compuesto, en síntesis, por una turbina eólica situada en la parte superior de una torre de soporte y un generador eléctrico, cuyo principio de funcionamiento es el mismo que el de los antiguos molinos de viento.

¿Cómo funciona la energía eólica?

Las palas del viento, giradas por el viento, transforman la energía cinética producida por el viento en energía mecánica, luego un generador conectado a las palas transforma la energía mecánica producida por la rotación de las palas en energía eléctrica.

Las palas están conectadas a este generador o rotor, a su vez, conectado a un "eje" (colocado en el polo), que envía la energía de rotación al generador eléctrico colocado en la base de la estructura. Este generador utiliza algunos imanes y propiedades de inducción electromagnética para producir un voltaje eléctrico (es decir, una diferencia en la carga eléctrica) y, por lo tanto, energía eléctrica.

Existen varios tipos de turbinas y varios tipos de cuchillas dependiendo de su tamaño o tipo de eje.

Debido a la desaceleración que sufre el viento a través del aerogenerador, solo el 59% de la energía cinética se puede convertir en energía mecánica.

Ventajas e inconvenientes de la energía eólica

Ventajas de la energía eólica

- Fuente inagotable la energía eólica es una fuente válida de energía renovable. Lanza la producción de electricidad a partir de combustibles fósiles. El viento es una fuente abundante e inagotable disponible en muchos lugares del mundo.
- Ocupa poco espacio un campo o parque eólico ocupa un área más pequeña o de hecho necesita de menos terreno para poder lograr acumular una energía eólica considerable que transformar en energía eléctrica.
- No contamina la energía eólica es una fuente de energía limpia con un bajo impacto ambiental. No produce gases tóxicos y las propias turbinas eólicas pueden enfrentar un ciclo de vida muy largo antes de ser enviadas para su eliminación.
- Los costos de las turbinas eólicas y el mantenimiento de la turbina son relativamente bajos. Un costo por kW producido, en áreas muy ventosas, es bastante bajo.

Desventajas de la energía eólica

- El viento no está garantizado, así como las condiciones climáticas, son relativamente impredecibles por lo que no es posible estimar, exactamente, un plan para devolver la inversión.
- Los grandes parques eólicos tienen un fuerte impacto paisajístico y son visibles desde largas distancias. La altura promedio de las turbinas de viento de las plantas grandes oscila entre 50 y 80 metros con cuchillas giratorias que se elevan verticalmente por otros 40 metros. Es importante enfatizar que el impacto del

paisaje no es una desventaja para todos. La mayor comodidad de instalación se ve agravada por el impacto del paisaje. En general, el viento sopla más fuerte en las costas, en lugares montañosos y en las montañas, por lo que un parque eólico puede desfigurar un buen paisaje.

- Los parques eólicos pueden tener un impacto negativo en la avifauna local, especialmente, entre las aves rapaces nocturnas. El impacto en la avifauna viene dictado por las paletas giratorias que pueden moverse hasta una velocidad de 70 km por hora. Las aves no son capaces de reconocer visualmente las cuchillas que se mueven tan rápido chocando con ellas fatalmente.

Aerogeneradores

Un aerogenerador es un generador eléctrico que funciona convirtiendo la energía cinética del viento en energía mecánica a través de una hélice y en energía eléctrica gracias a un alternador. En este caso, la energía eólica (en realidad la energía cinética del aire en movimiento), proporciona energía mecánica a un rotor hélice que, a través de un sistema de transmisión mecánico, hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador trifásico, que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica.

Los aerogeneradores pueden trabajar de manera aislada o agrupados en parques eólicos o plantas de generación eólica, distanciados unos de otros, en función del impacto ambiental y de las turbulencias generadas por el movimiento de las palas.

Para aportar energía a la red eléctrica, los aerogeneradores deben estar dotados de un sistema de sincronización para que la frecuencia de la corriente generada se mantenga perfectamente sincronizada con la frecuencia de la red.

Aerogeneradores de pequeña potencia

Las instalaciones eólicas de pequeña potencia presentan unas características propias, que las dotan de una serie de ventajas adicionales respecto de la gran eólica, como una potencial mayor eficiencia global por las pérdidas evitadas en las redes de transporte y distribución, y que permiten la integración de generación renovable sin necesidad de crear nuevas infraestructuras eléctricas.

Además, pueden fomentar la implicación ciudadana en la mejora de la eficiencia energética, el autoabastecimiento energético y la lucha contra el cambio climático. A continuación, se citan las más significativas:

- Generación de energía próxima a los puntos de consumo.
- Versatilidad de aplicaciones y ubicaciones, ligado al autoconsumo, con posibilidad de integración en sistemas híbridos.
- Accesibilidad tecnológica al usuario final, facilidad de transporte de equipamientos y montaje.
- Funcionamiento con vientos moderados, sin requerir complejos estudios de viabilidad.
- Aprovechamiento de pequeños emplazamientos o de terrenos con orografías complejas.
- Suministro de electricidad en lugares aislados y alejados de la red eléctrica.

- Optimización del aprovechamiento de las infraestructuras eléctricas de distribución existentes.
- Bajo coste de operación y mantenimiento y elevada fiabilidad.
- Reducido impacto ambiental, por menor tamaño e impacto visual, y por su integración en entornos con actividad humana.

Técnicamente, estas aeroturbinas tienen una estructura similar a las grandes, solo que su diseño es mucho más simple (sistemas de orientación pasivos, generadores eléctricos robustos de bajo mantenimiento, ausencia de multiplicadores...). Su sencillez de funcionamiento hace que, en general, estas pequeñas instalaciones puedan ser atendidas por los propios usuarios.



Figura 12. Aerogenerador de pequeña potencia
Fuente: Prisolar.

Recurso eólico suficiente

En este punto, ya debemos entrar a considerar el factor viento o recurso eólico disponible en nuestra ubicación. El viento tiene dos componentes principales que afectan al diseño de la instalación:

La dirección del viento

Se corresponde con el punto desde el cual sopla el viento y se mide con una veleta. El estudio en detalle de las direcciones predominantes del viento determinará la ubicación y orientación de nuestro aerogenerador.

La velocidad del viento

La velocidad o intensidad del viento se mide en velocidad (Km/h, m/s o nudos). Se estudia mediante un anemómetro que suele también incorporar una veleta.

Ambas magnitudes deben considerarse en valores medios anuales aunque también hay que tener en cuenta las variaciones diarias y la estacionalidad ya que afectarán a la distribución de la producción eléctrica.

Como normas generales, se debe saber que:

- La velocidad del viento aumenta con la altitud por la disminución de la fricción causada por los obstáculos y la propia superficie terrestre
- La velocidad del viento media es menor durante la noche, aumenta a partir de la salida del sol con un máximo entre las 12 y las 16h.

Para analizar la viabilidad de la instalación, la variable clave es la velocidad media del viento en nuestra ubicación concreta y abarcando como mínimo un año para reflejar la

estacionalidad. Además, suele utilizarse la estadística para analizar la idoneidad en detalle, por ejemplo, mediante las conocidas distribuciones Weibull o Raleigh. No olvidemos que el viento tiene una elevada componente aleatoria.

Sistema eólico de generación

El sistema eólico de generación es un sistema de generación eléctrica basado en el aprovechamiento de viento como recurso renovable, éste es el encargado de dar movimiento a las aspas mediante el eje conectado al multiplicador o caja de engranajes.

Este es el encargado de aumentar las revoluciones por minuto (r.p.m.) en el generador eléctrico, el cual envía la corriente generada al banco de almacenamiento, al inversor de corriente y a la carga, tomando en cuenta que el regulador entra en funcionamiento de acuerdo con la demanda existente en la carga y a los niveles del banco de baterías.

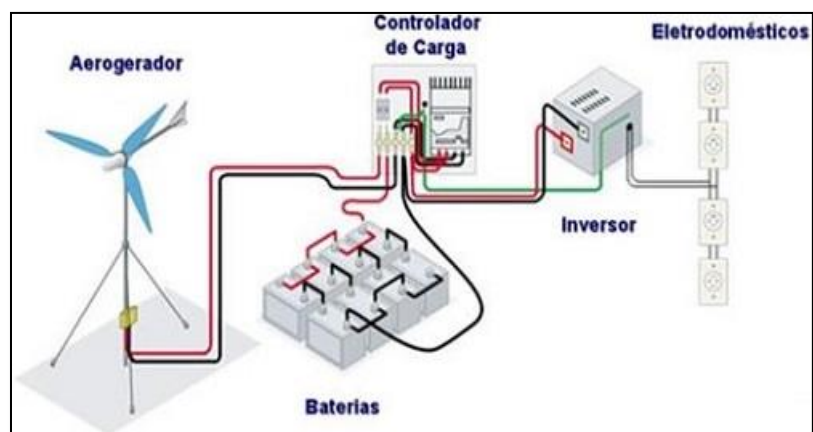


Figura 13. Sistema eólico

Fuente: Energías renovables y limpias.

Análisis financieros VAN y TIR herramientas para la viabilidad del proyecto.

El VAN y el TIR son dos fórmulas financieras empleadas con frecuencia para analizar qué tan rentable puede ser un proyecto para una empresa, independiente del área en donde opere o del tipo de producto al que se aluda.

Valor Actual neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión. También, se conoce como Valor neto actual (VNA), valor actualizado neto o valor presente neto (VPN).

Para ello, trae todos los flujos de caja en el momento presente descontándolos a un tipo de interés determinado. El VAN va a expresar una medida de rentabilidad del proyecto en términos absolutos netos, es decir, en n° de unidades monetarias (euros, dólares, pesos, etc.).

Se utiliza para la valoración de distintas opciones de inversión. Ya que calculando el VAN de distintas inversiones se van a conocer con cuál de ellas se va a obtener una mayor ganancia.

La fórmula que permite calcular el valor actual neto es:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

Donde:

F_t : Son los flujos de dinero en cada periodo t

I_0 es la inversión realiza en el momento inicial (t = 0)

n es el número de periodos determinado

k es el tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión

El VAN sirve para generar dos tipos de decisiones: en primer lugar, ver si las inversiones son efectuables y en segundo lugar, ver qué inversión es mejor que otra en términos absolutos. Los criterios de decisión van a ser los siguientes:

- **VAN > 0:** el valor actualizado de los cobros y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida generará beneficios.
- **VAN = 0:** el proyecto de inversión no generará ni beneficios ni pérdidas, siendo su realización, en principio, indiferente.
- **VAN < 0:** el proyecto de inversión generará pérdidas, por lo que deberá ser rechazado.

Ventajas e inconvenientes del VAN

- El VAN tiene varias ventajas a la hora de evaluar proyectos de inversión, principalmente, que es un método fácil de calcular y, a su vez, proporciona útiles predicciones sobre los efectos de los proyectos de inversión sobre el valor de la empresa. Además, presenta la ventaja de tener en cuenta los diferentes vencimientos de los flujos netos de caja.
- Pero a pesar de sus ventajas, también, tiene algunos inconvenientes como la dificultad de especificar una tasa de descuento la hipótesis de reinversión de los flujos netos de caja (se supone implícitamente que los flujos netos de caja positivos son reinvertidos inmediatamente a una tasa que coincide con el tipo de descuento, y que los flujos netos de

caja negativos son financiados con unos recursos cuyo coste, también, es el tipo de descuento. (wikipwdia , 2014)

Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto.

Es una medida utilizada en la evaluación de proyectos de inversión que está muy relacionada con el Valor Actualizado Neto (VAN). También, se define como el valor de la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero, para un proyecto de inversión dado.

La tasa interna de retorno (TIR) nos da una medida relativa de la rentabilidad, es decir, va a venir expresada en tanto por ciento. El principal problema radica en su cálculo, ya que el número de periodos dará el orden de la ecuación a resolver. Para resolver este problema se puede acudir a diversas aproximaciones, utilizar una calculadora financiera o un programa informático.

¿Cómo se calcula la TIR?

También, se puede definir basándonos en su cálculo, la TIR es la tasa de descuento que iguala, en el momento inicial, la corriente futura de cobros con la de pagos, generando un VAN igual a cero:

La fórmula que permite calcular la tasa interna de retorno es:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1 + TIR)} + \frac{F_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1 + TIR)^n} \quad (8)$$

F_t son los flujos de dinero en cada periodo t

I_0 es la inversión realiza en el momento inicial ($t = 0$)

n es el número de periodos determinado

Criterio de selección de proyectos, según la Tasa interna de retorno

El criterio de selección será el siguiente donde “ k ” es la tasa de descuento de flujos elegida para el cálculo del VAN:

- **Si $TIR > k$** , el proyecto de inversión será aceptado. En este caso, la tasa de rendimiento interno que obtenemos es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión.
- **Si $TIR = k$** , estaríamos en una situación similar a la que se producía cuando el VAN era igual a cero. En esta situación, la inversión podrá llevarse a cabo si mejora la posición competitiva de la empresa y no hay alternativas más favorables.
- **Si $TIR < k$** , el proyecto debe rechazarse. No se alcanza la rentabilidad mínima que le pedimos a la inversión.

Inconvenientes de la Tasa interna de retorno

Es muy útil para evaluar proyectos de inversión ya que nos dice la rentabilidad de dicho proyecto, sin embargo, tiene algunos inconvenientes:

Hipótesis de reinversión de los flujos intermedios de caja: supone que los flujos netos de caja positivos son reinvertidos a “ r ” y que los flujos netos de caja negativos son financiados a “ r ”.

La inconsistencia de la TIR: no garantiza asignar una rentabilidad a todos los proyectos de inversión y existen soluciones (resultados) matemáticos que no tienen sentido económico:

Proyectos con varias r reales y positivas.

Proyectos con ninguna r con sentido económico. (wikipwdia , 2018)

Artículos y normativa técnica AR-NT-POASEN vigente en Costa Rica

Medición neta de electricidad

El balance neto o medición neta de electricidad es un esquema de utilidad general para el uso y pago del recurso en el cual un cliente que genera su propia energía eléctrica puede compensar los saldos de energía de manera instantánea o diferida, permitiendo a los consumidores la producción individual de energía para su propio consumo, compatibilizando su curva de producción con su curva de demanda.

Este sistema es utilizado, generalmente, por consumidores que poseen una pequeña instalación de energías renovables (eólica o fotovoltaica principalmente), y permite verter a la red eléctrica el exceso producido por un sistema de autoconsumo con la finalidad de poder hacer uso

de ese exceso en otro momento. De esta forma, la compañía eléctrica que proporcione la electricidad cuando la demanda sea superior a la producción del sistema de autoconsumo, descontará en el consumo de la red de la factura, los excesos vertidos a la misma, el cual se realiza mediante un contador bidireccional que permite medir la electricidad en ambos sentidos, la consumida y la vertida a la red. Esto permite hacer uso de la electricidad producida en exceso.

Libre acceso a la red de distribución nacional

El artículo 123 de la Norma Técnica POASEN, actualmente, propone:

“El acceso a la red de distribución nacional, para efectos de interconectar y operar micro o mini generadores para autoconsumo a partir de fuentes de energía renovable es libre para cualquier abonado o usuario, siempre y cuando la red de distribución cuente con las condiciones técnicas para tal efecto y el interesado cumpla con las condiciones técnicas, comerciales y requisitos establecidos en esta norma, que, con fundamento en ella, establezcan las empresas distribuidoras. Además, deberá contar con la concesión respectiva de conformidad con la legislación vigente.”

Se solicita aclarar en el texto del artículo que la concesión de servicio público se necesita únicamente para la medición neta compleja, pues actualmente, el texto es omiso y se podría interpretar que para la medición neta sencilla también se requiere concesión. Ello no es necesario de conformidad con la legislación vigente, pues con la medición neta sencilla no hay venta ni reconocimiento económico de energía, por cuanto no se configura el servicio de generación de energía regulado en el artículo 5 de la Ley N.º 7543.

Para el caso, se propone el siguiente texto:

“El acceso a la red de distribución nacional, para efectos de interconectar y operar micro o mini generadores para autoconsumo, a partir de fuentes de energía renovable, es libre para cualquier abonado o usuario, siempre y cuando la red de distribución cuente con las condiciones técnicas para tal efecto y el interesado cumpla con las condiciones técnicas y comerciales y con los requisitos establecidos en esta norma que, con fundamento en ella, establezcan las empresas distribuidoras. Además, para la medición neta compleja se deberá contar con la concesión respectiva de conformidad con la legislación vigente.”

Artículo 131. Modalidades de régimen contractual

Para la conexión y operación de un micro o mini generador en paralelo con la red de distribución que suministre energía a la red de la empresa, se establecen dos modalidades:

Medición neta sencilla, con compensación física de excedentes (intercambio). Página 96 de 108: Cuando el generador “acumula” el excedente mensual de energía producida, si existiese, para utilizarlo en el mes o meses siguientes en el mismo año calendario, tras el cual el excedente no será reconocido por la empresa distribuidora.

Medición neta completa con liquidación anual (venta de excedentes). Cuando el generador “acumula” el excedente mensual de energía producida para utilizarlo en el mes o meses siguientes, y se vende el saldo anual de excedentes a la empresa distribuidora mediante una liquidación el día 1° de diciembre de cada año. Para tal efecto, el periodo de liquidación comprende del 1° de diciembre del año anterior al 30 de noviembre del año de la liquidación.

En ambas modalidades de régimen contractual, tanto en el caso de excedentes de producción como en el caso en cual el consumo iguale a la producción, el generador en pequeña

escala deberá cancelar mensualmente a la empresa el costo del acceso a la red de distribución, de acuerdo con el pliego tarifario vigente.

Según se indica en las cláusulas contractuales mínimas, Capítulo XII, ubicado en el artículo 133 de la norma POASEN, se citan los requerimientos mínimos para que sea posible conectar un micro o mini generador en paralelo a la red:

Artículo 133. Cláusulas contractuales mínimas

El contrato para la conexión y operación de un micro o mini generador en paralelo con la red de la empresa distribuidora deberá contemplar al menos las cláusulas siguientes:

- Definición de la terminología utilizada y la forma como debe interpretarse en el contrato.
- Objeto y alcance contractuales incluidas las obligaciones que se impongan a las partes.
- Normas jurídicas que forman parte del contrato y rigen para su aplicación y alcances, con mención al menos de la Ley N,° 7593 y sus reformas, los reglamentos y las leyes conexas; así como las normativas técnicas y económicas emitidas por la Autoridad Regulatoria, específicamente la presente norma.
- Régimen contractual elegido por el abonado-usuario de acuerdo con el artículo 131 de esta norma.
- Obras y equipos que forman parte de la conexión, así como los límites físicos de propiedad y responsabilidad.
- Los aspectos operacionales de la conexión y operación del generador en condiciones normales y de contingencia.
- Convenio de responsabilidad y de condiciones técnicas de operación y mantenimiento.

- Derechos y condiciones de acceso de personal de la empresa distribuidora a las instalaciones del generador.
- Especificaciones de duración, terminación, modificaciones y cancelaciones del contrato.

Cualquier otro aspecto importante que regulen los deberes y derechos de las partes.

Artículo 151. Obligaciones de los generadores en pequeña escala para autoconsumo

Será responsabilidad de los generadores:

- Cumplir con las disposiciones técnicas establecidas en esta norma que les competan.
- Construir y mantener en buen estado las instalaciones de interconexión.
- Operar y mantener sus equipos de acuerdo con los requisitos establecidos en esta norma y con los que las empresas eléctricas establezcan con base en sus disposiciones.
- Adquirir y mantener la póliza de responsabilidad civil indicada en el artículo 149 de esta norma.
- Permitir a las empresas eléctricas, en forma debidamente coordinada, inspeccionar las instalaciones y los equipos del generador en aras de la seguridad operativa y del resguardo de la calidad del suministro eléctrico.

Artículo 156. Precios para la compensación de excedentes

El precio aplicable para la compensación económica de los excedentes de producción, en el régimen contractual “Medición neta completa, con liquidación anual”, será el correspondiente al precio y estructura tarifaria que establezca la Autoridad Reguladora oportunamente.

Artículo 157. Facturación, modalidad contractual y “Medición Neta Sencilla”

Para el caso de los generadores bajo la modalidad contractual de “Medición Neta Sencilla”, en la facturación mensual, de existir un excedente de producción con respecto al consumo (consumo neto menor a cero) la empresa eléctrica deberá indicarlo en la facturación (KWh excedentes), a efectos de compensar al generador por dicho excedente en las facturaciones subsiguientes y facturar el costo de acceso indicado en el artículo 132 de esta norma. El cierre para la liquidación de excedentes se hará en la facturación correspondiente al mes de diciembre de cada año.

En el caso de una igualdad entre el consumo y la producción (consumo neto igual a cero), la empresa eléctrica deberá facturar al generador el monto correspondiente al costo de acceso, indicado en el artículo 132 de esta norma.

Artículo 158. Facturación, modalidad contractual “Medición Neta Completa”

En la modalidad contractual “Medición Neta Completa”, en la facturación mensual, de existir un excedente de producción con respecto al consumo (consumo neto menor a cero), la empresa deberá indicarlo en la facturación y acumular el exceso de producción a efecto de descontar dicha energía en el mes o meses siguientes.

En cada mes la empresa deberá descontar del consumo del interesado la energía acumulada del mes o meses anteriores, y cobrar al generador el costo de acceso indicado en el artículo 132 de esta norma; independientemente de que el consumo neto del mes facturado sea cero, o que exista un consumo neto menor a cero o un consumo neto mayor a cero que pueda compensarse del excedente de producción acumulado de meses anteriores.

Artículo 159. Liquidación anual

Para la modalidad contractual “Medición Neta Completa”, en la facturación del mes de diciembre la empresa eléctrica deberá compensar económicamente al generador los posibles excedentes de energía acumulados a la fecha aplicándoles el precio de la energía correspondiente a la estructura tarifaria vigente en el momento en que esos excedentes se produjeron. (Aresep, 2018)

Limitaciones

Una de las principales limitantes en la realización de este proyecto es que la institución no cuenta con los planos de la edificación.

Otra limitante sería que los fabricantes y distribuidores de los equipos por utilizar en los diseños tengan toda la disponibilidad para ofrecer los datos requeridos para realizar un diseño más preciso y eficiente para las propuestas.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Enfoque de la investigación

El presente trabajo investigativo, también, se considera descriptivo, cuantitativo, exploratorio y deductivo.

En el presente proyecto se estará evaluando la posibilidad de implementar un sistema de generación eléctrica mediante fuentes de energías renovables, tales como son los sistemas híbridos, en este caso (solar/eólico) para una institución de educación media en la zona de Belén de Carrillo, Guanacaste. Por ello, se realizan los respectivos análisis y estudios de variables técnicas y de regulación.

La investigación descriptiva, también conocida como investigación estadística, describe los datos y estos deben tener un impacto en las vidas de la gente.

La presente investigación tiene parte descriptiva y exploratoria, ya que se describirán datos de tablas y además, se comparan otro tipo de variables para establecer cuál podría ser la mejor opción. También, es exploratorio ya que, en este caso, no se ha realizado ningún tipo de estudio en la institución en específico, por lo cual finalmente es una investigación mixta.

Método de investigación

En este apartado se mostrará mediante un diagrama de flujo la estrategia trazada para concluir con éxito el proyecto y así realizar la mejor elección de diseño propuesta en este documento, el proyecto se dividió en 5 etapas las cuales se mencionarán a continuación:

- Definición y planteamiento del problema
- Búsqueda de información

- Desarrollo del proyecto
- Finalización del proyecto
- Defensa del proyecto

En el diagrama de flujo se especifica que se realizó en cada etapa para concluir con éxito el proyecto.

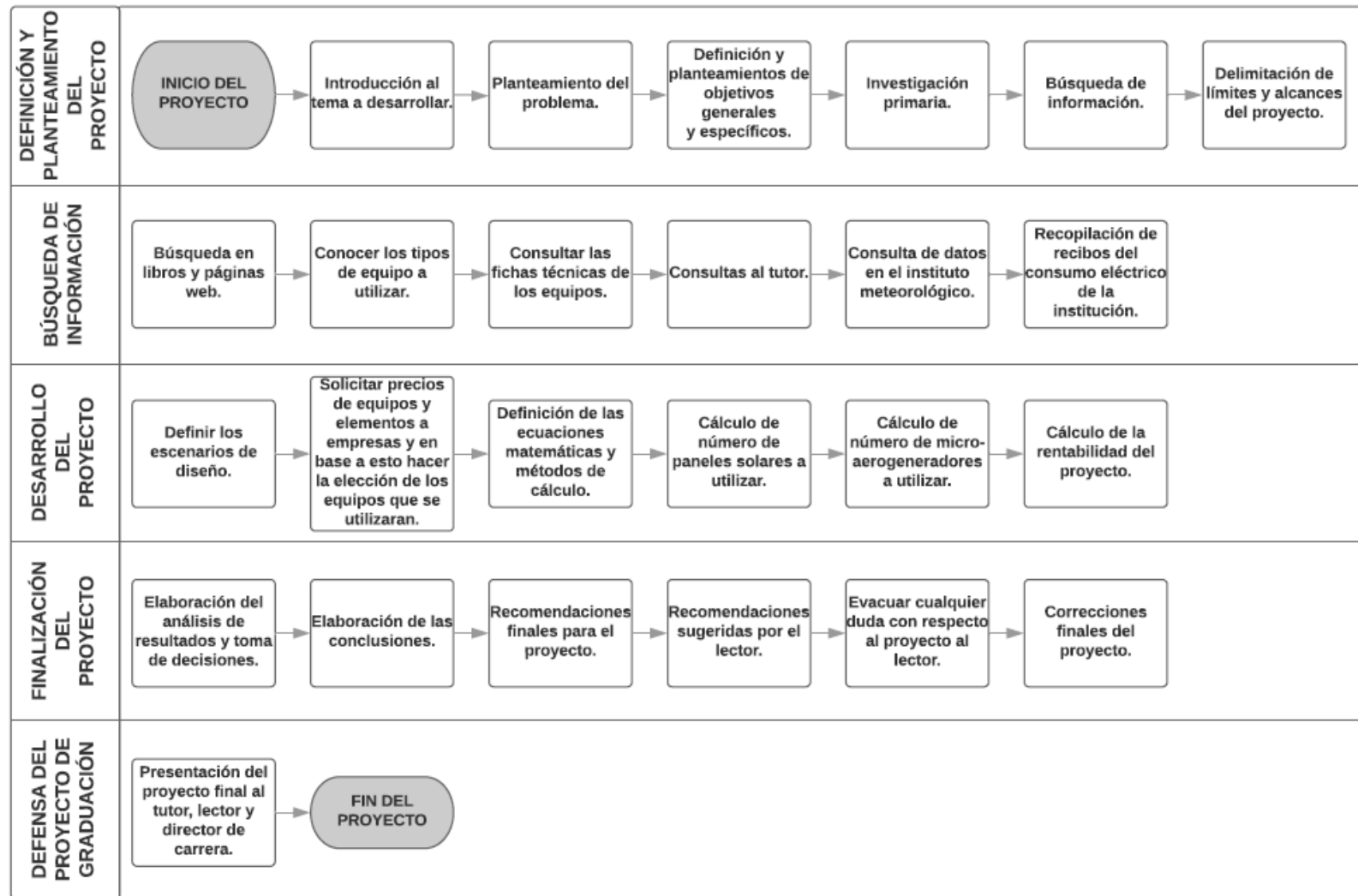


Figura 14. Diagrama de flujo

Fuente: Elaboración propia

Fuentes de información

Se tomarán en cuenta como fuentes primarias de información la institución Liceo Académico de Belén ya que brindaron los datos de consumos eléctricos, también al Instituto Meteorológico Nacional que ofreció la información los datos de radiación solar y velocidad promedio del viento en la zona de estudios.

Y como fuentes secundarias que posee el proyecto se tienen la ayuda de la aplicación de Google Maps y Google Earth, también el uso de citas bibliográficas digitales las cuales serán citadas en otro capítulo de este documento, también se utilizará el Código Eléctrico Nacional 2008 (NEC).

Variables o Categorías de Análisis

En la presente investigación, se ven como variables principales la cantidad promedio de radiación solar y la velocidad promedio captadas en la zona donde está ubicada la Institución, otra variable indispensable para la realización del proyecto es el consumo eléctrico generado por la Institución.

Como otras variables se tienen los dispositivos, tales como los paneles fotovoltaicos, micro-aerogenerador también se ve la posibilidad de utilizar los inversores, estructuras, tanto para paneles solares y los micro-aerogeneradores serán tomados como variables en esta investigación.

Instrumentos

Mediante visitas a la institución Liceo Académico de Belén y reuniones con la Junta Directiva de la Institución se logró copilar toda la información necesaria proveniente de ésta institución como fueron los consumos eléctricos, de igual manera se visita el Instituto Meteorológico Nacional para solicitar un estudio de la cantidad de radiación solar y velocidad del viento.

Proceso para la Recolección y Análisis de datos

La información para el desarrollo del proyecto fue recolectada mediante visitas a las instituciones el Liceo Académico de Belén y el Instituto Meteorológico Nacional, ya que se necesitan los datos del consumo eléctrico mensual generados por la Institución y los datos de radiación solar y velocidad promedio del viento en la zona en donde se realizará el proyecto.

Puesto que este análisis consta de un diseño híbrido (solar/eólico) implementando paneles solares y micro-aerogeneradores, los datos de consumo eléctrico mensual son necesarios para saber la cantidad de energía eléctrica que se consume en el lugar, esto para cuando se realice el diseño tener una idea clara de cuántos equipos serán necesarios a implementar, ya sean los paneles solares o micro-aerogeneradores, esto para suplir con los consumos generados por la Institución, de tal manera que de esta forman entran en lugar los datos suministrados por el Instituto Meteorológico los cuales son los datos de radiación solar y velocidad del viento esto para los paneles solares y los micro-aerogeneradores. .

Estos datos de radiación solar y velocidad del viento son necesarios porque los equipos funcionan dependiendo la cantidad de radiación solar y velocidad del viento, por ende, entre mayor radiación solar y velocidad del viento nuestro sistema funcionará de manera más eficiente.

Los datos de consumos eléctricos mensuales suministrados, también, servirán para comparar nuestro sistema de generación de energía eléctrica convencional vs la nueva propuesta de diseño con energías renovables.

Tomando en cuenta que son dos propuestas de diseños distintas contra el sistema convencional, mediante un análisis financiero se escogerá cuál es la propuesta adecuada rentablemente técnicamente y económicamente para la Institución.

Los datos entregados por el Instituto Meteorológico Nacional de radiación solar y velocidad promedio del viento fueron suministrados en forma digital en tablas de Microsoft Excel y de la misma forma en tablas, solo que en aspecto físico el Liceo Académico de Belén facilitó los datos de consumos eléctricos mensuales.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Desarrollo

Generación de energía con fuentes renovables (solar/eólica)

Para realizar el diseño de este proyecto es necesario conocer cuáles son las condiciones de radiación solar y velocidad del viento en la zona en donde se encuentra la Institución Liceo Académico de Belén, esto para ver si realmente existen las condiciones ideales para la instalación del sistema híbrido (solar/eólico), para esto se realizan consultas de la base de datos de las condiciones climáticas en la zona en el Instituto Meteorológico Nacional,

Propuestas de diseño del sistema híbrido fotovoltaico y eólico

Para el presente trabajo se requiere confeccionar un sistema electromecánico implementado el uso de sistemas de energías renovables solar y eólico que supla en su totalidad la carga energética demandada por la Institución, por lo que se tomara en cuenta el análisis de dos propuestas de diseño, esto utilizando como base los datos de captación de energía solar y eólica presentes en el lugar y los consumos energéticos generados por la Institución.

En el primer escenario se tiene que para crear el diseño híbrido fotovoltaico y eólico se utilizará el sistema del tipo conectado a la red, puesto que se busca que el sistema cubra el total de la carga anual demandada el 100%, esto contemplando en el sistema fotovoltaico el uso de inversores, una vez realizado el diseño híbrido, se procede con el cálculo para evaluar la rentabilidad del proyecto.

Para la última propuesta de diseño se tiene que se implementara un sistema que cubra el total de la carga demandada por la institución utilizando solo la energía solar captada en la zona, de igual manera que en el caso de propuesta uno el sistema es de tipo conectado a la red y se

contemplara el uso de inversores para un diseño e inversores para el otro, esto con el fin de comparar ambos diseños, puesto que se tienen dos propuestas de diseño se determinará cuál de los diseños expuestos es el más apropiado para la Institución en donde se realiza el estudio.

Promedio mensual de energía fotovoltaica

Tabla 2. Radiación solar, Belén Carrillo Guanacaste

| Radiación solar Belén de Carrillo Guanacaste | |
|--|--------------------------------------|
| Mes | Radiación solar (MJ/m ²) |
| Enero | 19,9 |
| Febrero | 20,9 |
| Marzo | 24,9 |
| Abril | 23,2 |
| Mayo | 17,8 |
| Junio | 16,0 |
| Julio | 17,7 |
| Agosto | 18,8 |
| Setiembre | 17,7 |
| Octubre | 15,4 |
| Noviembre | 17,6 |
| Diciembre | 9,6 |
| Promedio anual | 18,3 |

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

Los datos mostrados anteriormente, en la tabla 2 corresponden a información obtenida por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) situada en La Guinea. Los datos estadísticos

suministrados por el IMN se tomarán de las condiciones del clima para el dimensionamiento de los equipos por implementar para el diseño.

Tabla 3. Horas solar pico (HSP)

| Horas Solar Pico | |
|------------------|------------------------|
| Mes | Horas Solar Pico (HPS) |
| Enero | 5,5 |
| Febrero | 5,8 |
| Marzo | 6,9 |
| Abril | 6,4 |
| Mayo | 4,9 |
| Junio | 4,4 |
| Julio | 4,9 |
| Agosto | 5,2 |
| Setiembre | 4,9 |
| Octubre | 4,3 |
| Noviembre | 4,9 |
| Diciembre | 5,16 |
| Promedio anual | 5,27 |

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

En la tabla 3, se puede ver los datos de horas solar pico (HPS) de cada mes. Los resultados mostrados anteriormente salen a partir de los datos de radiación solar otorgados por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN). Para el cálculo de horas solar pico es necesario un factor de conversión cuya explicación se menciona en el marco teórico.

Para el cálculo de HSP se tiene que en el mes de marzo hay una radiación solar de 24,9 mega julios por cada metro cuadrado de área. De este modo es cuando se ocupa nuestro factor de

conversión para hacer el desarrollo del cálculo, estos 24,9 MJ/m² se divide entre los 3,6 MJ/m², que son los equivalentes a una hora pico solar, en la ecuación siguiente se muestra el desarrollo del factor de conversión para el cálculo de las hsp :

$$24,9 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \cdot \frac{1\text{HSP}}{3,6 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}} = 6,9 \text{ hsp}$$

Los 6,9 hsp son las horas solares pico diario correspondiente al mes de marzo. Los cálculos de estos datos son necesarios para establecer la cantidad necesaria de paneles solares, por ende, para el desarrollo de estos cálculos se utilizarán los datos de la tabla anterior en los cuales se establecen los datos de las horas solar pico mencionados anteriormente.

El análisis del sistema de paneles solares se realizará con el promedio anual de la radiación solar, esto para que los paneles entreguen un promedio de energía en los meses con mayores y menores horas solar pico.

El dato de que se va a utilizar para obtener la cantidad de paneles solares es de 5,1 hps puesto que éste es el promedio anual de horas pico sol registrado en la zona de estudio.

Velocidad del viento promedio

Para la estimación del viento, se tomará en cuenta el promedio de las lecturas de cada mes del año para realizar la estimación mensual de energía generada.

De igual manera estos datos fueron suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional, según el (IMN) el punto de medición de la velocidad promedio del viento fue medido aproximadamente a 10 metros de altura, una altura muy aproximada la que se planea para la instalación de los aerogeneradores.

En la tabla 4 se detalla los datos obtenidos y brindados por el Instituto Meteorológico Nacional (INM).

Tabla 4.Velocidad promedio del viento, Belén de Carrillo Guanacaste.

| Velocidad promedio del viento | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Mes | Velocidad del viento (m/s) |
| Enero | 4,6 |
| Febrero | 4,6 |
| Marzo | 5,5 |
| Abril | 3,5 |
| Mayo | 1,3 |
| Junio | 1,4 |
| Julio | 1,2 |
| Agosto | 1,6 |
| Setiembre | 1,0 |
| Octubre | 1,3 |
| Noviembre | 1,9 |
| Diciembre | 4,1 |
| Promedio Anual | 2,1 |

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

Consumo eléctrico anual

Tabla 5.Consumos eléctricos periodos 2017

| Consumo eléctrico periodo 2017 | | |
|--------------------------------|------|------------------------------------|
| Mes | Días | Consumo eléctrico mensual(KWh/MES) |
| Enero | 33 | 2541,20 |
| Febrero | 29 | 1389,00 |
| Marzo | 29 | 4678,00 |
| Abril | 29 | 6352,00 |
| Mayo | 32 | 5060,00 |
| Junio | 30 | 6127,00 |
| Julio | 30 | 6044,00 |
| Agosto | 31 | 3615,00 |

| | | |
|-----------|-----|----------|
| Setiembre | 31 | 5402,00 |
| Octubre | 32 | 5450,00 |
| Noviembre | 30 | 3682,00 |
| Diciembre | 29 | 4846,00 |
| Total | 365 | 55186,20 |

Fuente: Liceo Académico de Belén

En la tabla 5, que se adjuntó anteriormente sirve para realizar el cálculo de paneles solares y micro aerogeneradores para el diseño del proyecto, ya que éste muestra el consumo eléctrico de cada uno de los meses del año que presenta la Institución.

Se puede ver tanto en la tabla 5 mostrada anteriormente y tanto como en la figura 9 que el mes con mayor cantidad de energía consumida fue el mes de Abril, con un consumo energético de 6352.00 KWh/mes con un coste de ₡732,681.00 colones netos.

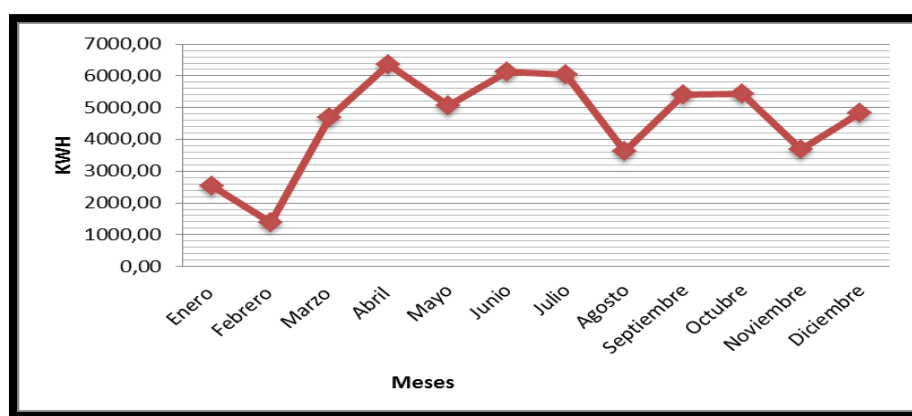


Figura 1. Consumos eléctricos, periodos 2017
Fuente: Elaboración propia

En base la tabla 5 “Consumos eléctricos periodos 2017” se construye la gráfica de la figura 9, donde se muestra gráficamente el alza y baja de energía consumida mensualmente en la institución, los datos de los consumos eléctricos fueron otorgados por la institución ver (apéndice A).

Selección del micro-aerogenerador

En esta sección se determinará cuál será el aerogenerador de pequeña potencia que se utilizara para el diseño del sistema híbrido (solar/eólico),esto tomando en cuenta los aspectos técnicos de las turbinas a implementar .

El aerogenerador de pequeña potencia que se empleará en el análisis será de marca Enair modelo E30PRO, el motivo de selección de este equipo es la gran recopilación de datos técnicos que se pudo obtener del fabricante, en comparación a otros modelos de turbinas eólicas consultados a otros fabricantes que no brindaron información técnica de sus productos, o la información era muy limitada para un cálculo eficiente y real del sistema. A continuación, se presenta un cuadro con las especificaciones técnicas provenientes del fabricante antes mencionado. Los datos que se mostrarán son los datos por los cual el micro-aerogenerador fue seleccionado para este diseño, aparte se muestran datos técnicos que se necesitan más adelante para la selección de cuántos micro-aerogeneradores se necesitarán para el proyecto. La ficha técnica y especificaciones estarán en los apéndices respectivamente, ver (apéndice 3).

Tabla 6. Características micro-aerogenerador Enair E30PRO

| Micro-aerogenerador marca Enair E30PRO | |
|--|--------------|
| Micro-Aerogenerador | E30PRO |
| Potencia nominal | 1900 W |
| Velocidad del viento | |
| Velocidad de arranque | 2m/s |
| Velocidad nominal | 11m/s |
| Rango de funcionamiento eficiente | (2 a 60) m/s |
| Máxima velocidad del viento | 60 m/s |
| Característica físicas del equipo | |

| | |
|---|-----------|
| Peso del Micro-aerogenerador | 125kg |
| Altura sin la base | 3,80 m |
| Base | 4 m |
| Producción anual a distintas velocidades medidas del viento | |
| 2m/s | 600 KWh |
| 4m/s | 3000 KWh |
| 6m/s | 6500 KWh |
| 8m/s | 10200 KWh |
| 10m/s | 12000 KWh |

Fuente: Enair

En la tabla anterior se recopila información importante para la toma de decisión y la elección del micro-aerogenerador, esta turbina fue elegida pensando en el impacto visual, la contaminación sónica que podrían generar, las dimensiones del aerogenerador fueron tomadas en consideración ya que no se podría contemplar torres de mayor potencia puesto que es una institución estudiantil, el espacio que requieren sería mayor, además que están cerca de aulas estudiantiles.

También, se tiene la producción anual de la potencia eléctrica debido a las velocidades del viento, esto se especificará en el siguiente apartado.

Potencia eléctrica esperada debido a las turbinas eólicas y las variaciones del viento

En esta parte del documento se calculará la potencia generada por la turbina eólica, según la curva del fabricante la cual es obtenido del fabricante, en la sección de los apéndices ver (apéndice C) donde se encuentran las fichas técnicas de la turbina Enair E30PRO están las curvas características para el cálculo de los datos obtenidos que se verán en la siguiente tabla:

Tabla 7: Potencia generada, según la curva de energía del micro-aerogenerador

| Velocidad medida del viento(m/s) | Energía generada anualmente (KWh/año) | Energía producida mensualmente (KWh/mes) |
|----------------------------------|---------------------------------------|--|
| 2 | 600 | 50 |
| 4 | 3000 | 250 |
| 6 | 6500 | 542 |
| 8 | 10200 | 850 |
| 10 | 12000 | 1000 |
| 12 | 12600 | 1050 |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se muestra detalladamente la energía estimada, según el fabricante que puede llegar a generar una turbina Enair E30PRO de 1900 W.

Los datos obtenidos del cuadro anterior son provenientes de la curva de energía presente en las fichas técnicas del aerogenerador. En la curva se puede apreciar la generación eléctrica anual en diferentes velocidades del viento, como se puede analizar en el cuadro el comportamiento de la generación eléctrica que producen los aerogeneradores depende de la velocidad media del viento.

En la tabla, también, se muestra el cálculo de la energía entregada en periodos de meses, este cálculo se realiza con la conversión de KWh/año a KWh/mes, esto se efectúa para cada mes del año.

Energía producida por micro-aerogenerador

En este punto se realizará el cálculo de la energía aproximada que entregará el sistema de aerogeneradores, estos cálculos se realizaran con la velocidad promedio mensual también se necesitarán los datos de energía entregada en periodos mensuales que se calcularon en el punto anterior.

Para este cálculo se toma la velocidad promedio del mes que se quiera calcular, y con la curva de producción anual adjunta en los apéndices aproximamos las velocidades del viento que se obtuvieron del Instituto Meteorológico con los de la curva de potencia del fabricante y así saber cuál es la potencia que genera el aerogenerador a esa velocidad anualmente.

Tabla 8. Energía producida por el micro-aerogenerador

| Mes | Días | | Velocidad promedio mensual (m/s) | | Energía producida por un aerogenerador (KWh/mes) | |
|-----------|------------|-----|----------------------------------|-----|--|------|
| | Total días | | Promedio anual | | Energía producida anualmente | |
| Enero | 33 | | 4,6 | | 337,5 | |
| Febrero | 29 | | 4,6 | | 337,5 | |
| Marzo | 29 | | 5,5 | | 506,25 | |
| Abril | 29 | | 3,5 | | 220,83 | |
| Mayo | 32 | | 1,3 | | 0 | |
| Junio | 30 | | 1,4 | | 0 | |
| Julio | 30 | | 1,2 | | 0 | |
| Agosto | 31 | | 1,6 | | 0 | |
| Setiembre | 31 | | 1,0 | | 0 | |
| Octubre | 32 | | 1,3 | | 0 | |
| Noviembre | 30 | | 1,9 | | 0 | |
| Diciembre | 29 | | 4,1 | | 264,58 | |
| | Total días | 365 | Promedio anual | 2,1 | Energía producida anualmente | 1667 |

Fuente: Elaboración propia

En tabla 8 mostrada anteriormente, se pueden observar los datos obtenidos por medio de las interpolaciones de cada una de las velocidades medidas durante cada mes del año, para efectos de este diseño y hacer una aproximación de un valor más exacto de generación mensual de energía producida por los aerogeneradores de pequeña potencia se realiza una interpolación

entre los valores superiores e inferiores de la energía producida con los datos obtenidos de velocidad mensual media del viento esto para cada mes del año, en la tabla 9 que se observará a continuación, se muestra un ejemplo de cómo se realizaron los cálculos de las interpolaciones esto para el mes de enero:

Tabla 9. Ejemplo interpolación para el cálculo de la potencia generada mensualmente por los aerogeneradores

| Potencia generada (KWh/año) | Velocidad del viento (m/s) |
|-----------------------------|----------------------------|
| 3000 | 4 |
| X | 4,6 |
| 6500 | 6 |

Fuente: Elaboración propia

De la tabla mostrada anteriormente se tiene que el valor de X es la potencia generada anualmente por los aerogeneradores a velocidades de viento de 4,6 m/s, realizando la interpolación se obtiene el valor de la X que es la potencia generada dando un valor de 4050 KWh/año, este valor se divide entre 12 meses para obtener el valor de la potencia generada mensualmente que da como resultado 337,5 KWh/mes que es el valor que se observa en la tabla 8 para el mes de enero, este procedimiento se repite para los meses cuya velocidad supere las velocidades de arranque del aerogenerador. En la ecuación siguiente se observa el procedimiento del cálculo mencionado anteriormente.

$$\frac{4 - 4,6}{4 - 6} = \frac{X - 3000}{6500 - 3000}; X = \frac{4050}{12} = 337,5 \text{ KWh/mes}$$

También, se puede apreciar que el valor de la energía producida por el aerogenerador en los meses de mayo a noviembre es cero, esto se debe a que las condiciones del viento para que

el aerogenerador empiece a producir energía debe ser mínimo de 2 m/s, y las velocidades en esos meses no cumplen con el rango de funcionamiento del aerogenerador, mientras tanto en los demás meses se observa que el rango de las velocidades se ajustan a las condiciones de trabajo del aerogenerador siendo el mes de marzo el mes con mayor producción eólica con un valor de 506.25 KWh/mes.

Estimación de la cantidad de paneles.

Para efectos de este apartado, se calculará la cantidad de paneles solares, tomando en cuenta que se utilizará un panel de 325 W de potencia nominal, después de realizar todos los cálculos necesarios y saber con exactitud la cantidad de paneles solares que se necesitarán para cubrir la demanda de energía consumida anualmente por la Institución ya sea el caso de diseño uno o diseño dos, se procederá a seleccionar una marca de panel que cumpla con las especificaciones necesitadas después de los cálculos realizados.

Para efectos de este estudio, se necesita cubrir la potencia en KWh/día. Entonces, cómo los datos facilitados por la Institución en donde se realiza el diseño fueron entregados en KWh/mes, se debe hacer una conversión para pasar estos datos a KWh/día, esto en el mes de abril que es el mes de mayor consumo energético, que sería de 6352 KWh/mes, se divide entre los 29 días, que son los días facturados de consumo energético del mes de noviembre. El cálculo de la división tendría como resultado un consumo energético de 219 KWh/día.

Después de realizar el pequeño cálculo se procede por hacer el cálculo de paneles solares necesarios utilizando una de las ecuaciones citadas en el marco referencial, que es la siguiente:

$$N_p = E / (0.9 * W_p * HSP)$$

Dónde:

N_p : Es el número de paneles solares necesarios

E : Es el consumo energético real

W_p : Es la potencia pico del panel

HPS: Son las horas pico solares

0.9: Rendimiento o eficiencia energética del 90% del panel fotovoltaico esto contemplando un 10% de pérdidas.

$$N_p = \frac{219KWh/dia}{(0.9 * 325W * 5,1hsp)} = 147 \text{ paneles}$$

Arreglo de paneles y consumo eléctrico generado por 147 paneles solares

En este apartado se calculará la generación eléctrica producida por 147 paneles, el objetivo de este cálculo es obtener la producción anual de los paneles, esto para comparar el resultado con el consumo anual que genera la Institución, actualmente, con el sistema convencional conectado a la red, esto para posteriormente realizar el cálculo más exacto de números de paneles solares necesarios.

Para obtener la generación eléctrica de este arreglo se multiplica la cantidad de módulos (147) por la potencia nominal de cada panel, que para efectos del estudio la potencia nominal del panel es de 325 watts (W), dando como resultado la multiplicación un valor de 47775 W.

Una vez calculada la potencia total generada por los módulos, se puede conocer la cantidad de energía eléctrica total que producen. Para conocer los datos se multiplica la potencia total del arreglo de paneles por la irradiación diaria (HPS) que tiene cada respectivo mes, y esto

por la cantidad de días que tiene ese mes. El dato calculado será la generación mensual de energía producida por los paneles solares.

Ejemplo, el mes de enero tiene 33 días esto se da puesto que la compañía distribuidora de electricidad de la zona factura el mes de enero como que si tuviese 33 días, en la tabla 5 consumos eléctricos anuales, también se puede ver que a final del año lo que facturan son los 365 días como las otras compañías nacionales del país (ver apéndice A), una vez aclarado esto, se procede con el cálculo de la energía generada mensualmente por el sistema. Se tiene una cantidad de hora solar pico (HSP) de 5,5 hps; por lo tanto, la generación en ese mes se expresa de la siguiente manera:

$$(47775 \text{ W} * \text{HPS} * \text{días del mes}) = (47775 \text{ W} * 5,5 \text{ hps} * 33 \text{ días}) = 8671,16 \text{ KWh/mes}$$

El procedimiento anterior se repite para cada uno de los meses siguientes del año, después para calcular la producción anual debido a los paneles solares se suman las generaciones de electricidad de cada mes del año.

En la tabla siguiente se muestra la estimación de la cantidad de energía ya sea un faltante o excedente con respecto del consumo anual, esto para comprar de mejor manera los cálculos:

Tabla 10. Potencia generada por 147 módulos solares vs Consumo eléctrico sistema convencional

| Potencia generada por 147 módulos solares vs Consumo eléctrico sistema convencional | | | | |
|---|------|------------------------|--|--|
| Mes | Días | Horas Solar Pico (HPS) | Consumo eléctrico sistema convencional (KWh/mes) | Energía generada por 147 paneles (KWh/mes) |
| Enero | 33 | 5,5 | 2541,20 | 8671,16 |
| Febrero | 29 | 5,8 | 1389,00 | 8035,76 |
| Marzo | 29 | 6,9 | 4678,00 | 9559,78 |

| | | | | | |
|----------------------|-----|---|----------|----------------------------------|----------|
| Abril | 29 | 6,4 | 6352,00 | 8867,04 | |
| Mayo | 32 | 4,9 | 5060,00 | 7491,12 | |
| Junio | 30 | 4,4 | 6127,00 | 6306,30 | |
| Julio | 30 | 4,9 | 6044,00 | 7022,93 | |
| Agosto | 31 | 5,2 | 3615,00 | 7701,33 | |
| Septiembre | 31 | 4,9 | 5402,00 | 7257,02 | |
| Octubre | 32 | 4,3 | 5450,00 | 6573,84 | |
| Noviembre | 30 | 4,9 | 3682,00 | 7022,93 | |
| Diciembre | 29 | 5,16 | 4846,00 | 7149 | |
| Sobre generación (%) | 66% | Generación anual sistema convencional (KWh/año) | 55186,20 | Generación anual solar (KWh/año) | 91658,25 |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se muestra el cálculo de la generación mensual y arreglo de 147 paneles solares. Por los datos obtenidos en el cuadro anteriormente, se observa que los 147 paneles solares están generando 36472,05 KWh/año esto equivale a un 66% más de la energía necesitada en la Institución.

Montaje de los 147 módulos en las áreas disponibles

Como se estableció en el capítulo II marco referencial de este documento (figura 6, página 11), el sistema fotovoltaico será instalado en la zona de los techos. El dimensionamiento de los paneles solares se obtiene de la ficha técnica que se encuentra en el apéndice D respectivamente.

A continuación se muestra el acomodo de los 147 paneles solares en las zonas de los techos disponibles para la instalación del sistema:



Figura 15. Acomodo de los 147 paneles solares
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 14 se muestra la forma en la que se colocaran los paneles solares.

En las zonas B, C, y D se pudieron colocar los 147 módulos solares de $1,94 \text{ m}^2$ cada uno, cabe destacar que en la zona B se pueden instalar 47 paneles que abarcan una área efectiva de $91,18 \text{ m}^2$ y en las zonas C y D se colocaron 50 paneles en cada una de las zonas abarcando un área total 97 m^2 . Esta fue la manera más eficiente que se encontró para que el sistema solar alcanzara y la persona encargada del mantenimiento pueda movilizarse con mayor facilidad.

Diseño uno, análisis del sistema híbrido (solar/eólico) supliendo el total de carga anual 100% del sistema tipo conectado a la red, implementando el uso de inversores en el sistema fotovoltaico

Para el análisis de este diseño se busca generar el 100% del consumo eléctrico anual demandado por la Institución, que es de 55186,20 KWh/año, esto implementando el uso de aerogeneradores en combinación con un arreglo de 74 paneles solares, para el cálculo de estos 74 paneles se dividió la cantidad de 147 entre dos, esto porque el sistema estaba generando un 66% más de la energía requerida, energía que no sería aprovechada y encarecería la inversión del proyecto, por lo que se busca con esta disminución de paneles bajar el exceso de energía generada por el sistema fotovoltaico y crear un sistema híbrido eficiente basándonos en las condiciones climáticas de la zona.

El objetivo de este apartado es estimar la generación anual con el arreglo de paneles de 74 módulos y así calcular la diferencia de energía que tengan que suplir los aerogeneradores de pequeña potencia.

Para el cálculo de porcentaje de energía eléctrica anual que puede cubrir el arreglo de 74 paneles se tiene que, primeramente, se debe calcular la potencia generada por los 74 módulos, que se obtiene por medio de la multiplicación de los 74 paneles solares por la potencia pico del panel que es de 325 W, dando esto como resultado 24050 W, luego este dato obtenido se multiplica por las horas solar pico del mes que se está calculando y por el número de días de ese mismo mes.

Este procedimiento se realiza para obtener la demanda generada por cada mes y así con la sumatoria de todos los meses obtener la producción energética anual. En el cuadro siguiente se observa la diferencia generada por 74 paneles vs el sistema convencional:

Tabla 11. Potencia generada por 74 módulos solares vs Consumo eléctrico sistema convencional.

| Potencia generada por 74 módulos solares vs Consumo eléctrico sistema convencional | | | | | | |
|--|--------|------------------------|--|----------|---|-------|
| Mes | Días | Horas Solar Pico (HPS) | Consumo eléctrico sistema convencional (KWh/mes) | | Energía generada por arreglo 74 paneles (KWh/mes) | |
| Enero | 33 | 5,5 | 2541,20 | | 4365 | |
| Febrero | 29 | 5,8 | 1389,00 | | 4045 | |
| Marzo | 29 | 6,9 | 4678,00 | | 4812 | |
| Abril | 29 | 6,4 | 6352,00 | | 4464 | |
| Mayo | 32 | 4,9 | 5060,00 | | 3771 | |
| Junio | 30 | 4,4 | 6127,00 | | 3175 | |
| Julio | 30 | 4,9 | 6044,00 | | 3535 | |
| Agosto | 31 | 5,2 | 3615,00 | | 3877 | |
| Septiembre | 31 | 4,9 | 5402,00 | | 3653 | |
| Octubre | 32 | 4,3 | 5450,00 | | 3309 | |
| Noviembre | 30 | 4,9 | 3682,00 | | 3535 | |
| Diciembre | 29 | 5,16 | 4846,00 | | 3598,8 | |
| Generación (%) | 83,60% | | Generación anual sistema convencional (KWh/año) | 55186,20 | Generación anual solar (KWh/año) | 46141 |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 11 mostrada anterior se muestra que para un arreglo de paneles, de 74 módulos solares el sistema genera un 83,60 % del consumo anual en la Institución.

Con el resultado mostrado anteriormente se puede calcular cuál es la cantidad de aerogeneradores de pequeña potencia son necesarios para suplir el 16,40% de la energía faltante y así abastecer el 100% de la carga demanda por la Institución.

Diferencia de energía por cubrir de los aerogeneradores de pequeña potencia (diseño uno)

Una vez calculada la energía generada por el sistema compuesto por 74 paneles que es del 83,60% se procede a calcular la diferencia de energía por cubrir de los aerogeneradores que es del 16,40%, por lo que se procede a restarle la energía generada por el arreglo de paneles, a los consumos eléctricos del sistema convencional, dando esto el resultado de la potencia por cubrir de los aerogeneradores que es el 16,40% en expresión de energía, esto se realiza para diferenciar e identificar cuál sería la cantidad de energía que producirían los aerogeneradores de pequeña potencia mensualmente, en la tabla 12 que se mostrará continuación, se ve el procedimiento seguido:

Tabla 12. Diferencia energía por cubrir aerogeneradores de pequeña potencia

| Diferencia energía por cubrir aerogeneradores de pequeña potencia | | | |
|---|--|--|---|
| Mes | Consumo eléctrico sistema convencional (KWh/mes) | Energía generada por arreglo (KWh/mes) | Energía por cubrir Aerogeneradores pequeña frecuencia (KWh/mes) |
| Enero | 2541,20 | 4365 | -1823,88 |
| Febrero | 1389,00 | 4045 | -2656,21 |
| Marzo | 4678,00 | 4812 | -134,41 |
| Abril | 6352,00 | 4464 | 1888,32 |
| Mayo | 5060,00 | 3771 | 1288,96 |
| Junio | 6127,00 | 3175 | 2952,40 |

| | | | | | |
|---|----------|--|---------|--|---------|
| Julio | 6044,00 | 3535 | 2508,65 | | |
| Agosto | 3615,00 | 3877 | -261,86 | | |
| Septiembre | 5402,00 | 3653 | 1748,81 | | |
| Octubre | 5450,00 | 3309 | 2140,72 | | |
| Noviembre | 3682,00 | 3535 | 146,65 | | |
| Diciembre | 4846,00 | 3598,8 | 1247,16 | | |
| Generación anual sistema convencional (KWh/año) | 55186,20 | Generación anual arreglo de paneles (KWh/año) | 46141 | Diferencia por cubrir aerogenerador (KWh/año) | 9045,31 |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 12 se puede ver la diferencia energética anual que deben producir los aerogeneradores que es de 9045,31 KWh/año equivalente a un 16,4% de la demanda energética anual de la Institución, por lo tanto de la tabla 8 (página 69) se obtiene que un aerogenerador de la marca Enair modelo E30 PRO produce 1667 KWh/año con las condiciones del viento dadas en la zona, por lo tanto, lo que se necesita para suplir el 16,4 % de la demanda anual es una cantidad de 6 aerogeneradores.

Comportamiento mensual de los 6 aerogeneradores

Para obtener los valores de energía producida mensualmente por 6 los aerogeneradores se debe multiplicar los 6 aerogeneradores por los datos de la tabla 8 (energía producida mensualmente por un aerogenerador). Por ejemplo, se tiene que el mes de enero la producción de un aerogenerador es de 337,5 KWh/mes según las condiciones del viento generadas, entonces multiplicamos los 6 aerogeneradores por los 337,5 KWh/mes, y esto nos da como resultado 2028 KWh/mes que es lo que producen en conjunto los 6 aerogeneradores esto se repite para todos los meses.

En la tabla 13 se verá el comportamiento mensual de producción del sistema de aerogeneradores:

Tabla 13. Comportamiento mensual sistema de seis aerogeneradores

| Comportamiento mensual sistema de seis aerogeneradores | | | |
|--|------|--|--|
| Mes | Días | Velocidad media del viento (m/s) | Energía producida por los seis aerogeneradores (KWh/mes) |
| Enero | 33 | 4,6 | 2028 |
| Febrero | 29 | 4,6 | 2028 |
| Marzo | 29 | 5,5 | 3037,5 |
| Abril | 29 | 3,5 | 1324,98 |
| Mayo | 32 | 1,3 | 0 |
| Junio | 30 | 1,4 | 0 |
| Julio | 30 | 1,2 | 0 |
| Agosto | 31 | 1,6 | 0 |
| Septiembre | 31 | 1,0 | 0 |
| Octubre | 32 | 1,3 | 0 |
| Noviembre | 30 | 1,9 | 0 |
| Diciembre | 29 | 4,1 | 1587,48 |
| | | Producción anual aerogeneradores KWh/año | 10006 |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se nota la producción mensual KWh/mes con seis aerogeneradores y la producción total KWh/año del sistema de aerogeneradores de pequeña potencia, cabe destacar que el sistema está generando 960,69 KWh/año más de la demanda máxima, este excedente se almacena en la red comercial. Con base en los datos obtenidos anteriormente tabla 11 y 12

respectivamente se realizará una tabla en la cual se representa la energía generada mensualmente por el sistema mixto con respecto a la facturación mensual del sistema convencional.

Tabla 14: Consumo energético convencional vs consumo energético sistema híbrido

| Consumo energético convencional vs consumo energético sistema híbrido | | | |
|---|---|--|--|
| Mes | Consumo eléctrico sistema convencional (KWh/mes) | Generación del sistema híbrido (KWh/mes) | Consumo energético sistema híbrido (KWh/mes) |
| Enero | 2541,20 | 6393 | 3852 |
| Febrero | 1389,00 | 6073 | 4684 |
| Marzo | 4678,00 | 7850 | 3172 |
| Abril | 6352,00 | 5789 | -563 |
| Mayo | 5060,00 | 3771 | -1289 |
| Junio | 6127,00 | 3175 | -2952 |
| Julio | 6044,00 | 3535 | -2509 |
| Agosto | 3615,00 | 3877 | 262 |
| Septiembre | 5402,00 | 3653 | -1749 |
| Octubre | 5450,00 | 3309 | -2141 |
| Noviembre | 3682,00 | 3535 | -147 |
| Diciembre | 4846,00 | 5186 | 340 |
| KWh/año | 55186,20 | 56146 | 960 |

Fuente: Elaboración Propia

Para obtener los datos de generación del sistema híbrido, se sumaron los datos generados por 74 paneles solares y los 6 micro-aerogeneradores los cuales están en la tabla 11 y 12 respectivamente, por ejemplo, para el mes de enero se generó con los paneles solares 4365 KWh/mes y 2028 KWh/mes con los aerogeneradores dando la suma como resultado 6393 KWh/mes generado en conjunto, mientras que la columna de consumo energético sistema híbrido solo es el excedente o faltante de energía del sistema mixto.

Diseño dos, análisis del sistema implementando un sistema de tipo conectado a la red 100% paneles solares con inversores.

Para este segundo análisis de diseño se tiene que se quiere cubrir de igual manera el 100% de la carga demandada pero utilizando un sistema solamente de paneles solares, por lo tanto, se calculará la cantidad de paneles necesarios para suplir la carga máxima demandada, para posteriormente, realizar una comparación económica de los casos de diseño 1 y diseño 2.

De la tabla 9 se dice que se necesita una cantidad de 74 paneles solares para abastecer el 83,60%, que es 46141KWh/anual generado por el arreglo de paneles, entonces para abastecer la cantidad de energía demandada del 100% de la Institución que es de 55186,20KWh/año se tiene que con la cantidad de un arreglo de paneles de 15 módulos más se tiene el 16,40% de la energía que se necesita que es de 9045,31KWh/año, los cuales los genera la cantidad de 15 módulos solares, el cálculo que se hace para estimar este cálculo es multiplicar los 15 módulos por la potencia nominal del panel como se hizo en el caso de diseño uno.

Para suplir el 100% de la carga demandada por la Institución se tiene que hacer el uso de 89 módulos solares, en la tabla 14 se observa la potencia generada por 89 módulos solares que son los que se necesitan para suplir el 100% de la carga demanda por la Institución.

Tabla 15. Potencia generada por 89 módulos solares y Consumo eléctrico sistema convencional

| Mes | Consumo eléctrico sistema convencional (KWh/mes) | Energía generada por 89 paneles (KWh/mes) | Potencia en exceso o faltante generada (KWh/mes) |
|---------|---|---|--|
| Enero | 2541,20 | 5259 | 2717,76 |
| Febrero | 1389,00 | 4874 | 3484,60 |
| Marzo | 4678,00 | 5798 | 1119,90 |

| | | | |
|------------|---------|-------|----------|
| Abril | 6352,00 | 5378 | -974,24 |
| Mayo | 5060,00 | 4543 | -516,72 |
| Junio | 6127,00 | 3825 | -2302,30 |
| Julio | 6044,00 | 4259 | -1784,68 |
| Agosto | 3615,00 | 4671 | 1055,77 |
| Septiembre | 5402,00 | 4401 | -1000,70 |
| Octubre | 5450,00 | 3987 | -1463,04 |
| Noviembre | 3682,00 | 4259 | 577,33 |
| Diciembre | 4846,00 | 4336 | -510,18 |
| | 55186 | 55590 | 403,50 |

Fuente: Elaboración propia

Selección del equipo fotovoltaico

Después de realizar el cálculo de número de paneles solares para los dos diseños se procede a la elección del panel solar que se va a utilizar, para ambos diseños se seleccionó el panel solar de marca JKM325PP-72/Caja con una dimensión de 1,94 metros cuadrados (m²) los cuales son distribuidos por Sunshine Solar S.A las dimensiones y especificaciones técnicas del panel se pueden ver en el apéndice 4 respectivamente.

Cálculo de inversores por utilizar diseño uno y dos

Para las propuestas de diseño expuestas en este trabajo se expondrán dos casos para la selección del inversor. El primer caso es utilizar inversores comunes para las propuestas de diseño uno y dos, el segundo caso es implementar el uso de micro-inversores en la propuesta dos

con el fin de comparar que inversor es el óptimo para el sistema 100% fotovoltaico ya sea el inversor común o el micro-inversor tomando en cuenta los aspectos técnicamente y financieros.

Calculo inversor solar propuestas diseño uno y dos

Calculo inversor común

Para calcular el inversor que se utilizará se debe sumar los voltajes de cada panel solar como se explica en la figura de conexión en serie del marco referencial de este documento. Entonces para obtener el voltaje total de los paneles se realiza uso de la siguiente ecuación:

$$VT \text{ paneles} = \text{Numero de paneles } (N_p) * \text{Voltaje máximo del panel } (V_{mp})$$

Ecuación:

$$VT \text{ paneles} = \text{Numero de paneles } (N_p) * \text{Voltaje máximo del panel } (V_{mp})$$

$$VT \text{ paneles} = 89 \text{ paneles} * 37,6 V = 3346,4 V$$

Luego para calcular la potencia de los sistemas se requiere la corriente máxima de los paneles solares que se obtiene de la ficha técnica del panel que es de 8,66 A. Entonces la potencia se calcula de la siguiente forma:

Ecuación: Potencia por sistema solar

$$Potencia = 3346,4 V * 8,66 A = 28979,824 W$$

Por lo tanto, se necesitarían 3 inversores de como mínimo 9657,941 W los cuales los primeros 2 inversores controlarían 30 paneles cada uno, mientras un tercer inversor controlaría 29 paneles, dando un total de 89 módulos solares, para efectos de este diseño se utilizarán inversores

marca Fronius Primo modelo 10, los cuales son de 9995 W que cumple con las especificaciones anteriormente mencionadas.

Anteriormente, se realizó el cálculo de inversores para el caso de diseño dos, para el cálculo de diseño uno se repite el mismo procedimiento nada más que con un arreglo de 74 paneles. Entonces, se tiene que la multiplicación de los 74 módulos por el voltaje máximo del panel (37,6 V) da un resultado de 2782,4 V teniendo este voltaje se procede a calcular la potencia que es el voltaje producto del cálculo anterior por la corriente máxima del panel (8,66 A) el resultado de éste da una potencia de 24095,584 W.

Con el cálculo de la potencia ya realizado se dice que se necesitarán 5 inversores de 5000 watts esto los cuales, los primeros 4 inversores estarán conectados a 15 paneles cada uno y un inversor estará conectado a 14 paneles dando esto los 74 módulos necesarios para suplir el consumo. Para el caso de diseño uno de igual manera inversores de marca Fronius modelo primo 5.0.

Puesto que el voltaje del inversor es de 600 voltios la conexión de los sistemas no puede estar conectada totalmente en serie o paralelo, por lo que para efectos de diseño se implementará una conexión mixta serie y paralelo esto se realizará en el capítulo V de este documento respectivamente.

Calculo del micro-inversor por utilizar

En la propuesta de diseño dos se menciona que se realizará el cálculo de micro-inversores, en este apartado se mencionan los aspectos que se tienen que tomar en consideración para la correcta elección del dispositivo, los cuales son los siguientes; la tensión en corto circuito, la tensión a la máxima potencia, el coeficiente de temperatura, la corriente de corto circuito, el

número de células y también la potencia nominal del panel, mencionado lo anterior se procede a calcular el número de paneles que se podrían conectar a un micro-inversor de 400 w como se muestra a continuación :

$$\#Paneles/microinversor = \frac{Potencia\ nominal\ del\ inversor}{Potencia\ nominal\ del\ panel}$$

$$\#Paneles/microinversor = \frac{400W}{325W} = 1,2\ Paneles/Inversor$$

Según el cálculo anterior se necesitara un micro- inversor por cada panel, en esta propuesta del 100% sistema solar se tiene que para suplir la carga demandada por la institución se necesitan 89 módulos solares por lo que se necesitarían 89 micro-inversores para este sistema (ver apéndice L), donde se encuentra el micro-inversor IQ 6 que es el que se ajusta a las caracterices mencionadas anteriormente.

Debido a la cantidad de paneles que se tiene es preferible utilizar un inversor común ya que este implica un menor costo que utilizar 89 micro-inversores, ya que en el aspecto técnico es más factible y cómodo darle mantenimiento a tres inversores normales que a 89 micro-inversores, al aumentar el tamaño de equipo a utilizar en el sistema, aumentaría las horas de trabajo del personal a cargo del manteamiento y mano de obra de instalación, lo cual implica un costo monetario que afectaría directamente el costo del proyecto y la rentabilidad.

Por las razones mencionadas anteriormente se decide no implementar el uso de micro-inversores en los diseños e implementar los sistemas con inversores comunes.

En la figura siguiente se muestra el diagrama unifilar para la conexión de micro-inversores conectado en serie, cabe mencionar que se utiliza un protección de 20 A que es la que recomienda el fabricante para 3 sistemas de máximo de 15 paneles solares.

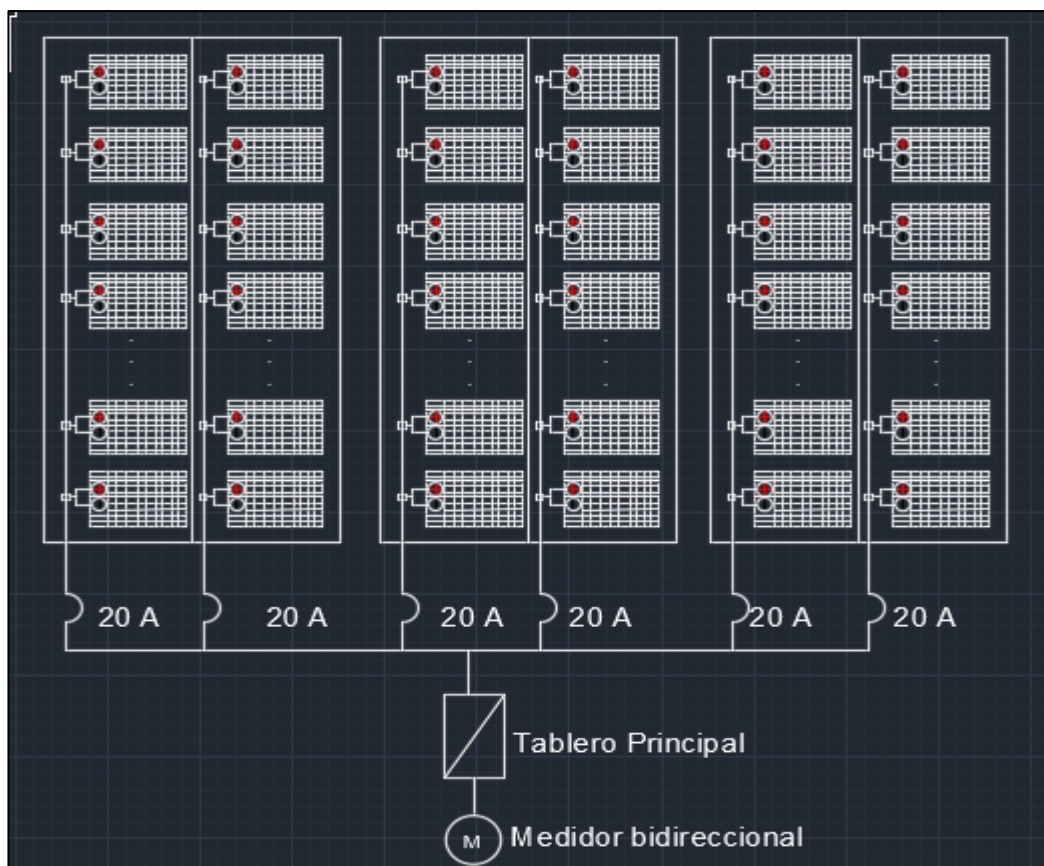


Figura 16. Diagrama unifilar sistema 89 paneles con micro-inversores
Fuente: Elaboración propia

Cálculo de conductores y protecciones contra sobre tensión

En este apartado se realizará el procedimiento para realizar los cálculos de los conductores y la protección contra la sobretensión en los circuitos, tanto DC como en AC, para el cálculo y dimensionamientos de los conductores y protecciones se utilizará el Código Eléctrico Nacional (NEC) 2008.

Conductores en corriente directa (DC)

Los paneles a estar en conexión en serie la corriente del circuito son igual a la corriente máxima de un solo panel que, según la ficha técnica es de $8,66 A_{DC}$.

Según el Código Eléctrico Nacional (NEC) 2008, artículo 690.8 (B) (1) “Dimensionamiento de los conductores y los dispositivos de protección contra sobre corriente“, se tiene que:

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

Ecuación corriente circuito DC

$$I_{\text{circuito Dc}} = 8,66A * 1,25 = 10.825A$$

Para la corriente calculada para el circuito DC se tiene que el cable número 12 AWG THHN cumple con las especificaciones necesarias, ya que la corriente máxima que soporta es de 25 A, según la tabla 310.16 del NEC 2008.

Protección de sobre tensión en corriente directa (DC)

Según las especificaciones técnicas el inversor que se utilizará FRONIUS PRIMO, tiene integrado una protección contra fallas por arco eléctrico, además cuenta con protección de polaridad inversa y un medio de desconexión en DC adecuado para sus parámetros de trabajo, por lo tanto, no es necesario realizar un cálculo de protección.

Conductor en corriente alterna (AC)

En el NEC 2008, se especifica en el artículo 690.10 inciso (B), que la corriente del circuito AC debe ser igual a la corriente nominal de la salida del inversor por utilizar, además, según el artículo 690.8 (B) (1) para el dimensionamiento del conductor, dicho dimensionamiento debe tener la capacidad de llevar una corriente del 125%.

Según la ficha técnica del inversor se tiene que la corriente máxima continua de salida es de 41,6 A, por lo tanto:

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

Ecuación: Corriente circuito AC

$$I_{\text{circuito AC}} = 41,6A * 1,25 = 52 A$$

Según el cálculo anterior el cable que se debe escoger es un cable de calibre número 6 AWG THHN ya que éste soporta un valor de corriente de 55 A a 60 grados centígrados esto, según la tabla 310.16 del Código Eléctrico Nacional (NEC).

Protección sobre tensión en AC

Para la protección en AC, según el artículo 240.6 inciso (A), de fusibles e interruptores autónomos de disparo fijo, se establece una protección contra sobre tensión en AC de 60A.

Conductor del electrodo de puesto a tierra

De la tabla 250.66 del Código Eléctrico Nacional (NEC) 2008 se tiene que para un calibre de cable menor a 2 AW el calibre recomendado para el sistema de puesto a tierra es de # 8 AWG THW CU.

Tubería para instalación eléctrica

Para el cálculo necesario de la tubería que se necesita para la instalación de los sistemas, se realiza el uso de la tabla 5 del Código Eléctrico Nacional (NEC), Según la tabla mencionada anteriormente el calibre de los cables #12, # 8 y # 6 tienen un área de 11,68 mm² ,28,19 mm² y 46 mm² en ese orden respectivamente, una vez realizado esto, se hace la suma de las dimensiones de

los conductores dando como resultado $86,71 \text{ mm}^2$ y con el uso de la tabla 4 artículo 352 del NEC y con la suma de las tres áreas de los conductores se dice que se debe utilizar una tubería de 3/4 de pulgada para la instalación de los equipos.

Elementos necesarios para la conexión a la red de los aerogeneradores

Un sistema eólico está constituido por un subconjunto de componentes, tanto hidráulicos como sistemas mecánicos y eléctricos, estos componentes se unen o más bien se combinan en una turbina eólica para transformar la energía producida por el viento (energía eólica) en energía utilizable, para el desarrollo del diseño uno, se utiliza un sistema de conversión de energía sugerido por el fabricante del aerogenerador seleccionado el E30 PRO, cabe destacar que el fabricante suministra los siguientes elementos :

- Interruptor de frenado
- Resistencias de frenado
- Regulador eólico
- Puntera de acople o base

Turbina eólica

La turbina es la encargada de recolectar la fuerza del viento. Para la selección de este dispositivo se escoge la turbina de eje horizontal E30 PRO.

Generador

El generador es el encargado de convertir la potencia mecánica proporcionada por la turbina en energía eléctrica. El generador viene incorporado en la turbina E30 PRO.

Rectificador

En el caso de ENAIR el rectificador AC/DC aparece integrado en un interfaz que se instala entre el aerogenerador y el inversor llamado controlador eólico.

Controlador eólico

El controlador eólico Enair Pro-Grid lleva incorporadas unas resistencias de frenado, que se colocan en paralelo con el aerogenerador o a la salida del rectificador y disipan mediante calor los excesos de potencia generados en situaciones de viento excesivo, regulando así la potencia además de la tensión de entrada al inversor, en el anexo 6 se ven las especificaciones de este dispositivo los datos anteriormente mencionados fueron obtenidos del manual del fabricante.

Inversor eólico

El fabricante se encarga de suministrar el inversor ideal para el sistema, cabe destacar que el aerogenerador es compatible con prácticamente todos los inversores eólicos del mercado. El modelo Enair es para redes, tanto monofásicas como trifásicas a 110V/220/380 (50/60Hz) y permite la colocación en serie varios equipos, permitiendo así poder instalar más potencia eólica.

Soporte y acomodo de los paneles solares

Tal y como se observa en las figuras 3, 4 y 5 respectivamente en el capítulo II marco referencial (página 11) se muestran las áreas de techo que se tienen disponible para la instalación de los sistemas de paneles solares y aerogeneradores cabe destacar que el aérea de la zona A(figura 2) que se encuentra en el marco referencial no se utilizara por complejidad para la instalación de los sistemas solares, ya que en esa área se encuentra la dirección del colegio y las aulas de computación, por lo que en esa zona se encuentra todos los equipos de aires

acondicionados cuales están ubicados en el techo, por lo que sería incomodo técnicamente instalar paneles solares por lo que se decide utilizar las áreas restantes que son las suficientes para la cantidad de paneles que se requieren para suplir la carga demandada por la Institución.

Para este diseño se elige una base recomendada por el fabricante de 4,2 m en los cuales alcanzan 4 paneles de 2 m de longitud y 1 m de ancho aproximadamente ver (apéndice 4) cabe destacar que el valor de la longitud es de 1956 milímetros (mm) y el del ancho es de 992 mm estos valores se calculan en metros dando la longitud 1,956 metros (m) y 0,992 m y la zona E donde se instalaran los micro-aerogeneradores como se muestra en la (figura 6 página 14) marco referencial se encuentra una imagen satelital tomada de la zona. Para la instalación se tienen bases de 4 m de alto y un peso de 125 kg para cada micro-aerogenerador estas especificaciones técnicas se encuentran en el apéndice C respectivamente y en la, (tabla 14 página 82) se encuentran estas especificaciones.

Acomodo y soporte de paneles solares zona B

El acomodo de los paneles solares que se realizará, en esta zona será el de los 29 módulos, los cuales se distribuirán de la siguiente manera; 15 módulos irán con vista hacia al sur y los 14 paneles restantes serán colocados en la zona norte, Cabe destacar que el área total de los 29 paneles es de 56,26 m² y el área total de la zona B es de 447 m²

Acomodo y soporte paneles solares zonas C y D

El acomodo de la zona C y D se realizarán de la misma manera, entonces para estas dos zonas el acomodo será de 15 módulos en la zona sur y 15 en la zona norte, el área total de las zonas C y D son las mismas de 517 m² y el área de 30 paneles es de 58,2 m².

Ángulo óptimo para el panel

Para obtener el ángulo óptimo de inclinación para los paneles, se utilizará la fórmula mencionada en el análisis referencial que dice que se utilice el ángulo de la latitud de la zona dimensionándole un ángulo 10° (grados) por lo que da un ángulo de 20°.

Acomodo de los micro-aerogeneradores

Para el acomodo del sistema de aerogeneradores se predestino el área de la zona E, cabe mencionar que el sistema de micro-aerogeneradores no se instalara, por las bajas velocidades de viento presentes en la zona, también se tiene que el aérea de la zona no es la suficiente para la instalación de 6 aerogeneradores de 3,4 metros de longitud y 3,80 metros de diámetro con un peso de 125 kilogramos cada uno y sumándole el peso de las bases de soporte de 4 metros la estructura no soportaría el peso.



Figura 17. Zona 5, área disponible micro-aerogeneradores.
Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se muestra un diagrama unifilar con las conexiones de un micro-aerogenerador marca Enair E30PRO en combinación a un sistema de paneles solares, cabe

mencionar que este diagrama unifilar es para representar un sistema mixto solar eólico y no una propuesta que se vaya a implementar.

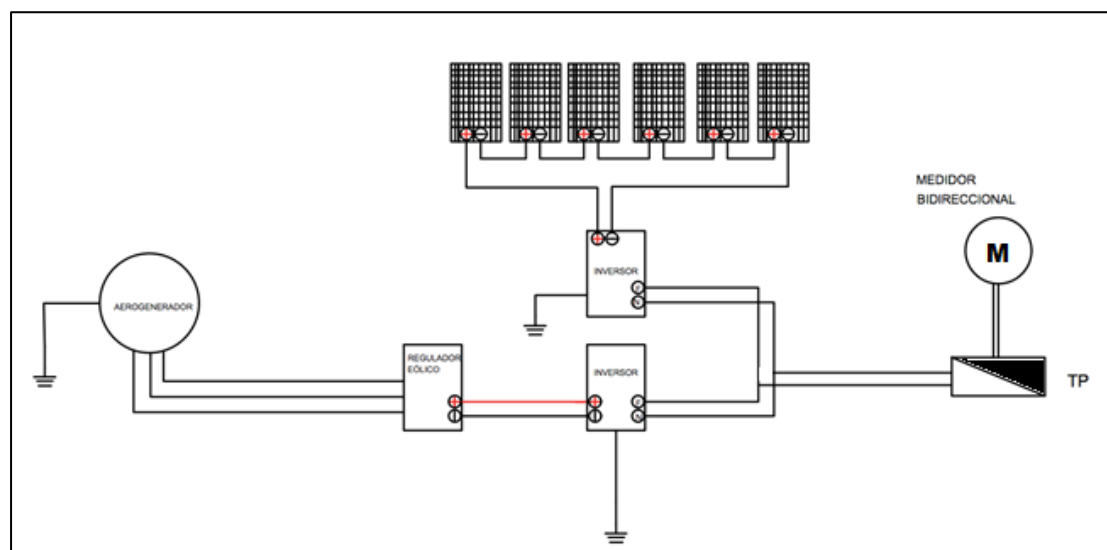


Figura 18. Diagrama unifilar sistema mixto
Fuente: Elaboración propia

Análisis financiero

En este apartado, se realizará el cálculo de la rentabilidad y viabilidad del proyecto, aquí se encontrarán, los precios de las facturas proformas brindadas por los distribuidores de los equipos, los costos de equipos, tarifas de las normas de generación distribuida establecidas por la POASEN, los precios regulados por la ARESEP, dichas normas serán tomadas en consideración en este apartado para realizar los cálculos necesarios.

Las normas establecidas por la POASEN energía regulado en el artículo 5 de la Ley N.º 7543. Dicen que el micro-generador debe consumir el 51% de lo que se produce y podrá utilizar el 49% a un menor costo como se mencionó anteriormente en el marco referencial,” Artículos y normativa técnica AR-NT-POASEN vigente en Costa Rica”.

Según la publicación en La Gaceta Alcance N.º 167, San José, Costa Rica, viernes 21 de setiembre del 2018, para Tarifa T-CO tarifa para comercios y servicios, por cada KWh que se obtenga de la red con consumos menores o igual a 3000 KWh se cobrarán ₡95,96, para consumos mayores a 3000 KWh se cobrará a ₡ 60,78 y la tarifa de acceso a la red de Coopeguanacaste es de ₡21,80 por cada KWh adicional, cabe destacar que ambos diseños se realizarán con las mismas especificaciones mencionadas anteriormente.

Análisis financiero diseño uno, análisis del sistema híbrido (solar/eólico) supliendo el total de carga anual 100% del sistema tipo conectado a la red, implementando el uso de inversores en el sistema fotovoltaico

Para el análisis financiero del diseño uno, se tomará en cuenta solo la inversión del sistema solar, ya que los fabricantes de los aerogeneradores no contestaron correos o dieron información de cotizaciones de los equipos por lo cual no se tiene un costo aproximado de costos del equipo ,instalación del equipo, gastos de envíos, costo de mantenimiento, por lo que se procederá a realizar el análisis financiero solo con el sistema fotovoltaico y ver el ahorro generado por el sistema solar supliendo el 83,60% solamente, en los apéndices se encuentran las cotizaciones de los equipos por utilizar, para la instalación se recuerda que estos cálculos están basados en las normas mencionadas anteriormente, ver apéndice (7) y (8).

Tabla 16.costo equipo solar diseño uno

| Equipo | Modelo | Cantidad | | Precio por unidad(\$) | | Costo Total (\$) | |
|--------------|-------------------|-------------------------------|---------|-------------------------------|--------|-----------------------------|---------------|
| Panel Solar | JKM325PP-72/Caja | 74 | | 133,50 | | 9,879.00 | |
| Inversor | Primo 5 | 5 | | 2,065.70 | | 10,328.50 | |
| Estructura | Riel CK-FT-7R4200 | 24 | | 22,04 | | 528,98 | |
| Unión Rieles | Unión CK-FT-SKA | 15 | | 1,49 | | 22,35 | |
| | | Obra y mantenimiento 20% (\$) | 4151,66 | Instalación eléctrica 3% (\$) | 622,74 | Costo total del sistema(\$) | 26155,47 |
| | | | | Interconexión (₡) | 48,687 | Costo en colones | 15.778.586,66 |

| | | | |
|--|--|-----------------------|--|
| | | Costarricenses (₡) | |
|--|--|-----------------------|--|

Elaboración: Fuente propia

En la tabla 16 se muestra el costo total de instalación del equipo que es de ₡15.778586,66 esto con un tipo de cambio de 601,40 por dólar ,dato consultado el día 28 de octubre del 2018 en la página web del Banco Central de Costa Rica ,se considera un 20% del costo total del proyecto como mano de obra y mantenimiento del equipo ,3% instalación eléctrica, se debe destacar que en las cotizaciones realizadas no se pudo contemplar el costo de mano de obra de la instalación de los sistema solares, esto debido a las políticas internas de la empresa donde se realizaron estas cotizaciones, entonces se tomó en consideración la experiencia Ing. Máster. Álvaro Rojas Camacho. Él recomienda sumarle al subtotal de los costos del sistema solar un 20% de mano de obra y mantenimiento del equipo lo que incluye, el costo de instalación del sistema solar y el mantenimiento respectivo de los paneles, 3% de instalación eléctrica necesaria para los paneles, por lo que se procede a realizar el cálculo con los valores recomendados por el ingeniero debido a la alta experiencia en el campo de la energía solar.

En la tabla 17 y 18, respectivamente, se muestra la energía generada por los 74 módulos y el consumo eléctrico de la Institución en los periodos del año 2017, estas son tablas realizadas con la herramienta Excel, las tablas se hicieron con el fin de obtener un aproximado de la energía que se va a tomar de la red eléctrica o la que almacenará en la red. Las tablas que se muestran en las figuras se realizaron con base en la tabla 11 “.Diferencia energía por cubrir aerogeneradores de pequeña potencia”, se debe mencionar que en este apartado se contemplaba el uso de los aerogeneradores para suplir el consumo faltante de energía para generar el 100% de la demanda energética necesitada por la Institución, la energía que iba a suplir en conjunto por los aerogeneradores de pequeña potencia se remplazará por energía obtenida de la red comercial, ya

que como se mencionaba antes no se tienen cotizaciones del costos de los equipo de los aerogeneradores de pequeña potencia.

Tabla 17. Facturación estimada del sistema solar contra facturación actual

| Meses | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio |
|--|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| Energía almacenada(mes previo) | 0 | 1823,88 | 4480,09 | 4614,5 | 2353,395 | 1200,23145 |
| Energía generada 74 módulos | 4365 | 4045 | 4812 | 4464 | 3771 | 3175 |
| Energía consumida | 2541,2 | 1389 | 4678 | 6352 | 5060 | 6127 |
| Energía requerida | -1823,88 | -2656,21 | -134,41 | 1888,32 | 1288,96 | 2952,4 |
| Energía subida a la red | 1823,88 | 2656,21 | 134,41 | -1888,32 | -1288,96 | -2952,4 |
| Energía bajada de la red comercializadora | 0 | 0 | 0 | 0 | 135,79645 | 2364,28659 |
| Energía bajada de la red propia (49%) | 0 | 0 | 0 | 2261,105 | 1153,16355 | 588,1134105 |
| Facturación 74 módulos solares(₡) | 0 | 0 | 0 | 49292,089 | 38169,99273 | 239697,8135 |
| Facturación energía bajada de la red (₡) | 0 | 0 | 0 | 0 | 13031,02734 | 226876,9411 |
| Facturación actual sistema convencional(₡) | 309,815.20 | 184,748.95 | 550,972.46 | 732,681.01 | 657,858.96 | 713,287.6 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Continuación de tabla 17, facturación estimada del sistema solar contra facturación actual

| Meses | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Energía almacenada(mes previo) | 612,1180395 | 312,1802001 | 574,0402001 | 292,7605021 | 149,3078561 | 76,14700659 |
| Energía generada 74 módulos | 3535 | 3877 | 3653 | 3309 | 3535 | 3598,8 |
| Energía consumida | 6044 | 3615 | 5402 | 5450 | 3682 | 4846 |
| Energía requerida | 2508,65 | -261,86 | 1748,81 | 2140,72 | 146,65 | 1247,16 |
| Energía subida a la red | -2508,65 | 261,86 | -1748,81 | -2140,72 | -146,65 | -1247,16 |
| Energía bajada de la red comercializadora | 2208,712161 | 0 | 1467,530302 | 1997,267354 | 73,48915053 | 1209,847967 |
| Energía bajada de la red propia (49%) | 299,9378394 | 0 | 281,2796981 | 143,452646 | 73,16084947 | 37,31203323 |
| Facturación 74 módulos solares(₡) | 218486,6638 | 0 | 146956,1052 | 194785,043 | 8646,925403 | 116910,4132 |
| Facturación energía bajada de la red (₡) | 211948,0189 | 0 | 140824,2078 | 191657,7753 | 7052,018885 | 116097,0109 |
| Facturación actual sistema convencional(₡) | 725,430.01 | 566,229.36 | 665,272.01 | 667,816.61 | 570,171.86 | 573,734.86 |

Fuente: Elaboración propia

Con base en los resultados de las tablas anteriores se realizará una tabla con los ahorros generados por el sistema supliendo el 83,60% con energía solar, estos cálculos se efectuaron con la herramienta de Excel.

Tabla 19. Ahorro generado al sistema solar

| Ahorro debido al sistema solar | |
|---|---------------|
| Gasto en facturación Eléctrica sistema actual | ¢6.918.018,68 |
| Gasto en facturación con el sistema solar | ¢1.012.945,05 |
| Ahorro anual en la facturación eléctrica | ¢5.905.073,63 |
| Cargos fijos tarifa eléctrica | ¢182340 |
| Ahorro anual resultante con el sistema solar | ¢6.089.413,63 |

Fuente: Elaboración propia

Después de obtener los datos de los costos de la inversión inicial del sistema supliendo un 83,60 % solar y el valor del ahorro anual generado por el sistema de paneles solares que se muestra en la tabla anterior, se procede a estimar la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN) para conocer la rentabilidad del proyecto.

Para efectos de este análisis, la tasa de interés que se utilizará será de un 8% a un plazo de 5 años, con la cual se obtendrán los valores de los descuentos en el estudio realizado, se fija un periodo de 15 años. Para los años que restan se establece un 5% anual en la tarifa eléctrica de la Coopeguanacaste R.L, según la consulta que se hizo vía telefónica a la Institución, por lo que el ahorro variaría. El procedimiento mencionado anteriormente se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 20. Retorno de la inversión sistema 83,60% de la demanda

| AÑOS | AHORROS NETOS (¢) | VAN |
|------|----------------------|------------------|
| 0 | -15778586,66 | (¢15.778.586,66) |
| 1 | 6089413,63 | (¢10.140.240,71) |
| 2 | 5784942,949 | (¢4.783.812,05) |
| 3 | 5495695,801 | ¢304.795,17 |
| 4 | 5220911,011 | ¢5.138.972,03 |
| 5 | 4959865,46 | ¢9.731.440,05 |
| 6 | 4711872,187 | ¢14.094.284,67 |

| | | |
|----|-------------|----------------|
| 7 | 4476278,578 | ∅18.238.987,06 |
| 8 | 4252464,649 | ∅22.176.454,33 |
| 9 | 4039841,417 | ∅25.917.048,23 |
| 10 | 3837849,346 | ∅29.470.612,44 |
| 11 | 3645956,879 | ∅32.846.498,44 |
| 12 | 3463659,035 | ∅36.053.590,14 |
| 13 | 3290476,083 | ∅39.100.327,25 |
| 14 | 3125952,279 | ∅41.994.727,51 |
| 15 | 2969654,665 | ∅44.744.407,75 |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla vista anteriormente, se puede observar la inversión del sistema solar con el uso de 74 paneles solares supliendo el 83,60% de la energía demandada por la Institución. Se obtuvo como resultado, que la inversión se recupera en el año tres después de haber implementado este sistema, cabe destacar que a la Institución se le cobra una tarifa de baja de energía de la red igual en el día o la noche esto, según el personal de la Coopeguanacaste ya que es un colegio diurno y nocturno, se realiza el trámite de la manera anteriormente mencionada, también los datos de costos fijos, pagó de bomberos están implícitos en los datos mostrados anteriormente.

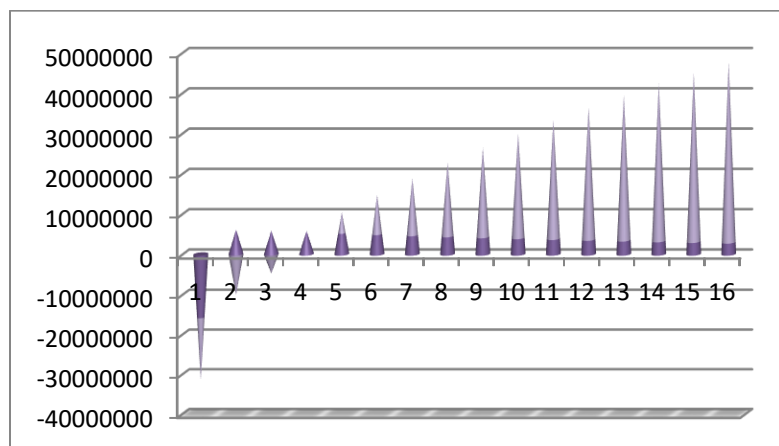


Figura 19. retorno de la inversión sistema 83,60 % de la carga demandada

Fuente: Elaboración propia

La figura mostrada anteriormente muestra los datos de la tabla 20 gráficamente; de los resultados mostrados anteriormente se obtuvo un VAN de ∅44.744.407,75 y una TIR del 30%.

Análisis financiero diseño 2, análisis del sistema implementando un sistema de tipo conectado a la red 100% paneles solares con inversores y análisis con micro-inversores.

Tabla 21. Costo Sistema solar

| Equipo | Modelo | Cantidad | | Precio por unidad(\$) | | Costo Total (\$) | |
|--------------|-------------------|-------------------------------|----------|-------------------------------|--------|---------------------------------------|---------------|
| Panel Solar | JKM325PP-72/Caja | 89 | | 133,50 | | 11,881.50 | |
| Inversor | Primo 10 | 3 | | 3,378,70 | | 10,136.10 | |
| Estructura | Riel CK-FT-7R4200 | 24 | | 22,04 | | 528,98 | |
| Unión Rieles | Unión CK-FT-SKA | 15 | | 1,49 | | 22,35 | |
| | | Obra y mantenimiento 20% (\$) | 4.513,78 | Instalación eléctrica 3% (\$) | 677,07 | Costo total del sistema(\$) | 32.950,61 |
| | | | | Interconexión (¢) | 48,687 | Costo en colones Costarricenses (¢) | 19,865,183.01 |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se muestra el costo total de instalación del equipo que es de ₡19816496,01 esto con un tipo de cambio de 601,40 por dólar ,dato consultado el día 28 de octubre del 2018 en la página web del Banco Central de Costa Rica ,se considera un 20% del costo total del proyecto como mano de obra y mantenimiento del equipo ,3% instalación eléctrica, se debe destacar que en las cotizaciones realizadas no se pudo contemplar el costo de mano de obra de la instalación de los sistema solares, esto debido a las políticas internas de la empresa donde se realizaron estas cotizaciones, entonces se tomó en consideración la experiencia Ing. Máster. Álvaro Rojas Camacho. Él recomienda sumarle al subtotal de los costos del sistema solar un 20% de mano de obra y mantenimiento del equipo ,3% de instalación eléctrica necesaria para los paneles, por lo que se procede a realizar el cálculo con los valores recomendados por el ingeniero debido a la alta experiencia en el campo de la energía solar.

En las tablas 22 y 23 se muestra la energía generada y el consumo eléctrico en los periodos del año 2017, esto se hace con el fin de obtener un aproximado de la energía que se va a tomar de la red eléctrica o se almacenara.

Tabla 22. Facturación sistema solar contra sistema convencional.

| Meses | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio |
|--|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| Energía almacenada(mes previo) | 0 | 2717,76 | 6202,36 | 7322,26 | 3734,3526 | 1904,519826 |
| Energía generada 89 módulos | 5259 | 4874 | 5798 | 5378 | 4543 | 3825 |
| Energía consumida | 2541,2 | 1389 | 4678 | 6352 | 5060 | 6127 |
| Energía requerida | -2717,76 | -3484,6 | -1119,9 | 974,24 | 516,72 | 2302,3 |
| Energía subida a la red | 2717,76 | 3484,6 | 1119,9 | 0 | 0 | 0 |
| Energía bajada de la red comercializadora | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1369,085285 |
| Energía bajada de la red propia (49%) | 0 | 0 | 0 | 3587,9074 | 1829,832774 | 933,2147147 |
| Facturación 89 módulos solares | 0 | 0 | 0 | 78216,38132 | 39890,35447 | 151721,5048 |
| Facturación energía bajada de la red | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 131377,424 |
| Facturación actual sistema convencional(₡) | 309,815.20 | 184,748.95 | 550,972.46 | 732,681.01 | 657,858.96 | 713,287.6 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Continuación facturación sistema solar contra sistema convencional

| Meses | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Energía almacenada(mes previo) | 971,3051113 | 495,3656067 | 1551,135607 | 791,0791594 | 403,4503713 | 960,7803713 |
| Energía generada 89 módulos | 4259 | 4671 | 4401 | 3987 | 4259 | 4336 |
| Energía consumida | 6044 | 3615 | 5402 | 5450 | 3682 | 4846 |
| Energía requerida | 1784,68 | -1055,77 | 1000,7 | 1463,04 | 557,33 | 510,18 |
| Energía subida a la red | 0 | 1055,77 | 0 | 0 | 557,33 | 0 |
| Energía bajada de la red comercializadora | 1308,740495 | 0 | 240,6435527 | 1075,411212 | 0 | 39,39761806 |
| Energía bajada de la red propia (49%) | 475,9395045 | 0 | 760,0564473 | 387,6287881 | 0 | 470,7823819 |
| Facturación 89 módulos solares(₡) | 135962,2191 | 0 | 39661,38587 | 111646,7675 | 0 | 14043,65136 |
| Facturación energía bajada de la red (₡) | 125586,7379 | 0 | 23092,15532 | 103196,4599 | 0 | 3780,595429 |
| Facturación actual sistema convencional(₡) | 725,430.01 | 566,229.36 | 665,272.01 | 667,816.61 | 570,171.86 | 573,734.86 |

Fuente: Elaboración propia

Con base en los resultados de la tabla 24 se realizará una tabla con los ahorros generados por el sistema 100% solar.

Tabla 24. Costo equipo solar supliendo el 100%

| Ahorro debido al sistema solar | |
|---|---------------|
| Gasto en facturación Eléctrica sistema actual | ₡6.918.018,68 |
| Gasto en facturación con el sistema solar | ₡571.142,264 |
| Ahorro anual en la facturación eléctrica | ₡6346876,416 |
| Cargos fijos tarifa eléctrica | ₡182.340 |
| Ahorro anual resultante con el sistema solar | ₡6.529.216 |

Después de obtener los datos de los costos de la inversión inicial del sistema 100% solar y el valor del ahorro anual generado por el sistema de paneles solares que se muestra en la tabla anterior, se procede a estimar la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN) para conocer la rentabilidad del proyecto.

Para efectos del análisis del diseño dos, la tasa de interés que se utilizará será de un 8% a un plazo de 5 años, con la cual se obtendrán los valores de los descuentos en el estudio realizado, se fija un periodo de 15 años. Para los años que restan se establece un 5% anual en la tarifa eléctrica de la Coopeguanacaste R.L, según la consulta que se hizo vía telefónica a la Institución, por lo que el ahorro variaría. El procedimiento mencionado anteriormente se puede observar en la tabla 25:

Tabla 25. Ahorros generados por el sistema 100% de la carga demandada

| Años | Ahorros netos | VAN |
|------|---------------|------------------|
| 0 | -19816496,01 | (₡19.816.496,01) |
| 1 | 6529216 | (₡13.770.925,64) |
| 2 | 6202755,2 | (₡8.027.633,79) |
| 3 | 5892617,44 | (₡2.571.506,53) |
| 4 | 5597986,568 | ₡2.611.814,37 |
| 5 | 5318087,24 | ₡7.535.969,22 |
| 6 | 5052182,878 | ₡12.213.916,33 |
| 7 | 4799573,734 | ₡16.657.966,08 |

| | | |
|----|-------------|----------------|
| 8 | 4559595,047 | ¢20.879.813,35 |
| 9 | 4331615,295 | ¢24.890.568,25 |
| 10 | 4115034,53 | ¢28.700.785,41 |
| 11 | 3909282,803 | ¢32.320.491,71 |
| 12 | 3713818,663 | ¢35.759.212,69 |
| 13 | 3528127,73 | ¢39.025.997,63 |
| 14 | 3351721,344 | ¢42.129.443,32 |
| 15 | 3184135,276 | ¢45.077.716,72 |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla vista anteriormente, se puede observar la inversión del sistema solar con el uso de 89 paneles solares supliendo el 100 % de la energía demandada por la Institución. Se obtuvo como resultado, que la inversión se recupera en el año cuatro después de haber implementado este sistema, se obtiene un VAN de ¢45,077.716,72 y una TIR del 25%, en la figura que se mostrara, a continuación, se encuentran estos datos :

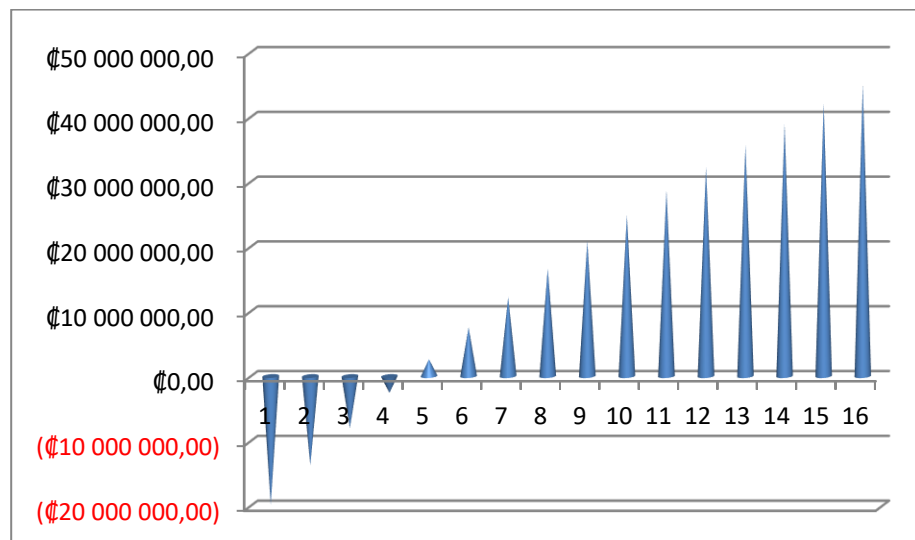


Figura 20. Ahorro generado por el sistema 100% de la carga demanda
Fuente: Elaboración propia

Costo equipo solar con micro-inversores

Este caso se basa en la misma generación eléctrica del caso con inversores centrales, solo que en este caso se realiza un cambio de tecnología en el sistema, en el cual se implantará el uso de micro- inversores, en la siguiente tabla se muestra el costo del equipo solar ver apéndice M, implementando el uso del micro-inversor:

Tabla 26. Costo del equipo solar con micro-inversores

| Equipo | Modelo | Cantidad | | Precio por unidad(\$) | | Costo Total (\$) | |
|----------------|-------------------|-------------------------------|----------|-------------------------------|--------|---------------------------------------|---------------|
| Panel Solar | JKM325PP-72/Caja | 89 | | 133,50 | | 11,881.50 | |
| Micro-inversor | IQ6 | 89 | | 200 | | 17,800 | |
| Estructura | Riel CK-FT-7R4200 | 24 | | 22,04 | | 528,98 | |
| Unión Rieles | Unión CK-FT-SKA | 15 | | 1,49 | | 22,35 | |
| Envoy | Envoy IQ6 | 1 | | 404 | | 404 | |
| | | Obra y mantenimiento 20% (\$) | 4.513,78 | Instalación eléctrica 3% (\$) | 677,07 | Costo total del sistema(\$) | 35.187,35 |
| | | | | Interconexión (¢) | 48,687 | Costo en colones Costarricenses (¢) | 21.210.325,29 |

Fuente: Elaboración propia

Después de obtener los datos de los costos de la inversión inicial del sistema 100% solar con micro- inversores y el valor del ahorro anual generado por el sistema de paneles solares que se muestra en la tabla 24, se procede a estimar la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN) para conocer la rentabilidad del proyecto.

Tabla 27. Ahorros generados por el sistema 100% paneles con micro-inversores

| Años | Ahorros Netos | VAN |
|------|-----------------|------------------|
| | ¢ | ¢ |
| 0 | (21.206.750,89) | (21.206.750,89) |
| 1 | 6529216 | (¢15.161.180,52) |

| | | |
|----|-------------|------------------------------|
| 2 | 6202755,2 | ($\text{C}\$9.417.888,67$) |
| 3 | 5892617,44 | ($\text{C}\$3.961.761,41$) |
| 4 | 5597986,568 | $\text{C}\$1.221.559,49$ |
| 5 | 5318087,24 | $\text{C}\$6.145.714,34$ |
| 6 | 5052182,878 | $\text{C}\$10.823.661,45$ |
| 7 | 4799573,734 | $\text{C}\$15.267.711,20$ |
| 8 | 4559595,047 | $\text{C}\$19.489.558,47$ |
| 9 | 4331615,295 | $\text{C}\$23.500.313,37$ |
| 10 | 4115034,53 | $\text{C}\$27.310.530,53$ |
| 11 | 3909282,803 | $\text{C}\$30.930.236,83$ |
| 12 | 3713818,663 | $\text{C}\$34.368.957,81$ |
| 13 | 3528127,73 | $\text{C}\$37.635.742,75$ |
| 14 | 3351721,344 | $\text{C}\$40.739.188,44$ |
| 15 | 3184135,276 | $\text{C}\$43.687.461,84$ |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla vista anteriormente, se puede observar la inversión del sistema solar con el uso de 89 paneles solares supliendo el 100 % de la energía demandada con micro-inversores. Se obtuvo como resultado, que la inversión se recupera en el año cuatro después de haber implementado este sistema, se obtiene un VAN de $\text{C}\$43.687.461,84$ y una TIR del 23 %, en la figura que se mostrara, a continuación, se encuentran estos datos :

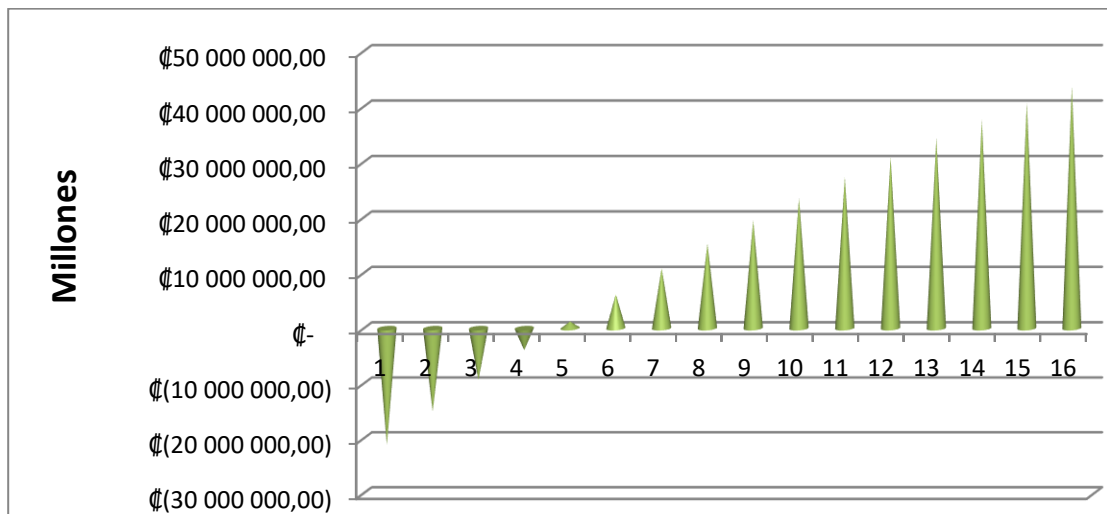


Figura 21. Ahorros generados sistema 100% solar con micro-inversores

Fuente: Elaboración propia

Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Como se observa en el desarrollo del trabajo, en los cuales se proponen dos tipos de diseño con la utilización de energías renovables para suplir el consumo total de la carga demandada de un colegio en la zona de Guanacaste. Se tiene un primer caso de diseño un sistema mixto solar/eólico, en el segundo caso se tiene un diseño sistema del 100% solar.

Para el caso del diseño del sistema híbrido, se logró determinar que para suplir un consumo del 83,60% se deben utilizar un total de 74 paneles, los cuales en conjunto a 6 aerogeneradores que generan el 16,40% de la carga faltante para suplir el 100% de la carga esto se puede ver en la tabla 11 y 12 en las (páginas 78 y 79) respectivamente, dando un aproximado de la carga generada anualmente de 55186,31 KWh al año los sistemas en conjunto.

Cómo se puede observar en el apartado del desarrollo la cotización de los equipos eólicos no se pudieron conseguir por medio del fabricante ya que no hubo respuesta de ellos, por lo que se concluyó que el uso de aerogeneradores en la Institución no se podía realizar por varios motivos a parte de este mencionado anteriormente, otro motivo, es el área que se requiere para la instalación de este equipo no era suficiente para las dimensiones de los seis aerogeneradores en la tabla 6 “ Características micro-aerogenerador Enair E30 PRO” ubicada en la página (65), respectivamente, se puede observar las dimensiones del aerogenerador, en la tabla 1 “ Resumen del área disponible ” página (11), se encuentran el área disponible para la instalación de los aerogeneradores, las condiciones del viento menores a las velocidad de arranque del equipo en los meses de mayo a noviembre eran menores a los 2m/s necesitados para que los aerogeneradores produjeran energía, por lo tanto, en esos meses la producción de energía de los aerogeneradores eran de cero, por lo que en primeras instancias el proyectó con el sistema mixto

no se veía viable por las condiciones climáticas de la zona, lo anterior mencionado se puede ver en la tabla número cuatro “Velocidad promedio del viento, Belén Carrillo Guanacaste” que se encuentra en la página (63) de este documento, por lo que se opta en realizar un cálculo estimado del costo del equipo solar utilizando solamente y el resto de la energía que sería suplida por los aerogeneradores será suministrada por la compañía de electricidad en la zona, por lo que esto genera una inversión con muy pocos riesgos de pérdida económica, ya que, según en el apartado de análisis financieros del diseño uno, se puede ver en la tabla que la inversión se recupera en el año tres, para el año 15 se tiene un ahorro de ₡44.744.407,75 y una TIR del 30% con una tasa de interés del 8%, lo que indica que la propuesta de diseño es rentable y puede ser una opción para ser tomada en cuenta para una futura instalación.

Para la propuesta de diseño dos se evalúan si utilizar inversores o micro-inversores en el sistema.

Para el caso de diseño dos utilizando inversores se tiene que para cubrir el 100% de la carga demandada se necesitan un total 89 paneles solares esto se puede ver en la tabla 15 (página 83), lo que genera un excedente de energía que será almacenado en la red, para luego ser bajado de la misma en algún mes con un faltante de energía, todo esto anteriormente mencionado está implícito en las cálculos financieros, según estos cálculos, se tiene un Valor Actual Neto (VAN) de ₡45.077.716,72 y una Tasa Interna de Retorno(TIR) del 25% a 15 años con una tasa de interés del 8%, el tiempo de recuperación de la inversión es en el año cuatro, por lo que se concluye que el proyecto es rentable.

Para la propuesta dos implementando el sistema solar con micro-inversores se tiene un valor actual neto de ₡43.687.461,84 y una tasa interna de retorno del 23% esto se puede ver en la

página (106) por lo que se concluyó no implementar el uso de este dispositivo, puesto que por facilidades técnicas tanto de ensamblaje y mano de obra es mejor utilizar el inversor común.

Según los datos obtenidos por el IMN las condiciones climáticas de la zona se prestan para la instalación de sistemas fotovoltaicos por la cantidad de radiación solar presentada en la zona anualmente, las condiciones de las velocidades del viento en la zona no son las óptimas para que se haga uso de sistema híbrido solar/eólico.

Recomendaciones

Para efectos del diseño uno, la primera recomendación es no implementar los sistemas de aerogeneradores por las condiciones del viento del lugar, las áreas que se tienen disponibles para el sistema no son las óptimas ya que no cumplen con los requerimientos en espacio para ser instaladas y para que el sistema trabaje con eficiencia y pueda generar un beneficio a la Institución, otra recomendación sería ajustarse al rediseño que se realizó en este caso ya que es más factible en el ámbito técnico la implementación de un sistema solar.

Se recomienda implementar el caso de diseño dos ya que los datos mostrados en el análisis financiero son positivos, podemos ver un valor actual neto de $\text{C}\$45.077.716,72$ y una tasa interna de retorno del 25% a 15 años con una tasa de interés del 8%, el tiempo de recuperación de la inversión es en el año cuatro, ya que no se tuvieron las cotizaciones del equipo eólico el análisis de diseño uno solo se toma en cuenta los valores obtenidos generados por el sistema solar valor actual neto de $\text{C}\$44.744.407,75$ y una tasa interna de retorno del 30% con una tasa de interés del 8% recuperando la inversión en el año tres, cómo en este caso, en particular, se analizaba un sistema mixto no se pudo contemplar el valor real del sistema mixto solar/eólico.

Otra recomendación es buscar otros fabricantes de aerogeneradores que puedan facilitar las cotizaciones de sus sistemas para realizar un análisis financiero y así averiguar la rentabilidad económica de un sistema de generación eólica.

En cuanto a los sistemas fotovoltaicos se recomienda contratar una empresa con amplia experiencia en la instalación y mantenimiento de estos equipos, esto con el fin de que el sistema instalado funcione de manera correcta y eficaz y ver resultados positivos para la Institución.

Como última recomendación, se dice que es importante tener conceptos y conocimientos básicos con el uso de herramientas externas que faciliten el cálculo y diseño de este tipo de proyectos.

Capítulo VI: Propuesta

Planteamientos de diseño

En este proyecto se plantearon dos propuestas de diseño principales, el primer caso un sistema solar en combinación con sistema de micro-aerogeneradores, el segundo caso de diseño propuesto es un sistema únicamente solar con ambos diseño se busca abastecer el total de la carga demandada por la Institución.

Propuesta de implementación del diseño

Debido a la gran cantidad de energía que requiere la Institución para abastecer su demanda energética, se propone inicialmente la implementación de un sistema mixto fotovoltaico y eólico que cubra el 100% de la demanda energética de la Institución, en el desarrollo de este estudio se analizaron dos propuestas; una contemplando un 100% de la energía demandada utilizando un sistema híbrido solar/eólico mientras que la segunda propuesta plantea la utilización de un sistema solo de paneles solares, con esto se busca obtener la mejor propuesta de diseño, tanto eficientemente, técnicamente y económicamente para que sea implementada.

Aspectos tomados en cuenta para la elección de la mejor propuesta de diseño

Fuentes de energías renovables

De la tabla 2 “Radiación solar, Belén Carillo Guanacaste” se pueden ver los valores radiación solar que presenta la zona, siendo marzo el mes con más radiación solar generada con una cantidad de 24.9 (MJ/m²) en esta misma tabla se observa también el promedio anual de radiación solar de la zona que es de 18,3 (MJ/m²) estos datos fueron tomados en cuenta para el dimensionamiento de los equipos solares, posteriormente en la tabla 3 se observan las horas

solares picos (HPS) presentes en cada mes del año, estos datos salen a partir de los datos de radiación solar, los cálculos de estos datos son necesarios para el cálculo de la cantidad necesarias de paneles.

Energía generada por el sistema solar

Como se mencionaba anteriormente, la cantidad de energía generada por un sistema solar de va a depender de la cantidad de paneles que tenga el sistema y las condiciones climáticas.

Con respecto de la parte solar, lo primero que se realizó fue calcular el número de paneles solares con el consumo anual de energía de la Institución, con las horas solar pico de cada mes. El resultado de este cálculo dio que se requerirían 147 paneles solares, para cubrir la demanda con las condiciones climáticas de la zona, en la tabla 10 se pudo ver que la cantidad de 147 paneles solares en el sistema están sobre generando 36472,05 KWh/año lo que equivale a más del 66% de la generación necesitada por la Institución, entonces, todo este exceso de energía no sería aprovechada por la Institución por lo que se desperdiciaría y el proyecto tomaría una ruta de encarecimiento innecesario.

En el caso del diseño uno se utilizó un arreglo de 74 paneles para saber cuál era la cantidad de energía generada por 74 paneles. En la tabla 11, se observa que el sistema con 74 paneles solares generan 46141KWh/año siendo esto el 83,60% de la energía demandada por la Institución.

Con respecto del diseño dos donde se requiere cubrir el total de la carga demandada por la institución se tiene que con la cantidad de 74 paneles se obtiene el 83,60% de la energía para

cubrir el 100% de la demanda por lo que con la cantidad de 15 paneles solares más para el sistema genera el 16,40% que equivalen a 9045,31KWh/año con este arreglo se logra suplir el 100% de la demanda sin generar un excedente de energía tan significativo como el de 147 paneles solares, en la tabla 15 se observa la potencia generada por 89 paneles solares con respecto del sistema convencional que tiene la Institución que baja de la red pública, en esta tabla, también, se aprecia el excedente o faltante de energía que genera el sistema, se recuerda que los excedentes de energía del sistema se suben a la red y si el sistema cuando no supe la carga demandada será bajada de la red comercializadora.

Condiciones climáticas

Según los datos obtenidos por el IMN las condiciones climáticas de la zona se prestan para la instalación de sistemas fotovoltaicos por la cantidad de radiación solar presentada en la zona anualmente.

Propuesta final del diseño seleccionado y resumen del costo del proyecto

Una vez mencionados algunos de los aspectos que se consideraron para la selección del diseño se procede a realizar un resumen de los costos del proyecto y mencionar la propuesta final del diseño que fue seleccionado, aquí se mencionará cómo se planea realizar de manera eficiente tanto económicamente y técnicamente por lo que se encontrará el diagrama unifilar del diseño, la ubicación exacta de los paneles los cálculos del sistema de puesto a tierra y cómo se planea instalar los sistemas ya sea en serie o paralelo o un sistema de configuración mixta.

Resumen del costo del proyecto seleccionado

En la tabla 19 se muestra el costo total de instalación del equipo solar para el diseño 2 que es de ₡19816496,01 los cuales incluyen el 20% del costo total del proyecto como mano de obra y mantenimiento del equipo y 3% instalación eléctrica una vez obtenido el costo de la inversión se procede a realizar el ahorro generado por los paneles solares de las tablas de ahorro generado se puede ver que el ahorro es de ₡6.529.216, con estos costos de inversión inicial y ahorro anual, se estima la tasa interna de retorno (TIR) con un valor de un 25% y un valor actual neto (VAN) con un valor de ₡45.077.716,72.

Propuesta final, diseño dos planta solar supliendo la demanda total de la carga con inversores

Soporte y acomodo de los paneles solares

Para este diseño, se elige una base recomendada por el fabricante de 4,2 m en los cuales alcanzan 4 paneles de 2 m de longitud y 1 m de ancho aproximadamente ver (apéndice 4).

Acomodo y soporte de paneles solares zona B

El acomodo de los paneles solares que se realizará en esta zona será el de los 29 módulos, los cuales se distribuirán de la siguiente manera; 15 módulos irán con vista hacia al sur y los 15 paneles restantes serán colocados en la zona norte, Cabe destacar que el área total de los 29 paneles es de 56,26 m² y el área total de la zona B es de 447 m².

Acomodo y soporte paneles solares zonas C y D

El acomodo de la zona C y D se realizarán de la misma manera, entonces para estas dos zonas el acomodo será de 15 módulos en la zona sur y 15 en la zona norte, el área total de las zonas C y D son las mismas de 517 m² y el área de 30 paneles es de 58,2 m².

Ángulo óptimo para el panel

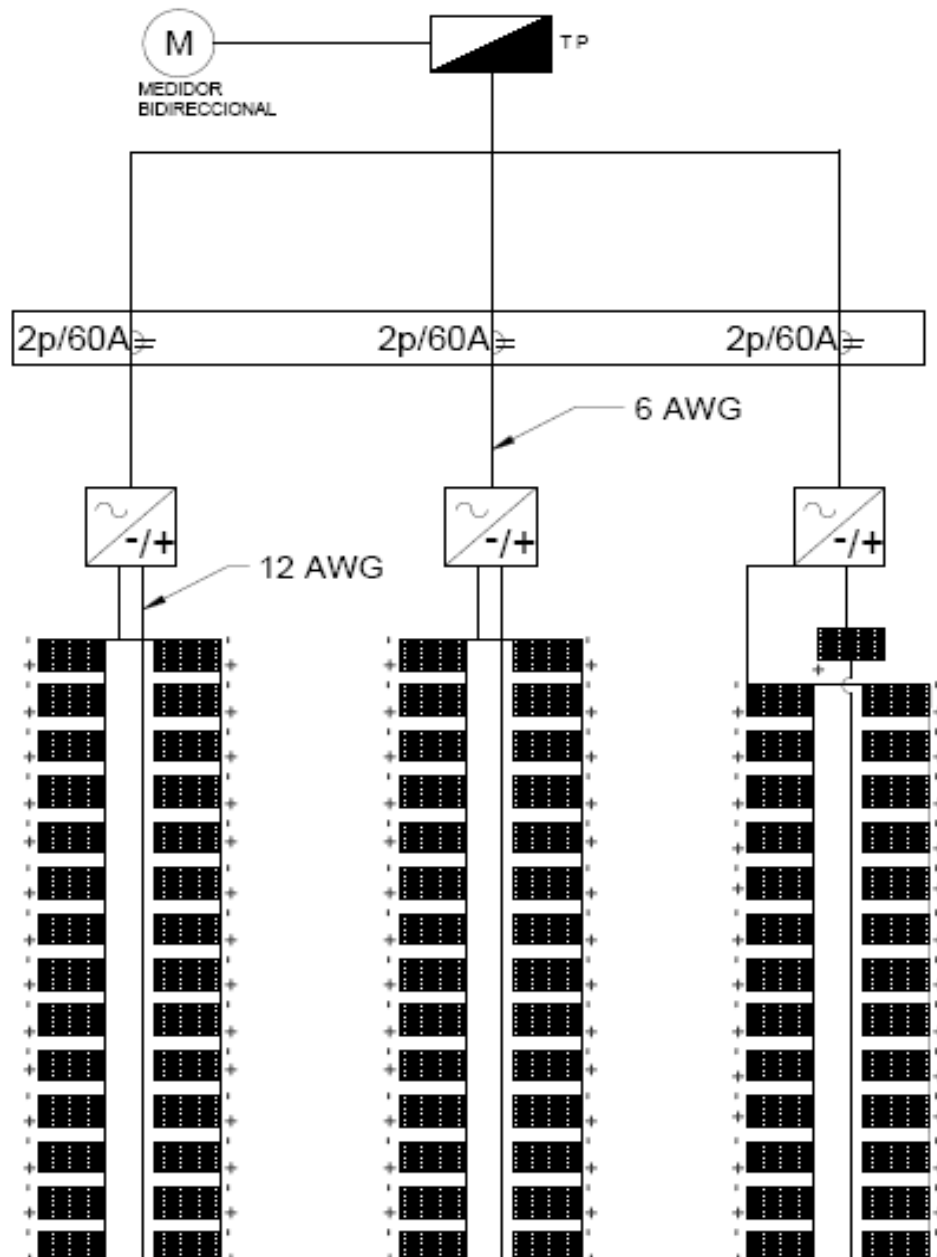
Para obtener el ángulo óptimo de inclinación para los paneles, se utilizará la fórmula mencionada en el análisis referencial que indica que se utilice el ángulo de la latitud de la zona dimensionándole un ángulo 10° (grados) por lo que nos da un ángulo de 20°.

Soportes paneles solares

Para las estructuras de los paneles solares que se utilizarán serán las recomendadas por el fabricante en los apéndices D y J se encuentran los datos técnicos y la estructura respectivamente.

Diagrama unifilar

En la figura que se mostrará, a continuación, se representa la configuración en la cual va a estar conectados los inversores y los paneles solares, donde se puede observar tres sistemas, dos sistemas están conformados por 30 paneles. 15 conectados en serie y de este sistema en serie se conectan 15 paneles más en paralelo, los inversores se encuentran en serie con las protecciones de 60A, también se observan el número de los conductores en corriente directa que es de un calibre de # 12 AWG THHN CU y el número de conductor en corriente alterna con un calibre de # 6 AWH THHM CU.



Bibliografía

- EcuRED*. ("S.F"). Recuperado el 20 de Mayo de 2018, de Ecured:
https://www.ecured.cu/Energ%C3%ADa_renovable
- EduRED*. ("S.F"). Recuperado el 24 de Mayo de 2018, de EduRed:
https://www.ecured.cu/Energ%C3%ADa_renovable
- ENERGÍA ECOLÓGICA*. ("S.F"). Recuperado el 4 de Junio de 2018, de ENERGIA ECOLOGICA.COM:
<https://energia-ecologica.com/energia-solar/como-funcionan-los-paneles-solares/>
- ENERGÍA ECOLÓGICA*. ("S.F"). Recuperado el 4 de junio de 2018, de ENERGÍA ECOLÓGICA:
<https://energia-ecologica.com/energia-solar/como-funcionan-los-paneles-solares/>
- ingemecanica*. ("S.F"). Recuperado el 25 de Julio de 2018, de ingemecanica :
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>
- Sunfiels*. ("S.F"). Recuperado el 28 de Julio de 2018, de Sunfiels : <https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/calcular-paneles-solares-necesarios/>
- cultivarsalud.com*. (9 de Mayo de (2013)). Recuperado el 5 de Agosto de 2018, de cultivarsalud.com:
<http://www.cultivarsalud.com/vida-y-hogar-eco/paneles-solares-inclinaciones-optimas-y-optimizacion/>
- Ecosistemas del sureste C.B.* (29 de Setiembre de (2015)). Recuperado el 4 de Junio de 2018, de Ecosistemas del sureste C.B: <https://www.ecosistemasdelsureste.com/news/componentes-principales-de-una-instalacion-solar-fotovoltaica/>
- Profesor en línea* . ((2015)). Recuperado el 1 de Agosto de 2018, de Profesor en línea:
<http://www.profesorenlinea.cl/fisica/ElectricidadPotenciaResist.htm>
- SOLARMAT*. (3 de Marzo de (2017)). Recuperado el 8 de junio de 2018, de SOLARMAT:
<http://www.solarmat.es>
- wikipedia*. (14 de Abril de (2018)). Recuperado el 5 de Junio de 2018, de wikipedia:
https://es.wikipedia.org/wiki/Microinversor_solar
- wikipwdia* . (13 de Setiembre de 2014). Recuperado el 6 de Agosto de 2018, de wikipedia:
https://es.wikipedia.org/wiki/Valor_actual_netto
- cultivarsalud*. (9 de Mayo de 2015). Recuperado el 4 de Junio de 2018, de cultivarsalud:
<http://www.cultivarsalud.com/vida-y-hogar-eco/paneles-solares-inclinaciones-optimas-y-optimizacion/>

Significados. (23 de Enero de 2017). Recuperado el 22 de Mayo de 2018, de Significados:
<https://www.significados.com/energia-solar/>

Aresep. (12 de Noviembre de 2018). Recuperado el 10 de Agosto de 2018, de Aresep:
<https://aresep.go.cr/normativa/1392-normativa-tecnica-nacional>

Wikipedia . (30 de Octubre de 2018). Recuperado el 2 de Agosto de 2018, de Wikipedia:
https://es.wikipedia.org/wiki/Hora_solar_pico

wikipwdia . (26 de Agosto de 2018). Recuperado el 10 de Agosto de 2018, de wikipedia :
https://es.wikipedia.org/wiki/Tasa_interna_de_retorno


Heinrich , K., Pacheco, R., Solera , M., & Alfaro, M. ((2013)). *Series de brillo solar*. Recuperado el 2 de Junio de 2018, de Series de brillo solar:
<https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Series+de+Brillo+Solar+en+Costa+Rica>

MINISTERIO. ("S.F"). Recuperado el 27 de Mayo de 2018, de
http://www.aemet.es/documentos/es/el tiempo/observacion/radiacion/Radiacion_Solar.pdf

Moreira, J., & Noroña, M. (2015). *ANÁLISIS DEL POTENCIAL EÓLICO Y SOLAR PARA LA IMPLEMENTACIÓN*. Recuperado el 6 de Junio de 2018, de ANÁLISIS DEL POTENCIAL EÓLICO Y SOLAR PARA LA IMPLEMENTACIÓN: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/2972/1/T-UTC-3515.pdf>

Apéndices

Apéndice A: Consumo eléctrico Liceo Académico de Belén

|  | | Cooperativa de Electrificación Rural de Estudio de Consumo Medidores Residenciales | | | | |
|--|---------------|---|------|------------------|----------------|-------------|
| Señores LICEO ACADEMICO DE BELEN (3-008-265523) | | | | | | |
| Estimado(s) señor(ea) | | | | | | |
| Estudio de consumo de su medidor 0004000689, tarifa T2, voltaje 0, de la agencia BELÉN, ruta y cor instalado el 22/04/2016. | | | | | | |
| Dirección : Belén, En El Colegio Celular : 83757185 | | | | | | |
| Proceso | Fecha Emisión | Fecha Lectura | Días | Lectura Anterior | Lectura Actual | Consumo KWH |
| ENE - 2017 | 10/01/2017 | 09/01/2017 | 33 | 41,642 | 998,717 | 2,541.20 |
| FEB - 2017 | 09/02/2017 | 07/02/2017 | 29 | 998,717 | 106 | 1,389.00 |
| MAR - 2017 | 09/03/2017 | 08/03/2017 | 29 | 106 | 4,784 | 4,678.00 |
| ABR - 2017 | 07/04/2017 | 06/04/2017 | 29 | 4,784 | 11,136 | 6,352.00 |
| MAY - 2017 | 09/05/2017 | 08/05/2017 | 32 | 11,136 | 16,196 | 5,060.00 |
| JUN - 2017 | 08/06/2017 | 07/06/2017 | 30 | 16,196 | 22,323 | 6,127.00 |
| JUL - 2017 | 07/07/2017 | 07/07/2017 | 30 | 22,323 | 28,367 | 6,044.00 |
| AGO - 2017 | 09/08/2017 | 07/08/2017 | 31 | 28,367 | 31,982 | 3,615.00 |
| SEP - 2017 | 08/09/2017 | 07/09/2017 | 31 | 31,982 | 37,384 | 5,402.00 |
| OCT - 2017 | 10/10/2017 | 09/10/2017 | 32 | 37,384 | 42,834 | 5,450.00 |
| NOV - 2017 | 09/11/2017 | 08/11/2017 | 30 | 42,834 | 46,516 | 3,682.00 |
| DIC - 2017 | 08/12/2017 | 07/12/2017 | 29 | 46,516 | 51,352 | 4,846.00 |

Apéndice C: Ficha técnica turbina eólica Enair modelo E30 PRO



E30PRO

FICHA TÉCNICA

Con una velocidad de viento medio situado en la nominal de 11m/s el modelo Enair 30PRO es capaz de generar más de 30kWh/día

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS, ELÉCTRICAS Y DE FUNCIONAMIENTO

| | |
|-------------------------------|--|
| Numero de palas | 3 |
| Materia de palas | Fibra de vidrio con resinas y nucleo de poliuretano |
| Generador | 250rpm nominales imanes de neodimio |
| Potencia | 3000W |
| Potencia Nominal | 1900W (segun IEC 61400-21) |
| Tension | 24/48/220V |
| Clase de viento | CLASS I-EC 61400-2/NVNI-A |
| Diámetro | 3.80m |
| Sentido de Giro | Horario |
| Área de barrido | 11.34m ² |
| Peso | 125kg |
| Aplicaciones | Carga de baterías 24 o 48V y conexión a red. |
| Viento de arranque | 2m/s |
| Velocidad nominal | 11m/s |
| Vel. regulación paso variable | 12m/s |
| Velocidad de supervivencia | 60m/s |
| Rango de generación eficiente | De 2 a 50m/s |
| Tipo | Rotor de eje horizontal a barlovento |
| Orientación | Sistema pasivo con limón de orientación |
| Control de potencia | Sistema de paso variable pasivo centrifugo con dos vel. |
| Transmisión | Directa |
| Freno | - Electromagnético por cortocircuito - Mecánico (opcional) - Aerodinámico mediante peso variable - Manual o automático por viento o por tension de baterías |
| Controlador | Carga de baterías y conexión a red |
| Inversor eólico | Eficiencia 97%; algoritmo MPPT |
| Ruido | 48dB Reduccion al minimo gracias al diseño de las palas y a las bajas revoluciones. 1% más que el ruido ambiente del viento |
| Protección anti-corrosión | Hermético, pintura epoxi de secado al horno de alta temperatura, generando un recubrimiento plástico |
| Torre | Celosía, pesilla y tubular, abatibles o fijas, altura variable |



3.4m



125kg



3.80m



Avenida de Ibi, 44 - P.O. 182 C.P. 03420 | Castalla (Alicante), España
+34 96 556 00 18 - info@enair.es

www.enair.es



E30PRO Wind Turbine FICHA TÉCNICA

PASO VARIABLE PASIVO



Tecnología patentada para maximizar la producción de energía. Es un sistema mecánico que gracias a la fuerza centrífuga, modifica el ángulo de las palas y nunca se sobrepasan sus rpm de diseño.

Obteniendo:

- Menos ruido
- Más capacidad de absorber rachas de viento
- Más constancia en la generación
- Más energía con menos viento

CONTROL ELECTRÓNICO



Sistema de gestión de la energía inteligente

Conexión de baterías:

7 tipos de baterías programables (lito, plomo, gel, etc.) Cargador con puentes de derivación e resistencias en caso de sobrecarga. Solo deriva el exceso que no puede cargar para proteger las baterías.

Conexión a red:

Los inversores MPPT programados con la curva de potencia óptica maximizan la producción en todo momento. Compatibles con redes trifásicas y monofásicas en sistemas europeos y americanos

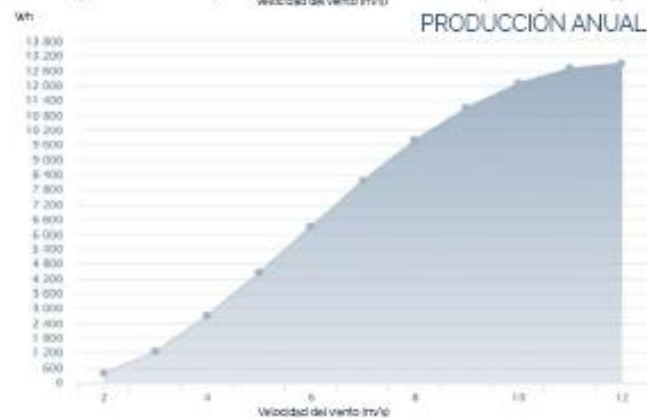
- MAYOR ENERGIA
- MAYOR EFICIENCIA
- MAYOR ROBUSTEZ
- MAYOR SEGURIDAD

CLASS I WIND TURBINE IEC 61400-2/NVI-A

CURVA DE POTENCIA



PRODUCCIÓN ANUAL



- Mínimo ruido**
El ruido está en torno a un 10 por encima del ruido ambiente siendo prácticamente inapreciable para nuestro oído.
- Safety-Brake**
Nuevo sistema de seguridad mecánica acoplado al eje que garantiza el frenado bajo las condiciones más adversas, para vientos incluso mayores de 20m/s.
- Anticorrosivo**
El uso de pintura epoxy lo convierte en un conjunto anticorrosivo y antisalino ideal para mar y costas.
- Anti-icing and Hermetic**
Unelero óptico de resina estructural con una composición química antihielo y de máxima resistencia para temperaturas de hasta -50°C. Sellado hermetico.
- Storm-detection**
Algoritmo inteligente de detección de tormentas y bloqueo de seguridad del aerogenerador totalmente automático combinado con el safety-brake.
- Remote-Control**
Control combinado con el Venus de Vichon que permite la marcha/paro del aerogenerador de forma remota.
- BBS (Battery Brake System)**
Sistema inteligente que mide el nivel de carga de la batería y permite detener el aerogenerador cuando la batería llega a la tensión de consigna retomando la marcha cuando baja su carga.



Avenida de Ibi, 44 - P.O. 182 C.P. 03420 | Castalla (Alicante), España
+34 96 556 00 18 info@enair.es

www.enair.es

Apéndice D: Información técnica panel solar

Información de Paneles



Anabel Urina <au@loskosa.com>
 jue 18/10, 08:00
 Usted

Responder

Reenviaste este mensaje el 18/10/2018 14:49

- Jinko Warranty Solar St...
 83 KB
- Paneles Jinko - Ficha Té...
 369 KB
- Ficha Tecnica EN Eagle ...
 360 KB
- Garantía
 154 KB

Mostrar todos 6 archivos adjuntos (2 MB) Descargar todo Guardar todo en OneDrive - Personal

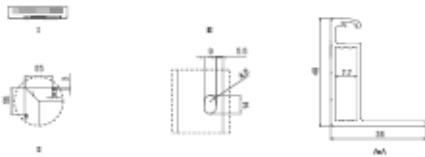
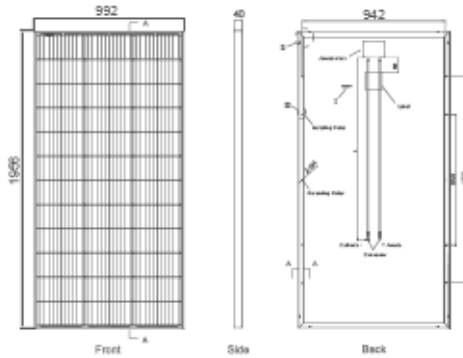
Buenos días Sr. Kristofer

Adjunto encontrará un catálogo de precios, fichas técnicas y garantías de los productos que manejamos.

Si necesita la instalación a nivel de residencia o comercio igualmente ofrecemos este servicio, como también brindamos el servicio de financiación.

Estoy para servirle cualquier duda o consulta que tenga al respecto.
 Gracias.

Engineering Drawings

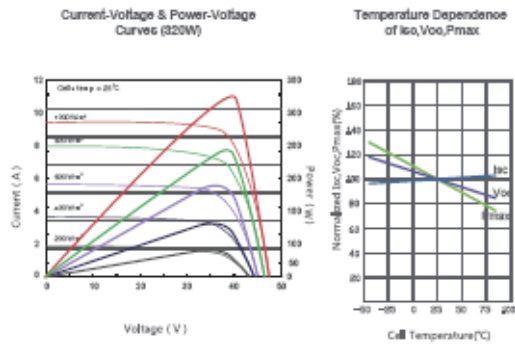


Packaging Configuration

(Two pallets=One stack)

26pcs/pallet, 52pcs/stack, 624 pcs/40'HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

| | | |
|---------------|--|--------------------|
| Cell Type | Poly-crystalline | 156×156mm (6 inch) |
| No. of cells | 72 (6×12) | |
| Dimensions | 1956×992×40mm (77.01×39.05×1.57 inch) | |
| Weight | 26.5 kg (58.4 lbs.) | |
| Front Glass | 4.0mm, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass | |
| Frame | Anodized Aluminium Alloy | |
| Junction Box | IP67 Rated | |
| Output Cables | TÜV 1×4.0mm², Length: 1200mm or Customized Length | |

SPECIFICATIONS

| Module Type | JKM320PP-72 | | JKM325PP-72 | | JKM330PP-72 | | JKM335PP-72 | | JKM340PP-72 | |
|---|---------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|
| | STC | NOCT | STC | NOCT | STC | NOCT | STC | NOCT | STC | NOCT |
| Maximum Power (Pmax) | 320Wp | 238Wp | 325Wp | 242Wp | 330Wp | 246Wp | 335Wp | 250Wp | 340Wp | 254Wp |
| Maximum Power Voltage (Vmp) | 37.4V | 34.7V | 37.6V | 35.0V | 37.8V | 35.3V | 38.0V | 35.6V | 38.2V | 35.9V |
| Maximum Power Current (Imp) | 8.55A | 6.85A | 8.66A | 6.91A | 8.74A | 6.97A | 8.82A | 7.02A | 8.91A | 7.08A |
| Open-circuit Voltage (Voc) | 46.4V | 43.7V | 46.7V | 44.0V | 46.9V | 44.2V | 47.2V | 44.4V | 47.5V | 44.6V |
| Short-circuit Current (Isc) | 9.05A | 7.30A | 9.10A | 7.34A | 9.14A | 7.38A | 9.18A | 7.43A | 9.22A | 7.47A |
| Module Efficiency STC (%) | 16.49% | | 16.75% | | 17.01% | | 17.26% | | 17.52% | |
| Operating Temperature(°C) | -40°C~+85°C | | | | | | | | | |
| Maximum system voltage | 1000VDC (IEC) | | | | | | | | | |
| Maximum series fuse rating | 15A | | | | | | | | | |
| Power tolerance | 0~+3% | | | | | | | | | |
| Temperature coefficients of Pmax | -0.40%/°C | | | | | | | | | |
| Temperature coefficients of Voc | -0.30%/°C | | | | | | | | | |
| Temperature coefficients of Isc | 0.06%/°C | | | | | | | | | |
| Nominal operating cell temperature (NOCT) | 45±2°C | | | | | | | | | |

STC:  Irradiance 1000W/m²  Cell Temperature 25°C  AM=1.5

NOCT:  Irradiance 800W/m²  Ambient Temperature 20°C  AM=1.5  Wind Speed 1m/s

* Power measurement tolerance: ± 3%

The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. EN-JKM-340PP-72_rev2017

Apendice E : ficha técnica inversor

FRONIUS SYMO







/ Field serviceable



/ SnapInverter mounting system



/ Wireless monitoring



/ Design flexibility



/ Arc Fault Circuit Interruption

Boasting power categories from 10 to 24 kW, the transformerless Fronius Symo is the ideal compact three-phase inverter for commercial applications. Its dual maximum power point tracking, high maximum system voltage, wide input voltage range and unrestricted use indoors and out, ensures maximum flexibility in PV system design. As a member of the new SnapInverter family, the Fronius Symo features the SnapInverter mounting system, allowing for secure and convenient installation and field servicing.

Industry-leading features now come standard with the Fronius Symo, including: arc fault protection, integrated wireless monitoring, and SunSpec Modbus interfaces for seamless monitoring and datalogging via Fronius' online and mobile platform, Fronius Solar.web. This makes the Fronius Symo one of the most communicative, efficient and streamlined inverters on the market.

TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO, ALL SIZES

| GENERAL DATA | STANDARD WITH ALL FRONIUS SYMO MODELS | |
|---|--|--|
| Dimensions (width x height x depth) | 20.1 x 28.5 x 8.9 in. / 51.1 x 72.4 x 22.6 cm | |
| Degree of protection | NEMA 4X | |
| Night time consumption | < 1 W | |
| Inverter topology | Transformerless | |
| Cooling | Variable speed fan | |
| Installation | Indoor and outdoor installation | |
| Ambient operating temperature range | -40 F to 140 F (-40 to 60 C) | |
| Permitted humidity | 0 - 100 % (non-condensing) | |
| DC connection terminals | 6 x DC+ and 6 x DC- screw terminals for copper (solid / stranded / fine stranded) or aluminum (solid / stranded) | |
| AC connection terminals | Screw terminals 14-6 AWG | |
| Certificates and compliance with standards (except Symo 15.0 20W V) | UL 1741-2010, UL1998 (for functions: AFCI and isolation monitoring), IEEE 1547-2003, IEEE 1547.1-2008, ANSI/IEEE C62.41, FCC Part 15 A & B, NEC Article 690, C22.2 No. 107.1-01 (September 2001), UL1699B Issue 2 -2013, CSA T14 M-07 Issue 1 -2013 | |
| Certificates and compliance with standards (Symo 15.0 20W V) | UL 1741-2013, UL1998 (for functions: AFCI, RCMU and isolation monitoring), IEEE 1547-2003, IEEE 1547.1-2003, ANSI/IEEE C62.41, FCC Part 15 A & B, NEC 2014 Article 690, C22.2 No. 107.1-01 (September 2001), UL1699B Issue 2 -2013, CSA T14 M-07 Issue 1 -2013 | |

| PROTECTIVE DEVICES | STANDARD WITH ALL FRONIUS SYMO MODELS | |
|--|---------------------------------------|--|
| AFCI & 2014 NEC Compliant | Yes | |
| DC disconnect | Yes | |
| DC reverse polarity protection | Yes | |
| Ground Fault Protection with Isolation Monitor Interrupter | Yes | |

| INTERFACES | AVAILABILITY | AVAILABLE WITH ALL FRONIUS SYMO MODELS |
|---|--------------|---|
| USB (A socket) | Standard | Datalogging and inverter update via USB |
| 2 x RS422 (RJ45 socket) | Standard | Fronius Solar Net, interface protocol |
| Wi-Fi/Ethernet/Serial/ Datalogger and webserver | Optional | Wireless standard 802.11 b/g/n / Fronius Solar.web, SunSpec Modbus TCP / SON / SunSpec Modbus RTU |
| 6 inputs and 4 digital I/Os | Optional | Load management, signaling, multipurpose I/O |

TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (10.0-3 208/240, 12.0-3 208/240, 10.0-3 480, 12.5-3 480, 15.0-3 208)

| GENERAL DATA | 10.0-3 208/240 | 12.0-3 208/240 | 10.0-3 480 | 12.5-3 480 | 15.0-3 208 | |
|---|---|----------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-----------|
| Weight | 91.9 lbs. / 41.7 kg | | 76.7 lbs. / 34.8 kg | | 78.3 lbs. / 35.5 kg | |
| INPUT DATA | 10.0-3 208/240 | 12.0-3 208/240 | 10.0-3 480 | 12.5-3 480 | 15.0-3 208 | |
| Max. permitted PV power | 15.00 kW | 18.00 kW | 15.00 kW | 18.75 kW | 22.50 kW | |
| Max. usable input current (MPPT 1/MPPT 2) | 25.0 A / 16.5 A | | | | 50.0 A | |
| Max. usable input current total (MPPT 1 + MPPT 2) | 41.5 A | | | | 50.0 A | |
| Max. admissible input current (MPPT 1/MPPT 2) | 37.5 A / 24.8 A | | | | 75.0 A | |
| Max. admissible input current total (MPPT 1 + MPPT 2) | 62.2 A | 62.2 A | 62.2 A | 62.2 A | 75.0 A (1 MPPT) | |
| Integrated DC string fuse holders <i>Must be specified when ordering</i> | None | None | None | None | Integrated: 6- and 6+ | |
| MPP voltage range | 300 - 500 V | | 300 - 800 V | 350 - 800 V | 325 - 850 V | |
| Operating voltage range | 200 - 600 V | | 200 - 1,000 V | | 325 - 1,000 V | |
| Max. input voltage | 600 V | | 1,000 V | | | |
| Nominal input voltage | 208 V | 350 V | 350 V | N/A | N/A | |
| | 240 V | 370 V | 370 V | N/A | N/A | |
| | 480 V | N/A | N/A | 675 V | 685 V | |
| Admissible conductor size DC | AWG 14 - AWG 6 copper direct, AWG 6 aluminium direct, AWG 4 copper or aluminium with input combiner | | | | | |
| Number of MPPT | 2 | | | | 1 | |
| OUTPUT DATA | 10.0-3 208/240 | 12.0-3 208/240 | 10.0-3 480 | 12.5-3 480 | 15.0-3 208 | |
| Max. output power | 208 V | 9,995 VA | 11,995 VA | N/A | N/A | 15,000 VA |
| | 240 V | 9,995 VA | 11,995 VA | N/A | N/A | N/A |
| | 480 V | N/A | N/A | 9,995 VA | 12,495 VA | N/A |
| Max. output fault current / Duration | 43.1 A RMS / 158.4 ms | | 43.1 A RMS / 158.4 ms | | 43.1 A RMS / 158.4 ms | |
| Max. continuous output current | 208 V | 27.7 A | 33.3 A | N/A | N/A | 41.6 A |
| | 240 V | 24.0 A | 28.9 A | N/A | N/A | N/A |
| | 480 V | N/A | N/A | 12.0 A | 15.0 A | N/A |
| Recommended OCPD/AC breaker size | 208 V | 35 A | 45 A | N/A | N/A | 60 A |
| | 240 V | 30 A | 40 A | N/A | N/A | N/A |
| | 480 V | N/A | N/A | 15 A | 20 A | N/A |
| Max. efficiency | 97.0 % | | 98.1 % | | 97.3 % | |
| CBC efficiency | 208 V | 96.5 % | 96.5 % | N/A | N/A | 96.5 % |
| | 240 V | 96.5 % | 96.5 % | N/A | N/A | N/A |
| | 480 V | N/A | N/A | 96.5 % | 97.0 % | N/A |
| Admissible conductor size AC | AWG 14 - AWG 6 | | | | | |
| Grid connection | 208 / 240 V | 208 / 240 V | 480 V Delta +N** | | 208 V | |
| Frequency | 60 Hz | | | | | |
| Total harmonic distortion | < 1.75 % | | | | < 3.5 % | |
| Power factor | 0 - 1 ind./cap. | | | | | |

TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (15.0-3 480, 17.5-3 480, 20.0-3 480, 22.7-3 480, 24.0-3 480)

| GENERAL DATA | | 15.0-3 480 | 17.5-3 480 | 20.0-3 480 | 22.7-3 480 | 24.0-3 480 |
|---|--|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Weight | | 95.7 lbs. / 43.4 kg | | | | |
| INPUT DATA | | 15.0-3 480 | 17.5-3 480 | 20.0-3 480 | 22.7-3 480 | 24.0-3 480 |
| Max. permitted PV power | | 22.50 kW | 26.25 kW | 30.00 kW | 34.09 kW | 36.00 kW |
| Max. usable input current (MPPT 1/MPPT 2) | | 33.0 A / 25.0 A | | | | |
| Max. usable input current total (MPPT 1 + MPPT 2) | | 51 A | | | | |
| Max. admissible input current (MPPT 1/MPPT 2) | | 49.5 A / 37.5 A | | | | |
| Max. admissible input current total (MPPT 1 + MPPT 2) | | 76.5 A | 76.5 A | 76.5 A | 76.5 A | 76.5 A |
| Integrated DC string fuse holders <i>Must be specified when ordering</i> | | Optional: 6- and 6+ | Optional: 6- and 6+ | Optional: 6- and 6+ | Optional: 6- and 6+ | Optional: 6- and 6+ |
| MPP voltage range | | 350 - 800 V | 400 - 800 V | 450 - 800 V | 500 - 800 V | 500 - 800 V |
| Operating voltage range | | 200 - 1,000 V | | | | |
| Max. input voltage | | 1,000 V | | | | |
| Nominal input voltage | | 208 V | N/A | N/A | N/A | N/A |
| | | 240 V | N/A | N/A | N/A | N/A |
| | | 480 V | 685 V | 695 V | 710 V | 720 V |
| Admissible conductor size DC | | AWG 14 - AWG 6 copper direct, AWG 6 aluminium direct, AWG 4 copper or aluminium with input combiner | | | | |
| Number of MPPT | | 2 | | | | |
| OUTPUT DATA | | 15.0-3 480 | 17.5-3 480 | 20.0-3 480 | 22.7-3 480 | 24.0-3 480 |
| Max. output power | | 208 V | N/A | N/A | N/A | N/A |
| | | 240 V | N/A | N/A | N/A | N/A |
| | | 480 V | 14,995 VA | 17,495 VA | 19,995 VA | 23,995 VA |
| Max. output fault current / Duration | | 30.9 A RMS / 150.4 ms | 30.9 A RMS / 150.4 ms | 30.9 A RMS / 150.4 ms | 30.9 A RMS / 150.4 ms | 30.9 A RMS / 150.4 ms |
| Max. continuous output current | | 208 V | N/A | N/A | N/A | N/A |
| | | 240 V | N/A | N/A | N/A | N/A |
| | | 480 V | 18.0 A | 21.0 A | 24.0 A | 28.9 A |
| Recommended OCPD/AC breaker size | | 208 V | N/A | N/A | N/A | N/A |
| | | 240 V | N/A | N/A | N/A | N/A |
| | | 480 V | 25 A | 30 A | 30 A | 40 A |
| Max. efficiency | | 98.0 % | | | | |
| CEC efficiency | | 208 V | N/A | N/A | N/A | N/A |
| | | 240 V | N/A | N/A | N/A | N/A |
| | | 480 V | 97.0 % | 97.5 % | 97.5 % | 97.5 % |
| Admissible conductor size AC | | AWG 14 - AWG 6 | | | | |
| Grid connection | | 480 V Delta +N** | | | | |
| Frequency | | 60 Hz | | | | |
| Total harmonic distortion | | < 1.75 % | | | | |
| Power factor | | 0 - 1 ind./cap. | | | | |

Apéndice F: Controlador eólico Enair Pro-Grid

Controlador EÓLICO

ENAIR PRO-GRID





Características

- Amplio rango de voltaje de entrada
- Su alta eficiencia garantiza una eficiente transmisión de potencia
- Protección del equipo eléctrico cuando cae la red eléctrica de repente

| MODELO | R-PRO-GRID |
|---|----------------------|
| Potencia nominal de entrada | 20kW |
| Máxima tensión de entrada CA | 500V |
| Máxima corriente de entrada CA | 40A |
| Potencia se salida | 12kW |
| Opciones de la tensión de derivación CC | 1.300-400V |
| | 2.400-500V |
| | 3.500-600V |
| Potencia de derivación | 8kW |
| Máxima tensión de derivación | 750V |
| Máxima corriente de derivación | 30A |
| Eficiencia | > 99.3% |
| Temperatura ambiente de funcionamiento | -25°C ~ 60°C |
| Protección | IP65 |
| Tamaño (alto x ancho x profundo) | 370 x 275 x 135 (mm) |
| Peso | 7kg |

Apéndice G: Correo Enair



Gracias por rellenar el formulario



Contacto Web Enair <web@enair.es>

mar 23/10/2018 16:18

Para: krismora18@hotmail.com [A](#)

 Responder | 



FORMULARIO DE CONTACTO WEB ENAIR

Muchas Gracias

Hemos recibido toda la información Kristofer Moraga Obando, en breve nuestro comercial se pondrá en contacto con usted para confirmar toda la información introducida.

Enair Energy. S.L

Apéndice H: sistema solar 74 módulos

SunProducts
EQUIPO

Sunshine
ENERGÍA SOLAR

Estimado Cliente:

viernes, octubre 26, 2018

Sr. Kristofar Moraga Obando

Factura Proforma SP 271

85622163 krismora19@hotmail.com

Por este medio le hacemos llegar nuestra Factura Proforma de los siguientes equipos de medición:

| | MODELO | MARCA | DETALLE | POTENCIA | VOLTAJE | P. UNITARIO | CANTIDAD | SUB-TOTAL |
|-------|---------------------|---------|----------|----------|----------|-------------|----------|--------------|
| 1 | JKM325FP-72/Detalle | JINKO | Panel | 325.00 | | \$ 133.50 | 74 | \$ 9,879.00 |
| 2 | Primo 5.0 | Fronius | Inversor | 5000 | 208-240V | \$ 2,065.70 | 5 | \$ 10,328.50 |
| 3 | Picking Bodega | | | | | \$ 25.00 | 1 | \$ 25.00 |
| 4 | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | |
| Total | | | | | | | \$ | 20,232.50 |

| | |
|-------------------|-------------------------------|
| ENTREGA INMEDIATA | CONTRA PEDIDO - 2 MESES APROX |
|-------------------|-------------------------------|

- Los precios incluyen nacionalización y serán entregados en **nuestra bodega** en San José.
- Condiciones de pago: 20% contra Orden de Compra y 80% contra entrega.
- No otorgamos garantías adicionales. El equipo cuenta con garantías del fabricante.
- Bodega ALFIDEPA: 100 S y 100 O de oficinas de Pizza Hut, Pavas entrada Oeste de ofiCentro La Virgen
- La entrega se coordina con **48 horas** de anticipación luego de confirmado el depósito de Orden de Compra

Anabel Urina Eljaiek
REPRESENTANTE COMERCIAL

Jinko Solar

ENPHASE

CHIKO
Ingeniería Solar

Fronius

Growatt

Apéndice I: Cotización sistema 89 módulos

SunProducts
EQUIPO

Sunshine
ENERGÍA SOLAR

Estimado Cliente:

viernes, octubre 26, 2018

Sr. Kristofer Moraga Obando

Factura Proforma SP 270

85622163 krismora18@hotmail.com

Por este medio le hacemos llegar nuestra Factura Proforma de los siguientes equipos de medición:

| MODELO | MARCA | DETALLE | POTENCIA | VOLTAJE | P. UNITARIO | CANTIDAD | SUB-TOTAL |
|------------------------|---------|----------|----------|----------|-------------|-----------|------------------|
| 1 JK04325PP-72/Detalle | JINKO | Panel | 325.00 | | \$ 133.50 | 89 | \$ 11,881.50 |
| 2 Primo 10 | Fronius | Inversor | 10000 | 208-240V | \$ 3,378.70 | 3 | \$ 10,136.10 |
| 3 Picking Bodega | | | | | \$ 25.00 | 1 | \$ 25.00 |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | |
| Total | | | | | | \$ | 22,042.60 |

| | |
|-------------------|-------------------------------|
| ENTREGA INMEDIATA | CONTRA PEDIDO - 2 MESES APROX |
|-------------------|-------------------------------|

- Los precios incluyen nacionalización y serán entregados en **nuestra bodega** en San José.
- Condiciones de pago: 20% contra Orden de Compra y 80% contra entrega.
- No otorgamos garantías adicionales. El equipo cuenta con garantías del fabricante.
- Bodega ALFIDEPA: 100 S y 100 O de oficinas de Pizza Hut, Pomas entrada Oeste de oficina La Virgen
- La entrega se coordina con **48 horas** de anticipación luego de confirmado el depósito de Orden de Compra

Anabel Urina Eljaiak
REPRESENTANTE COMERCIAL

Jinko Solar

ENPHASE

CHIKO
Innovative Solar Solutions

Fronius

Growatt

Apéndice J: Soporte paneles solares

ESTRUCTURA CHIKO SOLAR



Apéndice K: Tasas de interés utilizadas

RE: Tasas de interés Eco-proyectos



Rojas Camacho Alvaro <ARojasCa@ice.go.cr>

Mié 31/10/2018, 16:24

Usted



Entre el 6 % y 8% Scotia bank para proyectos con energías renovables.

De: kristofer Moraga Obando [mailto:kristomora18@hotmail.com]

Enviado el: miércoles, 31 de octubre de 2018 04:15 p.m.


Para: Rojas Camacho Alvaro

Asunto: Tasas de interés Eco-proyectos

Buenas tardes profesor se me complica el asunto con las tasas de interés para realizar el análisis financiero para el proyecto por lo que recuro a usted para ver si y usted maneja algún dato de referencia para seguir avanzando con el proyecto, estuve revisando varios sitios web de diferentes bancos los cuales ofrecen este tipo de financiamiento pero ninguno tiene estos datos en sus paginas, realice llamadas y tampoco me brindaron la información.

Muchas gracias

Apéndice L: Ficha técnica micro-inversor

| Microinversores Enphase IQ 6 y IQ 6+ | | | | |
|---|--|-------------|---|-----------------|
| DATOS DE ENTRADA (CC) | | IQ6-60-2-US | | IQ6PLUS-72-2-US |
| Combinaciones de módulos recomendadas ¹ | 195 W - 330 W + | | 235 W - 400 W + | |
| Compatibilidad del módulo | Solo módulos fotovoltaicos de 60 celdas | | Módulos fotovoltaicos de 60 y 72 celdas | |
| Tensión máxima de CC de entrada | 48 V | | 62 V | |
| Tensión máxima de registro de corriente | 27 V - 37 V | | 27 V - 48 V | |
| Intervalo de funcionamiento | 16 V - 48 V | | 16 V - 62 V | |
| Tensión de arranque mínima/máxima | 22 V/48 V | | 22 V/62 V | |
| Corriente de cortocircuito de CC máxima (módulo Isc) | 15 A | | 15 A | |
| Puerto de CC de clase sobretensión | II | | II | |
| Retroalimentación de puerto de CC ante falla única | 0 A | | 0 A | |
| Configuración de panel fotovoltaico | Panel sin tierra de 1 x 1; No se necesita protección adicional de la CC lateral; La protección de CA lateral requiere un máximo de 20 A por circuito de ramal | | | |
| DATOS DE SALIDA (CA) | | IQ6-60-2-US | | IQ6PLUS-72-2-US |
| Potencia máxima de salida | 240 VA | | 290 VA | |
| Potencia de salida (continua) nominal | 230 VA | | 280 VA | |
| Tensión nominal/intervalo ² | 240 V/211-264 V | | 208 V (1Ø)/183-229 V | |
| Corriente de salida nominal | 0,96 A | | 1,17 A | |
| Frecuencia nominal | 60 Hz | | 60 Hz | |
| Intervalo de frecuencia extendido | 47 - 68 Hz | | 47 - 68 Hz | |
| Factor de potencia a potencia nominal | 1,0 | | 1,0 | |
| Unidades máximas por circuito derivado de 20 A | 16 (240 VAC) | | 13 (240 VAC) | |
| | 14 (208 VAC monofásico) | | 11 (208 VAC monofásico) | |
| Puerto de CA de clase sobretensión | III | | III | |
| Retroalimentación de puerto de CA ante falla única | 0 A | | 0 A | |
| Factor de potencia (ajustable) | 0,7 adelantado ... 0,7 retrasado | | 0,7 adelantado ... 0,7 retrasado | |
| RENDIMIENTO | | A 240 V | | A 208 V (1Ø) |
| Rendimiento ponderado del CEC | 97,0 % | | 96,5 % | |
| | 97,0 % | | 96,5 % | |
| DATOS MECÁNICOS | | | | |
| Intervalo de temperatura ambiente | -40 a 65 °C | | | |
| Humedad relativa | 4 % a 100 % (con condensación) | | | |
| Tipo de conector | MC4 | | | |
| Dimensiones (An. x AL. x Pr.) | 219 mm x 191 mm x 37,9 mm (sin soporte) | | | |
| Peso | 1,5 kg (3,3 libras) | | | |
| Refrigeración | Convección natural, sin ventiladores | | | |
| Aprobado para ubicaciones húmedas | SI | | | |
| Grado de contaminación | PD3 | | | |
| Categoría medioambiental/Clasificación de exposición a rayos UV | Exterior: NEMA 250, tipo 6 (IP67) | | | |
| CARACTERÍSTICAS | | | | |
| Comunicación | Línea eléctrica | | | |
| Supervisión | Opciones de monitoreo Enlighten Manager y MyEnlighten Compatible con IQ Envoy de Enphase | | | |
| Cumplimiento | UL 62109-1, UL1741/IEEE1547, FCC Part 15 Class B, ICES-0003 Class B, CAN/CSA-C22.2 NO. 107.1-01 Este producto se incluye en la lista de UL como un equipo fotovoltaico de apagado rápido y tiene conformidad con NEC-2014 y NEC-2017 sección 690.12 y C22.1-2015, Norma 64-218, Apagado rápido de sistemas fotovoltaicos, en conductores de CA y CC, cuando se instala de acuerdo con las Instrucciones del fabricante. | | | |
| 1. No hay relación forzada de CC/CA. Consulte la calculadora de compatibilidad en https://enphase.com/en-us/support/module-compatibility . | | | | |
| 2. El intervalo de tensión nominal puede superar el valor nominal si así lo exige el servicio público. | | | | |
| Para obtener más información sobre las soluciones de Enphase, visite enphase.com | | | | |
| © 2018 Enphase Energy. Todos los derechos reservados. Todas las marcas o marcas comerciales son propiedad de Enphase Energy, Inc. | | | | |
| 2018-01-25 | | | | |
|  | | | | |

Apéndice M: Costo micro-inversores

MICROINVERSORES ENPHASE

137



| MODELO | PRECIO |
|--------------------|--------|
| Microinversor IQ6+ | \$200 |
| Envoy IQ | \$404 |



I