



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TALLER DE GRADUACIÓN

PARA OPTAR POR EL GRADO DE BACHILLERATO EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**“EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DE
INCORPORACIÓN DE SISTEMA SOLAR CON SISTEMA
EÓLICO PARA OFICINAS Y PARQUE URBANO-
RECREATIVO DE LA MUNICIPALIDAD DEL CANTÓN DE
HOJANCHA GUANACASTE.”**

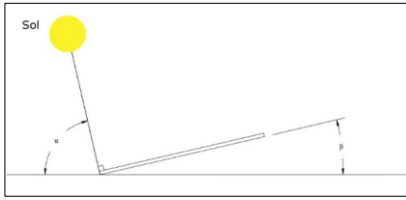
ALBERTO JIMÉNEZ BRICEÑO

SAN JOSÉ, FEBRERO DE 2021

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	3326
Planteamiento del Problema.....	3427
Justificación:.....	3427
Objetivos	3528
Objetivo General:	3528
Objetivos específicos:.....	3528
Alcances	3629
Limitaciones.....	3629
Antecedentes Internacionales.....	3730
Antecedentes Nacionales.....	4841
CAPÍTULO I:.....	5951
DIAGNÓSTICO.....	5951
CAPÍTULO 2:.....	6254
MARCO TEÓRICO	6254
Energía solar	6355
Tipos de radiación	6355
Conceptos importantes sobre energía solar.....	6456
Energía solar fotovoltaica.....	6759
Sistemas fotovoltaicos.	6759
Principales componentes de los sistemas fotovoltaicos.....	6860
Procedimiento para el cálculo de una instalación fotovoltaica.....	7163
La energía eólica.....	7567
Principales componentes de los sistemas Aerogeneradores.	7668
Clasificación de los aerogeneradores.....	7769

<u>La potencia del viento.....</u>	<u>8072</u>
<u>Curva de potencia de un aerogenerador.....</u>	<u>8274</u>
<u>Sistema Fotovoltaico con Sistema Eólico (Sistema Híbrido).....</u>	<u>8375</u>
<u>El Instituto Meteorológico Nacional (IMN).....</u>	<u>8476</u>
<u>Velocidades de vientos en Costa Rica.....</u>	<u>8577</u>
<u>Coopeguanacaste, R.L.</u>	<u>8678</u>
<u>Tarifas del Servicio Eléctrico de Coopeguanacaste, R.L.</u>	<u>8678</u>
<u>Artículos de (NEC, 2008) necesarios para el diseño de los sistemas fotovoltaicos</u>	<u>8779</u>
<u>Generación distribuida y sistemas conectados a la red.....</u>	<u>8981</u>
<u>Artículos Norma técnica AR-NT-POASEN 2015.....</u>	<u>8981</u>
<u>Artículos Norma técnica AR-NT-SUCOM</u>	<u>9183</u>
<u>Artículos del reglamento de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables en su modalidad neta sencilla.....</u>	<u>9385</u>
<u>Matemáticas financieras</u>	<u>9486</u>
<u>Tasa Interna de Retorno (TIR).....</u>	<u>9587</u>
<u>Payback o Recuperación de la Inversión.....</u>	<u>9789</u>
<u>CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....</u>	<u>9789</u>
<u>Métodos de investigación.....</u>	<u>9789</u>
<u>Investigación descriptiva</u>	<u>9789</u>
<u>Investigación cuantitativa</u>	<u>9890</u>
<u>CAPÍTULO IV: DESARROLLO</u>	<u>10193</u>
<u>Diseño solo con sistema fotovoltaico (Diseño #1).</u>	<u>10193</u>
<u>Análisis del consumo energético del año 2020 en las oficinas de la municipalidad y parque recreativo de Hojancha Guanacaste.</u>	<u>10294</u>
<u>Estimación del promedio mensual de energía solar.....</u>	<u>10395</u>
<u>Inclinación de los paneles solares.....</u>	<u>10496</u>



.....	10496
Cantidad de paneles solares del diseño 1.....	10597
Selección del inversor del diseño 1.....	10799
Cálculo del arreglo de paneles fotovoltaicos.....	10799
El área del arreglo de paneles fotovoltaicos.....	110401
Cálculo estructural de los módulos.....	111402
Cálculo de conductores y protección contra sobretensión en DC y AC.....	112403
Sistema de puesta a tierra.....	113404
Diagrama unifilar del diseño 1.....	114405
Cálculo de la potencia generada por el arreglo de 64 paneles solares del diseño 1.....	115406
Diseño del sistema solar con sistema eólico (Diseño #2).....	117408
Estimación de la velocidad del viento.....	118408
Selección de la turbina eólica.....	118409
Cálculo de conductores y protección contra sobretensión en DC y AC para el Aerogenerador.....	121412
Cantidad de paneles solares para el sistema mixto.....	122413
Selección del inversor sistema Solar del diseño 2.....	123414
Cálculo del arreglo de paneles fotovoltaicos mixto.....	123414
El área del arreglo de paneles fotovoltaicos y el aerogenerador.....	126416
Diagrama Unifilar del diseño 2.....	128417
Cálculo de la potencia generada por el arreglo de 52 paneles solares y el aerogenerador ENAIR 70 PRO de 5,5 KW.....	129418

<u>Análisis financiero.....</u>	<u>131120</u>
<u> Análisis financiero del diseño 1 solo con paneles solares, retorno de la inversión</u>	<u>131120</u>
<u> Análisis financiero del diseño 2 con paneles solares y con 1 Aerogenerador, retorno de la inversión.....</u>	<u>137125</u>
<u>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</u>	<u>143132</u>
<u>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	<u>145134</u>
<u> Conclusiones.....</u>	<u>145134</u>
<u> Recomendaciones</u>	<u>147135</u>
<u>REFERENCIAS</u>	<u>148136</u>
<u>ANEXOS.....</u>	<u>152140</u>
<u> Anexo 1: Ficha técnica del panel solar</u>	<u>152140</u>
<u> Anexo 2: Ficha técnica del inversor central SolarEdge SE-11400A-US y SE-10000A-US.....</u>	<u>154142</u>
<u> Anexo 3. Ficha estructura para montar módulos solares</u>	<u>155143</u>
<u> Anexo 4: Ficha técnica del aerogenerador ENAIR 70 PRO.....</u>	<u>156144</u>
<u> Anexo 5: Curvas de potencia y Producción anual del Aerogenerador ENAIR 70 PRO.....</u>	<u>157145</u>
<u> Anexo 6: Ficha técnica de controlador eólico del aerogenerador ENAIR 70.....</u>	<u>158146</u>
<u> Anexo 7: Cotización del sistema fotovoltaico caso #1</u>	<u>159147</u>
<u> Anexo 8: Cotización del sistema fotovoltaico con eólico caso #2.....</u>	<u>160148</u>
<u> Anexo 9. Tarifas Vigentes por la compañía Coopeguanacaste R.L según la ARESEP</u>	<u>162150</u>
<u> Anexo 10. Cargo de interconexión medidor monofásico por la compañía Coopeguanacaste R.L</u>	<u>162150</u>
<u> Anexo 11. Taza de interés en el Banco Popular de Costa Rica para proyectos de energía renovables del 29-06-2021.....</u>	<u>163151</u>
<u> Anexo 12. Generación Distribuida en la Cooperativa de Electrificación Rural de Guanacaste.....</u>	<u>164152</u>
<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>26</u>

LISTA DE TABLAS

<u>Tabla 1. Energía necesaria.....</u>	<u>3830</u>
<u>Tabla 2. Datos necesarios.....</u>	<u>3831</u>
<u>Tabla 3. Dimensionamiento para fines de semana con ocupación completa.....</u>	<u>4032</u>
<u>Tabla 4. Diseño de una instalación para días de diario más fines de semana completos.....</u>	<u>4032</u>
<u>Tabla 5. Consumo energético del año 2020 del diseño 1.....</u>	<u>10294</u>
<u>Tabla 6. Radiación solar, Hojanca Guanacaste.....</u>	<u>10395</u>
<u>Tabla 7. Ángulo de inclinación según la latitud.....</u>	<u>10597</u>
<u>Tabla 8. Caída de tensión y calibre del conductor.....</u>	<u>113404</u>
<u>Tabla 9. Consumo energético vrs generación del sistema fotovoltaico del diseño 1.....</u>	<u>1116407</u>
<u>Tabla 10. Velocidad media del viento, Hojanca.....</u>	<u>118409</u>
<u>Tabla 11. Producción de energía anual a diferentes velocidades.....</u>	<u>119410</u>
<u>Tabla 12. Producción de energía mensual a diferentes velocidades.....</u>	<u>120411</u>
<u>Tabla 13. Consumo energético del año 2020 al 80% KWh/día del diseño 2.....</u>	<u>122413</u>
<u>Tabla 14. Consumo energético vrs generación del sistema fotovoltaico con 52 paneles del diseño 2.....</u>	<u>129418</u>
<u>Tabla 15. Consumo energético frente a generación mixta con 52 paneles y 1 Aerogenerador del diseño 2.....</u>	<u>130419</u>
<u>Tabla 16. Análisis de facturación con y sin paneles del diseño 1.....</u>	<u>132421</u>
<u>Tabla 17. Análisis de costo de inversión del proyecto del diseño 1.....</u>	<u>134423</u>
<u>Tabla 18. Retorno de la inversión del diseño 1.....</u>	<u>135424</u>

Tabla 19. Análisis de facturación con el sistema mixto con y sin proyecto del diseño 2.	137126
Tabla 20. Análisis de costo de la inversión del sistema fotovoltaico a 80% del diseño 2	139128
Tabla 21. Análisis de costo de la inversión del sistema Eólico del diseño 2	140128
Tabla 22. Retorno de la inversión del diseño 2	141130
Tabla 1. Energía necesaria	30

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1. Consumo energético del año 2020 del diseño 1	10294
Gráfico 2 Consumo energético Vrs Generación solar del diseño 1	117408
Gráfico 3. Consumo energético Vrs Generación Mixta del diseño 2	130119
Gráfico 4. Producción, Consumo y Energía Requerida del diseño 1	133122
Gráfico 5. Inversión vrs el retorno del diseño 1	136125
Gráfico 6. Producción, Consumo y Energía Requerida del diseño 2	138127
Gráfico 7. Inversión vrs el retorno del diseño 2	142131
Gráfico 1. Consumo energético del año 2020 del diseño 1	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación satelital de la institución	6052
Figura 2. Imagen satelital del área disponible	6153
Figura 3. Componentes de la radiación solar terrestre	6456
Figura 4. Irradiación solar global en Costa Rica	6557

Figura 5. Brillo Solar Anual de Costa Rica	6658
Figura 6. Sistema fotovoltaico conectado a la red	6759
Figura 7. Conexión de paneles solares en paralelo	7062
Figura 8. Conexión de paneles solares en serie	7163
Figura 9. Componentes de un Aerogenerador	7769
Figura 10. Aerogenerador de eje horizontal con el número de palas.....	7971
Figura 11. Orientación al viento	7971
Figura 12. La potencia del viento.....	8072
Figura 13. Ejemplo de curva de potencia de un aerogenerador de 600KW con velocidades en m/s.....	8274
Figura 14. Condiciones Meteorológicas de la estación de Pilangosta Hojancha	8476
Figura 15. Mapa de velocidades de viento por zonas para Costa Rica con base en límites políticos para un período de retorno de 50 años.....	8577
Figura 16. Diagrama de flujo del marco metodológico.....	10092
Figura 17. Elevación del Sol α y ángulo β inclinación del panel.....	10496
Figura 18. Arreglo de paneles solares 3 filas de 12-12-8 para cada inversor diseño 1.....	10901
Figura 19. Montaje de módulos fotovoltaicos a nivel de techo del diseño 1	111402
Figura 20. Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico del diseño 1	115406
Figura 21. Arreglo de paneles solares 1 sistema de 3 filas en paralelo de (12-12-2) para un inversor y el otro sistema sería igual pero con el otro inversor, más el sistema eólico del diseño 2	124115
Figura 22. Montaje de módulos fotovoltaicos a nivel de techo y área del aerogenerador del diseño 2	127116
Figura 23. Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico con eólico del diseño 2.....	128117

[Figura 1. Ubicación satelital de la institución.....52](#)

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1 Cálculo de Irradiancia	6456
Ecuación 2. Consumo energético	7163
Ecuación 3. Conversión de hora solar pico.....	7264
Ecuación 4. Número de paneles solares	7264
Ecuación 5. Número de paneles solares con rendimiento energético.....	7365
Ecuación 6. Cantidad de paneles solares	7365
Ecuación 7. Potencial total del arreglo de paneles	7466
Ecuación 8. Ángulo de inclinación máxima en grados	7567
Ecuación 9. Potencia del viento	8072
Ecuación 10. Potencia del viento en un área circular.....	8173
Ecuación 11. Valor Actual Neto.....	9486
Ecuación 12. Tasa Interna de Retorno	9587
Ecuación 13. Inclinación óptima paneles solares	10496
Ecuación 14. Número de paneles en serie	10799
Ecuación 15. Número de filas en Paralelo	108400
Ecuación 16. Corriente del circuito en DC.....	112403
Ecuación 17. Caída de tensión	112403
Ecuación 18. Resistencia del electrodo.....	113404
Ecuación 19. Corriente del circuito en DC.....	121412
Ecuación 20. Corriente del circuito en AC.....	121412
Ecuación 1 Cálculo de Irradiancia	56

NOMENCLATURA

NEC: Código Eléctrico Nacional
CIEMI: Colegio de Ingenieros Electricistas Mecánicos e Industriales
CFIA: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos
MEIC: Ministerio de Economía Industria y Comercio
ARESEP: Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos
POASEN: Planeación, operación y acceso al sistema eléctrico nacional
SEN: Sistema eléctrico nacional
MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía
M: Metro
Cm: Centímetro
Mm: Milímetro
Ft: Pie
m²: Metro cuadrado
°C: Grados Celsius
CA: Corriente alterna
CC: Corriente directa
A: Amperio
V: Voltio
VA: Voltio-Amperio
W: Watt
Wp: Wattlepico
W/m²: Watt por metro cuadrado
KWh: Kilovatio hora
HPS: Hora Pico Solar

Resumen Ejecutivo

El incremento de la cantidad de CO_2 en el ambiente ha sido de mucha preocupación en la mayoría de los países, tanto así que han venido implementando proyectos para sustituir el uso de los combustibles fósiles por el aprovechamiento de las energías renovables. En Costa Rica, el gobierno ha estado formulando proyectos cuyo fin es eliminar por completo el uso de combustibles fósiles para llegar a ser un país cien por ciento libre de carbono.

Este trabajo se desarrolló en la Municipalidad de Hojancha, Guanacaste y en el parque urbano-recreativo del cantón en mención.

Este proyecto consiste ~~una~~ evaluación de factibilidad incorporando un sistema solar con un sistema eólico el cual es complemento del uno con el otro, así cuando tenemos energía solar generamos con los paneles y cuando hay viento generamos con el viento, que incluye además el diseño y análisis económico de los sistemas fotovoltaico y sistemas eólicos ~~necesarios~~ para suplir parte de su demanda, con el fin no solo de contribuir con el medio ambiente, sino también, el de disminuir los costos de la tarifa mensual en el consumo eléctrico para la institución, ya que este es de 44.100,60 KWh de consumo debido a la gran cantidad de equipos de computación, equipos de aire acondicionado y toda la iluminación de las oficinas y del parque, para así poder reinvertir el dinero ahorrado en la misma infraestructura de las oficinas y el parque de la municipalidad.

En cuanto a lo que se refiere al diseño del sistema fotovoltaico, se introduce el concepto de energía solar como fuente de generación eléctrica y el esquema básico de los proyectos fotovoltaicos, sus componentes principales, características que los definen, tipos de sistemas y conceptos básicos que se deben conocer a la hora de su diseño.

En la fase de diseño se utilizará ~~á~~ datos de sistemas satelitales del Instituto Meteorológico Nacional, con el fin de obtener la radiación de la zona, temperatura y otros, para estimar cómo estos paneles se comportan en la realidad desde un amplio rango de temperaturas y luz solar, para lograr llegar a un diseño adecuado para el proyecto en lo que corresponde a la instalación eléctrica, calibre de conductores, protecciones, y desarrollo de la instalación fotovoltaica con inversor central conectado a la red de distribución eléctrica.

El cálculo del sistema se realizará ~~á~~ tomando en cuenta el Performance Ratio que es la relación de la energía real obtenida por el módulo entre la salida teórica que se debería obtener con el fin

de realizar una predicción más precisa de rendimiento y del retorno de inversión a largo plazo de los sistemas fotovoltaicos.

Para realizar el estudio eólico, se usarán los datos facilitados por el Instituto Meteorológico Nacional que nos mostrará la velocidad del viento en los diferentes meses del año. Con esos datos se calcula la velocidad media del viento mensual y se estudiará qué aerogeneradores pueden abastecer la municipalidad y el parque.

Finalmente, se lleva a cabo un análisis de viabilidad económica del proyecto donde se calcula para el primer diseño el VAN de ahorros de \$36.416.543,85 y un TIR de 14% y su recuperación de la inversión es de 8 años, con un diseño de 64 paneles marca Jinko Solar, modelo JKM410M y dos inversores centrales modelo Grid Tied Invert SolarEdge SE-11400-US de 12 KW cada uno. Para el segundo diseño se calculó un VAN de ahorros de \$34.079.181,06 y un TIR de 7% y su recuperación de la inversión es de 12 años, con un diseño de 52 paneles marca Jinko Solar, modelo JKM410M y dos inversores centrales modelo Grid Tied Invert SolarEdge SE-10000-US de 10 KW cada uno. Financieramente el más rentable es el diseño 1 porque este tiene una inversión menor al diseño 2 y el tiempo de recuperación es menor que del diseño 2.

INTRODUCCIÓN

Costa Rica es un país que a lo largo de los años ha venido luchando por brindar energía eléctrica sustentada en la generación verde o energías alternativas por el incremento de la cantidad de CO_2 en el ambiente. El gobierno ha estado formulando proyectos cuyo fin es eliminar por completo el uso de combustibles fósiles para llegar a ser un país cien por ciento libre de emisiones de carbono.

El área geográfica en la cual se sitúa el cantón de Hojancha, Guanacaste, posee características climáticas óptimas, debido a la irradiación solar que recibe, así como los vientos existentes en la zona.

La utilización de estos recursos en el diseño de un sistema híbrido optimizará las mejores condiciones del viento y el sol, complemento entre sí. Los días nublados, no permiten el aprovechamiento adecuado de la luz solar, mientras que son ideales para los aerogeneradores. En cambio, los días soleados con pocos vientos, son adecuados para las placas fotovoltaicas.

La aplicación tecnológica limpias renovables, está orientado a dar una solución para la búsqueda de alternativas menos contaminantes y rentables a largo plazo de 8 años, esto permitirá a la municipalidad no depender totalmente de la red eléctrica y así disminuir el costo de la factura eléctrica.

Se espera por medio de la investigación, cumplir los objetivos propuestos, también despertar el interés de la comunidad universitaria respecto a esta área del conocimiento.

Este trabajo está encaminado al diseño y selección de equipos para un sistema híbrido aprovechando los recursos eólicos y solares de la zona, el mismo que servirá de apoyo para trabajos de investigación futuros.

Planteamiento del Problema

¿Cuál es el diseño de los sistemas de generación eléctrica más adecuados utilizando energías renovables para las oficinas y Parque urbano-recreativo de la Municipalidad del Cantón de Hojancha, Guanacaste?

Justificación:

Este proyecto en la Municipalidad de Hojancha, Guanacaste, es un esfuerzo conjunto de un grupo de personas de esa institución, para rediseñar el sistema eléctrico de las oficinas y del parque esta comunidad.

Así pues al ubicarse este proyecto en una zona de gran radiación solar y variaciones de vientos, se busca realizar el diseño más adecuado, que se adapte a las necesidades de los actuales y futuros usuarios. Además se busca utilizar energías renovables no solo con el fin de disminuir los costos de operación en el rubro de factura eléctrica, sino también por el hecho de que la energía solar y eólica no solo es una de las más abundantes del planeta, ya que no involucra emisiones contaminantes, por lo cual resulta en la protección del medio ambiente.

Hojancha, Guanacaste cuenta con una población de 8043 habitantes según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) 2021, y es uno de los cantones más progresistas de la provincia y con la implementación de este sistema novedoso, se pretende dotar a la comunidad de un modelo de energías limpias que genere no solamente un impacto positivo en materia económica, sino también siente un precedente para que las futuras generaciones puedan vivir en un ambiente más sano, inclusivo y ambientalmente sostenible.

Objetivos

Objetivo General:

Diseñar el sistema eléctrico más adecuado utilizando energías renovables para las oficinas y Parque urbano-recreativo de la Mmunicipalidad del cCantón de Hojancha, Guanacaste.

Objetivos específicos:

1. Establecer el área disponible para la ubicación del sistema de paneles solares y aerogeneradores.
2. Definir por medio del estudio e iInvestigación los equipos más adecuados para el proyecto, que existen en el mercado para un sistema fotovoltaico y sistema eEólico.
3. Determinar el número de paneles solares, conforme en el estudio de radiación solar del proyecto.
4. Determinar el sistema del aerogenerador obteniendo velocidades medias del viento a una altura determinada por medio de consultas al Instituto Meteorológico Nacional para la zona del proyecto.
5. Realizar análisis financiero que incluya los costos de implementación del proyecto.

Alcances

Al finalizar este trabajo se entregará en formato digital diagrama unifilar eléctrico propuesto en formato DWG (AutoCAD) del sistema fotovoltaico y sistema fotovoltaico con aerogenerador, memoria de cálculo en formato Excel y presupuesto de costos financiero estimados del proyecto.

Limitaciones

Debido a que la Municipalidad es una institución con lugares de acceso restringido, se deberá coordinar las visitas al lugar y estará sujeto a la disponibilidad que presente la persona encargada, por lo que no se podrá establecer días fijos para la llegada a ese lugar.

Falta de poca información brindada por la institución, por el cual no hay un encargado de la parte electromecánica, estas labores de mantenimiento las subcontrata a empresas electromecánicas.

Antecedentes Internacionales.

Antecedente 1.

INSTITUCIÓN: Universidad de Valladolid (España).

TÍTULO: Estudio de una instalación mixta, fotovoltaica y eólica, aplicada a una casa rural.

AUTORES: Miguel Hernández Fernández, Luis Fernando Zapatero Rodríguez.

FECHA: 2012

En el presente proyecto, se ha desarrollado un estudio de una instalación mixta para abastecer energéticamente una casa aislada durante todo el año, ajustando el consumo energético en función del uso que se le va a dar, en este caso se ha diseñado la instalación para cubrir las necesidades energéticas si la casa es utilizada durante los días de diario con una ocupación parcial y durante los fines de semana con ocupación total. Este proyecto consta de dos partes: Estudio Fotovoltaico y Estudio Eólico.

Para realizar el estudio fotovoltaico se ha diseñado una herramienta de cálculo en Excel que les permite calcular el número y costo de los paneles solares, inversores, baterías y reguladores de carga que necesita una instalación aislada de red, así como el precio total de la instalación a realizar. Los pasos [por](#) seguir son:

En el apartado Energía Necesaria, Figura 1, el usuario introducirá las características de los elementos que componen la casa en la tabla mostrada, que nos calculará el consumo medio diario de la casa a diseñar.

Tabla 1. Energía necesaria.

Aparatos	Tensión(V)	Unidades	Potencia W	Hora/Día H	Energía W·H
Tubos fluorescentes	230V	8	40	5	1600
TV color(19 pulg)	230V	1	70	8	560
DVD	230V	1	25	2	50
Lavavajillas	230V	1	430	2 usos	2000
Lavadora	230V	1	400	1 uso	1200
Refrigerador	230V	1	-	24horas	1000
				TOTAL:	6410

Fuente: (Hernandez, 2012)

En el apartado Datos Necesarios, Figura 2, el usuario introducirá los datos pedidos para que la hoja de cálculo realice el diseño de la instalación. En ella se encuentran tres apartados:

Especificaciones del módulo: Se introducirá los datos del fabricante del módulo fotovoltaico elegido por el usuario.

Especificaciones del lugar: Se introducirá los datos de la zona donde se realizará la instalación, donde pedirá el nombre, la latitud y la inclinación óptima anual del lugar.

Radiaciones del lugar: El usuario deberá rellenar las celdas con las radiaciones del lugar dependiendo de los ángulos de inclinación del módulo. Estos se pueden obtener en la web europea del instituto europeo de energía y transporte:

Tabla 2. Datos necesarios.

Especificaciones del módulo			Especificaciones del lugar	
Módulo	Modelo del módulo	TAV PV 185	Nombre del lugar elegido	San martin de la Vega del Alberche
	Voltaje a potencia Máx.	36,6 V	Latitud del lugar [grados]	40*
	Potencia máxima Pmp	185 W		
	Corrient cortocircuito Isc	5,48 A		
INCLINACIONES				
Método 1		31,3		
Método 2		33		
Método3		40		
Radiaciones del lugar en los diferentes meses del año según las inclinaciones a estudio				
MES / INCLINACION	31,3	33	40	
Enero	3,230	3,310	3,480	
Febrero	3,930	3,960	4,090	
Marzo	5,750	5,690	5,760	
Abril	5,690	5,470	5,390	
Mayo	6,560	6,300	6,080	
Junio	6,940	6,730	6,420	
Julio	7,100	6,970	6,680	
Agosto	6,930	6,920	6,760	
Septiembre	5,840	5,880	5,890	
Octubre	4,560	4,640	4,760	
Noviembre	3,180	3,260	3,400	
Diciembre	2,520	2,560	2,690	

Fuente: (Hernandez, 2012)

A continuación la hoja Excel muestra tres apartados que son capaces de realizar, basándose en los datos introducidos por el usuario, el dimensionamiento de la instalación para que el usuario pueda visualizar y elegir el método de ajuste (en **d** Días de diario con ocupación parcial, en **f** Fines de semana ocupación completa o en **d** Días de diario con ocupación parcial más **f** Fines de semana con ocupación completa) del que se va a hacer uso en la casa rural y con esos datos se realizará el estudio de los componentes fotovoltaicos que van a ser parte

de la instalación. En la Figura 3 vemos un ejemplo de un dimensionamiento para **f**Fines de semana con ocupación completa.

Tabla 3. Dimensionamiento para **f**Fines de semana con ocupación completa.

Consumo fin de semana		3737,429 Wh	
Número de paneles solares para cada mes del año según el ángulo			
MES / INCLINACIÓN	31,3	33	40
Enero	6,950	6,782	6,450
Febrero	5,712	5,668	5,488
Marzo	3,904	3,945	3,897
Abril	3,945	4,104	4,165
Mayo	3,422	3,563	3,692
Junio	3,234	3,335	3,496
Julio	3,162	3,221	3,360
Agosto	3,239	3,244	3,321
Septiembre	3,844	3,818	3,811
Octubre	4,923	4,838	4,716
Noviembre	7,059	6,886	6,602
Diciembre	8,908	8,768	8,345
	8,908	8,768	8,345
Dimensionado de la instalación			
Nº mínimo paneles solares		8,345	
Nº total de Paneles a instalar		9	
Corriente soporta regulador (Ir)		54,252 A	
Capacidad nominal batería estacional		37374,286 Wh	
		1557,262 Ah	

Fuente: (Hernandez, 2012)

Por último, la hoja Excel obtendrá el diseño final de la instalación y su coste total para los tres métodos de ajuste de potencia comentados anteriormente. Para ello, el usuario introducirá los datos requeridos sobre los elementos que componen un sistema fotovoltaico, para que la hoja de Excel realice los cálculos pertinentes. La figura 4 es un ejemplo de una instalación para **d**Días de diario con ocupación parcial más **f**Fines de semana con ocupación completa.

Tabla 4. Diseño de una instalación para días de diario más fines de semana completos.

Módulo Fotovoltaico		Inversor	
Modelo del módulo	TAV PV 185	Modelo del inversor elegido	phoenix C24/5000
Potencia máxima	185 Wp	Precio del inversor	2.491,61 € Euros
Voltaje a potencia máx	36,6 V	Número de inversores	1
Corriente cortocircuito	5,48 A	Precio Total	2.491,61 € Euros
Precio del panel	485 Euros	Batería estacionaria	
Nº de paneles	12	Capacidad nominal que debe tener	3007,462054 Ah
Precio Total	5820 Euros	Tensión nominal de la instalación	24 V
Regulador de Carga		Modelo de la batería elegida	TAB 20 OPzS 2500
Corriente que debe soportar	72,336 A	Capacidad de la batería elegida	3750 Ah
Modelo del regulador elegido	Esteca Solarix 2401	Tensión de la batería elegida	2 V
Corriente del regulador elegido	40 A	Precio de la batería elegida	932 Euros
Precio del regulador elegido	174 Euros	Número de baterías	12
Número de reguladores	1,8084	Número de baterías a instalar	12
Número de reguladores a instalar	2	Precio Total	11184 Euros
Precio Total	348 Euros	Coste total de la instalación	
		19843,61 Euros	

Fuente: (Hernandez, 2012).

Una vez introducidos los datos en la herramienta de cálculo en Excel, el usuario puede modificar los datos de los componentes para reducir elementos o coste de la instalación. Para realizar el estudio eólico, se usarán los datos facilitados por el Instituto Nacional de Meteorología, que nos mostrará la velocidad del viento en los diferentes meses del año. Con esos datos se calcula la velocidad media del viento mensual y se estudiará qué aerogeneradores pueden abastecer la casa rural.

Antecedente 2.

INSTITUCIÓN: Universidad Austral de Chile

TÍTULO: Análisis de un sistema de iluminación, utilizando ampolletas de bajo consumo y alimentado por paneles fotovoltaicos

AUTOR: Danilo Osvaldo Pérez Garrido

FECHA: 2009

Este proyecto se enfoca en el diseño más adecuado para un sistema fotovoltaico, utilizando ampolletas Led de bajo consumo.

Destaca el uso consiente de energía ya que disminuir el consumo energético provoca un ahorro en la economía del hogar y de igual manera contribuye con el planeta a disminuir las emisiones de gases del efecto invernadero, una de las principales causas del calentamiento global.

Especifica las tecnologías de fabricación de las celdas fotovoltaicas. Los cuales son los siguientes:

Silicio Monocristalino: ~~f~~Fabricados ~~a base coen~~ base ~~ena~~ láminas de un único cristal de muy alta pureza y estructura cristalina casi perfecta. La eficiencia de estas celdas ha llegado al 24,7% en laboratorio y un 16% en paneles comerciales.

Silicio policristalino: ~~f~~Fabricadas por un proceso de moldeo, fundiendo el silicio y vertiéndolo sobre moldes. Una vez seco el material se corta en láminas delgadas. El proceso de moldeo es más barato que el monocristalino pero es menos eficientes, debido a que quedan pequeñas imperfecciones en la superficie de los paneles. Su eficiencia alcanza valores de 19,8% en laboratorios y 14% en paneles comerciales.

Silicio amorfo: ~~s~~Se fabrica depositando silicio un substrato de vidrio de un gas relativo. Es el proceso de fabricación más económico de todos alcanzando una eficiencia en laboratorio alrededor de 13% y entre 5 y 10% en paneles comerciales.

Esta información se usará para escoger ~~qu~~é panel será el más apropiado en términos de eficiencia y que se ajuste al presupuesto del diseño.

Antecedente 3.

INSTITUCIÓN: Universidad Nacional Autónoma de México

TÍTULO: Viabilidad técnica y económica de un sistema de autoabastecimiento eléctrico para un supermercado con base en generación solar fotovoltaica. Caso de estudio Wal-Mart “Nichupté” ubicado en el Estado de Quintana Roo.

AUTORES: Lechuga Xoconostle Pablo Leopoldo, Llanos Rivas Rogelio, López Cruz Isaías, López Madrigal Christian Guadalupe, Soto Jacinto Venus Jazmín.

FECHA: 2013

En esta tesis se analiza la viabilidad técnica de la implementación de la instalación solar fotovoltaica cuyo objetivo primordial es el de autoabastecer al supermercado denominado Wal-Mart Nichupté, para esto se hace una propuesta de la instalación fotovoltaica, primeramente se elige un panel solar que preferentemente entregue la mayor cantidad de potencia posible y que sea de fácil acceso en el mercado, además de esto se debe tener especial cuidado de que el panel pueda adecuarse al tipo de ambiente en el lugar, es necesario tener en cuenta el área en donde se instalen dichos paneles, en este caso la azotea y el estacionamiento del inmueble, con esta información se obtiene el número total de paneles que es posible instalar. Otro punto que se debe tener en cuenta son los consumos energéticos de la tienda y la cantidad de energía que son capaces de entregar los paneles solares, la cual depende de la radiación solar, la temperatura del sitio y la latitud del lugar que dista el ángulo con que estos se deben instalar. Tanto la irradiación solar como la temperatura dependen de la posición del Sol a lo largo del día y durante las diferentes estaciones del año. El análisis del consumo energético de la tienda se realiza mediante recibos mensuales de facturación eléctrica de la compañía suministradora (CFE) pertenecientes a la tienda. Se estudia también el comportamiento del panel solar al variar la radiación y la temperatura a la cual se expone, este análisis se hace hora por hora y día con día, para así obtener una generación total mensual y posteriormente hacer un análisis financiero con respecto a los consumos mensuales de la tienda. Para el dimensionamiento del equipo y conductores ~~para~~ utilizar para la interconexión de los diversos elementos, es necesario tomar en cuenta la potencia máxima generada por el arreglo solar fotovoltaico,

así como considerar el rango de operación del inversor a utilizar para realizar una correcta planificación del arreglo para instalar.

Entre otros beneficios cabe destacar que un sistema solar fotovoltaico tiene una vida relativamente larga de aproximadamente 25 años garantizada por los fabricantes, además de que su instalación es sencilla, el costo de mantenimiento y operación requerido es mínimo, especialmente cuando en la instalación no se usan seguidores, ya que no se cuenta con partes móviles. El principal objetivo de esta tesis es autoabastecer el consumo eléctrico de un supermercado a través de la energía solar fotovoltaica, se concluye que no fue posible lograrlo ya que el número de paneles solares no es suficiente. La instalación fue proyectada en el techo y el estacionamiento de la tienda, para el techo se cuenta con una superficie de aproximadamente 9,630 m² (a este espacio hay que restarle los equipos de aire que se encuentran ubicados en el mismo), en dicha superficie se proyectó instalar 1,638 paneles solares; para el estacionamiento se proyectó la instalación de 1,807 paneles solares en una superficie de aproximadamente 10,064.52 m², como se observa el espacio fue una de las más grandes limitantes para autoabastecer la tienda, ya que se deben considerar las distancias necesarias para evitar sombras entre arreglos, además de que serían necesarios más paneles solares y por consiguiente una mayor superficie para lograr autoabastecer el consumo eléctrico total de la tienda. Se evaluó un total de 3,445 paneles solares en un área de 19,694 m² con una capacidad total de instalada de 1.4469 MWp por hora, con una inversión de \$28,499,304.33. A pesar de que el autoabastecimiento no se logró, se obtuvo un ahorro bruto anual de \$4,986,676.69, este ahorro no es del nada despreciable, ya que al realizar el análisis económico de la instalación se observa que los indicadores económicos son favorables.

En este punto cabe destacar que para que el proyecto no alcance números rojos y resulte económicamente viable es necesario cuidar que la generación no disminuya más del 13 %, es fácil lograr esto dando un buen mantenimiento a la instalación, otro factor en el que hay que tener especial cuidado es en el precio de los elementos que componen la instalación, éstos no se deben elevar más allá del 13 % o resultaría en un proyecto no rentable. Un factor que no se puede controlar y que también fue estudiado es la variación del precio de la energía, el proyecto se vuelve sensible a éste cuando se incrementa su valor más allá del

21%. En el análisis económico se observa la importancia de obtener un financiamiento con una tasa de interés moderada (9.5%) y un apalancamiento de aproximadamente el 70%, ya que al variar cualquiera de estos dos factores el período de recuperación de la inversión se vuelve más prolongado, resultando en un proyecto menos atractivo. Desde el punto de vista de la viabilidad técnica se concluye que Cancún es una ciudad con un potencial solar muy elevado, lo cual resulta muy ventajoso al aprovechar la irradiación solar para obtener energía eléctrica; al hacer el dimensionamiento de la instalación es importante tomar en cuenta las recomendaciones de los fabricantes y tener en cuenta que una de las principales limitantes para la instalación será el inversor fotovoltaico elegido, debido a que estos cuentan con un rango de voltaje mínimo de operación, es necesario considerar también el equipo de medición y control que deberá ser implementado, el equipo de control es muy importante porque gracias a éste se puede tener una radiografía de la manera en que la instalación solar fotovoltaica está funcionando y en caso de alguna anomalía, ~~ésta~~ pueda ser arreglada antes de que cause daños mayores, el equipo de medición es necesario para instalaciones interconectadas a la red como es nuestro caso para tener una noción de cuánta energía se inyecta y cuánta se consume de ella. Finalmente cabe aclarar que en la instalación fotovoltaica propuesta no se hace uso de bancos de baterías, en su lugar se usa la misma red para almacenar la energía sobrante y posteriormente se recupera para su uso.

Para interconectar el sistema fotovoltaico con la red es necesario llevar a cabo diversos trámites y gestiones antes diversas instituciones, principalmente la CRE, CFE y en este caso el municipio de Benito Juárez, en el que se encuentra ubicada la tienda, lo que vuelve atractivo al proyecto en este punto es que de acuerdo al artículo 56 bis de la Ley Federal de Derechos éstos trámites no tienen costo alguno por tratarse de energías renovables, sumándose a esto que uno de los apoyos que el Estado da a este tipo de proyectos es la depreciación acelerada (establecida en el art. 40 de la Ley de Impuestos sobre la Renta), que cuando se aplica difiere el pago de impuestos y libera el flujo de efectivo.

Antecedente 4.

INSTITUCIÓN: Calamita System Peru.

TÍTULO: Instalación solar fotovoltaica conectada a la red sobre la azotea.

AUTORES: Israel Blanco Sardinero.

FECHA: 2009

Este proyecto tuvo como principal objetivo cambiar el modelo de desarrollo económico actual con base en el uso intensivo de recursos energéticos de origen fósil, los cuales provocan impactos medioambientales negativos y desequilibrios socioeconómicos, por lo cual obligan a buscar un nuevo modelo de desarrollo sostenible.

El documento contiene información importante, como la relativa a la orientación de los paneles en el momento de su instalación, para que estos capten la mayor cantidad de radiación solar en el transcurso del día. La captación de radiación solar se intensifica si se colocan hacia el sur. Pero si el lugar de la instalación tiene dificultades de radiación al sur se puede calcular por el ángulo llamado *azimut a*, que es el ángulo que forma la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar. Los valores típicos son 0o para los módulos al sur, -90° para módulos orientados al este y +90° para módulos orientados al oeste.

Este modelo también explica el cálculo de la inclinación óptima de los paneles solares, estos se obtendrán mediante el método de “mes peor”, el cual se considera el mes de menor radiación captada por los paneles. Para utilizar este método se debe tomar en cuenta el periodo en el cual se utilizará la instalación solar fotovoltaica. Debe decidirse si se explotará en verano, en invierno o durante todo el año, y determinarse la latitud del emplazamiento en donde estarán instalados los paneles solares. Además, se menciona un mantenimiento preventivo consistente en hacer inspecciones visuales en los instrumentos importantes de la instalación: inversor, panel solar y dispositivos de protección, y efectuar la limpieza de la superficie de los paneles.

Antecedente 5.

INSTITUCIÓN: Universidad Nacional “Pedro Ruiz Gallo”, (Perú).

TÍTULO: “Energía Eólica y Solar Fotovoltaica para generar energía eléctrica en el caserío Lushcapampa en Chota departamento de Cajamarca”

AUTOR: David Santos Villalobos

FECHA: 2019

En esta tesis la energía promedio diaria proyectada para el caserío Lushcapampa es de 49,432 KWh/día para 28 viviendas y 01 local comunal. La máxima demanda es de 16, 844 KW. Para el mes crítico el aerogenerador aporta el 49,72% de la energía a la carga mientras que el generador fotovoltaico el 50,28 % restante. En el mes de agosto de mayor velocidad de viento el aerogenerador aporta el 85,4% y el generador fotovoltaico el 14,6%.

Se obtuvo los datos de velocidad y dirección del viento de la estación meteorológica Huambos, para determinar los meses críticos de velocidad, luego se ha obtenido datos de las estación meteorológica automática Huambos de los mes de enero y agosto en los cuales la velocidad del viento es menor y mayor respectivamente con lo cual se obtuvo los parámetros de la distribución de WEIBULL. Con respecto de la radiación solar se obtuvo los datos de radiación solar promedio mensual donde según la NASA se ha obtenido un valor de 4,35 kWh/m²/día y, según el SENAMHI (Atlas 2003) se ha obtenido un valor de 4,75 kWh/m²/día. De estos valores se ha considerado el menor es decir 4,35 kWh/m²/día para el dimensionamiento del sistema híbrido eólico solar fotovoltaico.

Se dimensionó y seleccionó los equipos para el sistema híbrido eólico solar fotovoltaico el cual está compuesto por 01 aerogenerador ENAIR 30 PRO de 3 kW, 40 paneles fotovoltaicos de la marca SIMAX de 190 Wp, la potencia del generador fotovoltaico es de 7,6 kWp, 24 baterías de acumuladores ROLLS de 503 Ah, 02 controladores de carga VICTRON ENERGY 150/85 y 02 inversor 140 Must Solar 48/10 000-230 V, conductores eléctricos para la red secundaria 1x16/25 y 2x16/25.

Antecedente 6.

INSTITUCIÓN: Universidad Nacional del Santa

TÍTULO: "Estudio y dimensionamiento de un sistema híbrido Eólico Solar para el alumbrado de las vías y el cerco perimétrico del campus Universitario de la Universidad Nacional del Santa"

AUTORES: Medina Sánchez, Juan Pablo Chávez Soto, Juan Carlos

FECHA: 2014.

En esta tesis el 17% de la energía demandada por el campus universitario correspondiente a la energía requerida por la iluminación de las vías y el cerco perimétrico, serán suplidas por el sistema híbrido eólico solar.

La velocidad de viento promedio medido a una altura de 12 metros (altura a la que trabajaron con el aerogenerador seleccionado), en el campus de la Universidad Nacional del Santa es de 5 m/s, con una velocidad menor de 1 m/s y una velocidad máxima de 9 m/s. Los valores de irradiación mensual fueron obtenidos según la base de datos de la NASA con promedio anual por día de 5.22 kWh/m².

Mediante uso de la Distribución de Probabilidades de Weibull y las curvas características del aerogenerador seleccionado, se determinó el potencial eólico que se aprovechará para el alumbrado de las vías y el cerco perimétrico del campus de la UNS, y es de 129 100.25 KWh/año.

El cálculo de potencial solar está directamente relacionado con el NHE (Número de Horas Efectivas de radiación), esto para nuestro sistema considera el mes de radiación más bajo con un valor de 4.51kWh/m²/día, generando una energía aproximada de 14 356.16 kWh/año. La energía que demanda la iluminación de las vías y el cerco perimétrico es de 115 143,54 kWh/año, con una demanda de potencia de 26,3 kW, y la energía necesaria que generará el sistema híbrido es de 137 076,07 con una potencia de generación de 31,3 kW.

Los equipos que se dimensionaron para formar un sistema de generación híbrido eólico y solar ~~se detallan~~ consta de 5 aerogeneradores Marca Aeolos Modelo H-10 kW, 34 paneles fotovoltaicos Marca Yingle Modelo YGE 285, 34 Baterías Marca RITAR POWER modelo RA12-F16, 7 controladores de carga de 60A, 2 Inversores de Cargar Modelo LC-2500-24.

Antecedentes Nacionales.

Antecedente 1.

INSTITUCIÓN: Universidad Internacional de las Américas

TÍTULO: Estudio de implementación de nuevas tecnologías de generación de energía eólica en centros urbanos

AUTOR: Ing. Alex Soto Saborío

FECHA: Diciembre de 2009

Este trabajo de investigación presenta una serie de aspectos de gran importancia, como son las generalidades del viento, dentro de las cuales están el origen del viento, los principales sistemas de viento en el mundo, los regímenes de viento en Costa Rica (vientos sinópticos y vientos de meso escala), y los principales puestos de medición del viento en Costa Rica. Además, introduce conceptos de la energía eólica y su historia, reseñas de estudios de energía eólica en el mundo, componentes y clasificación de los molinos de viento, y teoría de las turbinas de viento o aerogeneradores eléctricos y su funcionamiento.

Dentro del análisis técnico de esta tesis se presentan estudios de energía eólica en Costa Rica. Se hace un análisis estadístico del viento en Costa Rica, así como también una selección estadística del sitio óptimo para estudio de falibilidad, y una representación matemática del régimen de vientos en general.

Además de la selección del aerogenerador más apto de acuerdo con las características del sitio escogido. Por último se hace todo un análisis económico del proyecto en el que se despliega el tamaño del proyecto, su costo de instalación, la generación anual estimada, el costo de operación y mantenimiento del proyecto y el análisis de costos en general. Como conclusiones importantes de esta tesis se destaca que existen sitios en el país en donde las velocidades del viento promedio son adecuadas para generar energía eléctrica eficientemente.

Establece que los sitios con mejores condiciones eólicas en donde existen registros de velocidad del viento son: Tejona (Arenal), Fortuna (San Carlos), Aeropuerto Juan Santamaría (Alajuela) y el Cerro de la Muerte (San José).

Asimismo, se determina que las velocidades más altas del viento registradas ocurren durante la estación seca, lo que implica que la energía eólica es un complemento de la energía hidráulica o solar. Durante el medio día es cuando se dan las velocidades más altas. Se estima, además, que el aerogenerador eléctrico que tendría un funcionamiento más eficiente bajo las mejores condiciones eólicas que se tienen en Costa Rica, según el programa de simulación de la empresa belga H.M.Z. Windmaster, es el de 300 KWh de capacidad. Del análisis económico realizado, luego de evaluar los costos de instalación y operación del proyecto a veinte años plazo, y de compararlos con los costos marginales de instalación futura para el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), además de los costos de operación y mantenimiento ponderados entre energía hidráulica y energía térmica por el mismo plazo, la conclusión más relevante es que el costo de producir con energía eólica sería 14% del costo de haberlo hecho con los métodos actuales del ICE. El uso de la energía eólica por parte del ICE se justifica como fuente de producción eléctrica en Costa Rica, por razones económicas y ecológicas sobre las fuentes hidráulicas y térmicas de producción. Una recomendación importante es que se instale una red de medición de velocidades de viento en el país, una vez localizados los puestos de medición en diferentes sitios, con base en un estudio realizado para efecto del aprovechamiento de esta fuente de energía, y no con propósitos climatológicos, como sucedía en ese entonces.

En esta tesis se utilizan las fichas técnicas de las turbinas eólicas que suministró el fabricante para determinar la potencia generada por ellas por medio de las curvas características. La potencia generada o potencia nominal varía, dependiendo de la velocidad media del viento en un lugar en específico.

Esta es una de las técnicas más relevantes y sencillas que se podrá utilizar en el desarrollo del sistema mixto de generación eléctrica.

Antecedente 2.

INSTITUCIÓN: Universidad de Costa Rica

TÍTULO: “Estudio de oportunidad de generación fotovoltaica para autoconsumo residencial en clientes de CNFL”

AUTOR: Ing. David Barrantes Quirós

FECHA: Julio 2014

Los estudios realizados por el autor de dicho documento se basan en el análisis de oportunidad para la instalación de sistemas fotovoltaicos a nivel residencial, en zonas donde la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) brinda sus servicios. Se consideran distintos puntos para realizar cálculos de retorno de la inversión y ahorro anual con las variantes de las tarifas eléctricas.

El autor hace referencia a la norma AR-NT-POASEN-2014 por ARESEP sobre la generación a pequeña escala para autoconsumo, en el cual se nombran aspectos técnicos y comerciales por considerar, así como los requisitos para optar por un sistema de este tipo, con la finalidad de llevar a cabo el proyecto de la forma más adecuada.

En este documento se nombran algunas normativas que se han de tener en cuenta al momento de diseñar un sistema fotovoltaico; estas hacen referencia a uso racional de la energía, limitaciones de acceso, costo de acceso a la red, entre otros.

Se brinda información muy importante y actualizada, sobre la radiación solar en Costa Rica y la estimación de radiación diaria, en el cual se cuenta con un mapa de radiación solar de Costa Rica emitido por el MINAE e IMN. También se brinda una fórmula para el cálculo de la radiación diaria.

Otros de los datos brindados por el autor en el documento es un número de casos sobre viviendas con cierto consumo de kWh, donde el sistema fotovoltaico suple cierto porcentaje de ese consumo total de las viviendas, además que se presentan los retornos de la inversión en cada caso. Al realizarse este proyecto en ubicaciones donde la CNFL brinda sus servicios y al ser zonas que no presentan las mejores condiciones de radiación solar y temperatura del país, el autor aclara que las ofertas se pueden mejorar respecto a tiempos

de recuperación de la inversión y mayores ahorros, si el proyecto se lleva a cabo en zonas donde las condiciones sean más adecuadas para instalar un sistema fotovoltaico y aprovechar más el sistema y así obtener mejores resultados económicos. También el autor aconseja conocer bien las temperaturas a las cuales va a trabajar el sistema fotovoltaico para obtener resultados más favorables y exacto.

Dicha información brindada por el autor sobre la radiación solar en Costa Rica y la estimación de radiación diaria por el MINAE e IMN, también aconseja conocer bien las temperatura que va a trabajar el sistema fotovoltaico estos datos importantes serán de ayuda al llevar a cabo el proyecto.

Antecedente 3.

INSTITUCIÓN: Universidad de Costa Rica

TÍTULO: Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada.

AUTOR: Carlos Roberto Prado

FECHA: 2008

El autor plantea como objetivo elaborar una propuesta para la implementación de un sistema fotovoltaico autónomo centralizado de generación eléctrica para la comunidad de la Isla Cartí, en el Golfo de San Blas, Panamá. El sistema deberá poder abastecer las cargas existentes, conectadas actualmente a un sistema eléctrico con una fuente térmica de generación. Dicha fuente se aprovechará como una fuente de respaldo para el sistema. En la primera parte se proponen como fuente de energía alternativa las celdas solares fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la radiación solar, y se explican varias ventajas y desventajas de este tipo de tecnología.

En la segunda parte del trabajo se analizan los cálculos de dimensionamiento de los componentes necesarios para la implementación, como son el voltaje de la instalación, el consumo eléctrico real, los paneles solares, las estructuras de soporte, los reguladores de carga, los inversores y la topología del sistema.

Son importantes también los históricos de irradiación solar en la zona en donde se desean instalar los paneles. Esto es de vital importancia en los diseños de este tipo ya que la eficiencia depende directamente de la cantidad de sol y de maximizar la cantidad de horas de exposición este.

Este proyecto será de gran ayuda para el cálculo de los componentes del sistema y como guía de diseño. Se deben conseguir los históricos de irradiación solar para sacar la eficiencia real de cada panel y con base en eso hacer los cálculos de potencia.

Antecedente 4.

INSTITUCIÓN: Universidad Internacional de las Américas.

TÍTULO: Diseño de un sistema de generación distribuida por medio de paneles fotovoltaicos en casas de habitación de alto consumo energético.

AUTOR: Ing. Norman Torres Loría.

FECHA: 2015.

Esta tesis consiste en el diseño de un sistema de generación distribuida por medio de paneles fotovoltaicos para casas de habitación, donde se inicia por definir el concepto de energías renovables, principalmente lo referente a energía solar debido al tema desarrollado, así como la eficiencia de los paneles solares.

El aspecto que más interesa de esta tesis es lo referente al diseño del sistema fotovoltaico, donde se detalla cómo calcular la potencia del sistema fotovoltaico, donde en su fórmula de cálculo se toma en cuenta el factor de pérdidas por temperatura, pérdidas varias y el factor de eficiencia del inversor. Seguido a esto se calcula el inversor, con lo cual se tiene datos suficientes para realizar el cálculo del costo mediante cotizaciones del sistema fotovoltaico propuesto en esta tesis.

En el análisis financiero realizado, se parte de la proyección de la energía generada por el sistema en un periodo de un año, con lo cual a partir del consumo promedio de la unidad de vivienda, se logra realizar un cálculo del ahorro mensual en colones en el recibo eléctrico, todo esto utilizado en el cálculo del periodo de retorno de la inversión.

Antecedente 5.

INSTITUCIÓN: Instituto Tecnológico de Costa Rica

TÍTULO: “Estudio de factibilidad, basado en el análisis de ciclo de vida, de un sistema de energía renovable para alimentar un punto de carga para recargar la batería de vehículos eléctricos en diferentes comercios de la zona de Monteverde”.

AUTOR: Juan Pablo Calvo Román.

FECHA: 2019

Un aspecto muy importante en este tipo de tesis es cuando se desean realizar este tipo de instalaciones es ubicarse con lo que dicta la ley, ya que de esto va a depender si se puede realizar la instalación o no. Para tomar en cuenta, los siguientes artículos nombrados son parte del reglamento para la generación distribuida.

Según el reglamento para la generación distribuida, (EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA Y EL MINISTRO DE AMBIENTE Y ENERGÍA, 2015), antes de comenzar con la instalación del sistema de energía renovable, la empresa distribuidora de electricidad debe realizar un estudio técnico sobre la capacidad máxima que se puede interconectar a la red para verificar que sí es viable y seguro realizar la instalación (Artículo 10 y Artículo 24). Para esto, la persona que a futuro va a producir electricidad con fuentes renovables (productor-consumidor, como lo nombra el reglamento) deberá llenar los siguientes formularios (Artículo 19, inciso a) para solicitar el permiso de la instalación y que se pueden encontrar en la página del ICE:

- a. GD 01. Solicitud de Cliente disponibilidad de la red
- b. GD 01P. Solicitud de Cliente Prórroga (Artículo 22)
- c. GD 02. Solicitud de Cliente documentación Técnica
- d. GD 03. Solicitud de Cliente inspección (Artículo 10)
- e. Contrato de interconexión para generación distribuida neta sencilla (Artículo 25).

En este caso, para la zona de Monteverde, el ente proveedor de electricidad es el ICE (Instituto Costarricense de Electricidad) y se debe cumplir con el contrato brindado por el mismo. El productor-consumidor utilizará la energía producida únicamente para su consumo y no la puede vender a externos (Artículo 13 y Artículo 20).

Además de entregar estos formularios, el productor-consumidor también deberá llenar la Boleta de solicitud de sellado de planos eléctricos, que se encuentra en la página del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA) en la sección de formularios, para solicitar la revisión del plano eléctrico de la instalación (Artículo 19, inciso c) y que será revisado por un ingeniero colegiado y visado por el CFIA.

Durante la operación del sistema, la energía producida y que no se consumió se puede inyectar a la red a cambio de que el productor-consumidor tenga “derecho de retirar hasta un máximo del cuarenta y nueve por ciento (49%) de la energía total generada, para utilizarla en el mes o meses siguientes en un periodo anual”, esto según el Artículo 34. Esta es la ventaja de la modalidad contractual de medición neta sencilla (Artículo 36 y Artículo 37). Caso contrario, si el productor-consumidor consume más de lo que produce, se le cobrará la diferencia según la tarifa impuesta por la ARESEP. Por otro lado, la ventaja que tiene el sistema fotovoltaico seleccionado es que su mantenimiento se basa prácticamente en solamente mantener limpias las superficies de los paneles fotovoltaicos empleando un paño húmedo. Esta tarea la puede realizar el personal de mantenimiento del comercio, teniendo el cuidado de realizar la limpieza en compañía de otra persona para evitar alguna caída. Además, según las empresas cotizadas y presentadas anteriormente, por lo general cada año el sistema eléctrico de la instalación fotovoltaica debe ser revisado por una persona calificada para verificar que las conexiones y el cableado se encuentren en buen estado y cumpla con las normas técnicas, del reglamento (EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA Y EL MINISTRO DE AMBIENTE Y ENERGÍA, 2015) y con el contrato de interconexión según el Artículo 27. Por supuesto, que esto va a depender de las condiciones ambientales en las que se encuentren los equipos, porque, pueden ser afectados por la humedad, o el polvo.

Antecedente 6.

INSTITUCIÓN: Universidad Internacional de las Américas.

TÍTULO: Diseño eléctrico para villas turísticas incluyendo paneles fotovoltaicos.

AUTOR: José Francisco Calderón Varela

FECHA: 2016

En esta tesis se obtuvo que para un consumo de 24,41 KWH por día, utilizando paneles de 315 Wp y buscando los que presenten una mayor eficiencia, se requieren solamente 18 paneles con un PR del 78,93 % aproximadamente, para generar esta energía por día y suplir la demanda definida.

Se concluye que en proyectos de tipo fotovoltaico, el análisis financiero es una herramienta muy útil con el fin no solo de ver el proyecto como un gasto, sino como un generador de ahorro, ~~como~~ una inversión que se pagará sola el transcurso del tiempo, como son los casos presentados en el presente trabajo donde en uno se obtiene un VAN de más de 9 millones, que nos indica que el proyecto es indudablemente rentable y un TIR de 21% que al haber utilizado una tasa de descuento del 7.5%, el mismo nos brindará un 14% de rendimiento.

En el caso estudiado en el presente trabajo, se concluye, que los sistemas fotovoltaicos planteados tanto para generar un 40% como un 80% de la demanda de energía de las instalaciones, presentan un retorno de inversión de entre 6 y 7 años, generando solo una parte de la energía consumida pueden seguir siendo rentables.

Unos de los aspectos relevantes que se debe definir es el porcentaje de generación adecuado o que se adapte a las necesidades específicas del mismo. Casos como el de la generación al 100% pretenden no solo generar la totalidad de la demanda energética en horas del día, sino también almacenar excedentes en la red, con el fin de tener energía disponible para las horas de la noche en las cuales el sistema no genera energía, o bien, en días nublados o lluviosos donde la generación del sistema disminuye.

Así pues, otro aspecto relevante en cuanto a este tema, es que cuanto mayor sea el porcentaje de la energía demandada que se quiere generar, mayor será el tamaño de nuestro

sistema, se requerirán mayor cantidad de paneles e inversores de mayor capacidad, por ende esto significa una mayor inversión inicial. Esto se puede observar en el presente trabajo, donde el costo del sistema para generar un 40% de la demanda de energía para el conjunto de edificios principales es de ¢7708044,8 y el costo del sistema para generar un 80% de la demanda de energía para el conjunto de edificios principales es de ¢15937070. En los casos en estudio, generando 40% y 80%, los análisis financieros son muy similares, con valores del TIR que presentan una diferencia de solo un 1%.

Es así que podemos concluir que el sistema que genera el 40% es el más adecuado para el proyecto, debido a que presenta una inversión inicial sensiblemente menor al caso donde se genera un 80% y aún más si se realizara un estudio al 100%, esto debido a que el proyecto no solo consta de la instalación de un sistema fotovoltaico, sino también de la construcción en la parte de obra civil y electromecánica, por tanto se cuenta con un presupuesto ajustado para su ejecución y es por esto que el sistema que genera el 40% es que más se adapta a dicho presupuesto.

**CAPÍTULO I:
DIAGNÓSTICO**

El proyecto se realizará en la provincia de Guanacaste, cantón de Hojancha, se encuentra ubicada específicamente en las coordenadas $10^{\circ}03'31''$ N, $85^{\circ}25'04''$ W. En esa ubicación se instalarán los paneles solares para la carga eléctrica del edificio, aplicando la distribución de autoconsumo aprobada por la ARESEP para energías renovables; además del diseño de un sistema en conjunto con una turbina eólica.

Figura 1. Ubicación satelital de la institución



Fuente: Google Earth

Los sistemas a los que se les suplirá energía son: equipos de computación, equipos de aire acondicionado, sistema de iluminación y tomacorrientes del edificio.

A continuación, se presentan algunas figuras del área en donde se planea instalar los equipos:

Figura 2. Imagen satelital del área disponible



Fuente: Google Earth

Las zonas de techo tienen en total un área aproximada de 1.311,52 metros cuadrados según la figura 2, más la zona de mini parqueo y el jardín.

En el área resultante se podrá instalar una cantidad de paneles fotovoltaicos y una turbina eólica que se espera que puedan conseguir un ahorro energético. Esto se determinará en el capítulo IV de este documento.

CAPÍTULO 2:
MARCO TEÓRICO

Energía solar

La energía solar es una energía renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol. La radiación solar que alcanza la Tierra ha sido aprovechada por el ser humano desde la antigüedad. En la actualidad, el calor y la luz del Sol puede aprovecharse por medio de diversos captadores como células fotovoltaicas, helióstatos o colectores térmicos, pudiendo transformarse en energía eléctrica o térmica. Es una de las llamadas energías renovables o energías limpias, que podrían ayudar a resolver algunos de los problemas más urgentes que afronta la humanidad.

La potencia de la radiación varía, según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. En condiciones de radiación aceptables, la potencia equivale aproximadamente a 1000 W/m^2 en la superficie terrestre. (Solar, 2016).

Tipos de radiación.

1. Radiación directa.

Es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización.

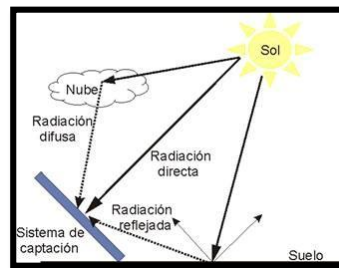
2. Radiación difusa.

Es aquella recibida de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de parte de la radiación del Sol en la misma. Esta energía puede suponer aproximadamente un 15% de la radiación global en los días soleados, pero en los días nublados, en los cuales la radiación directa es muy baja, la radiación difusa supone un porcentaje mucho mayor. Por otra parte, las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, mientras que las superficies verticales reciben menos.

3. Radiación reflejada.

Es aquella reflejada por la superficie terrestre, la cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no "ven" superficie terrestre, mientras que las superficies verticales son las que más reciben. (Carrillo, 2009).

Figura 3. Componentes de la radiación solar terrestre



Fuente: (Carrillo, 2009).

Conceptos importantes sobre energía solar.

1. Irradiancia.

La irradiancia es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética. En unidades del sistema internacional se mide en W/m^2 . (Irradiancia, 2021)

La potencia de la radiación solar varía, según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. En condiciones de radiación aceptables, la potencia equivale aproximadamente a $1000 W/m^2$ en la superficie terrestre.

Ecuación 1 Cálculo de Irradiancia

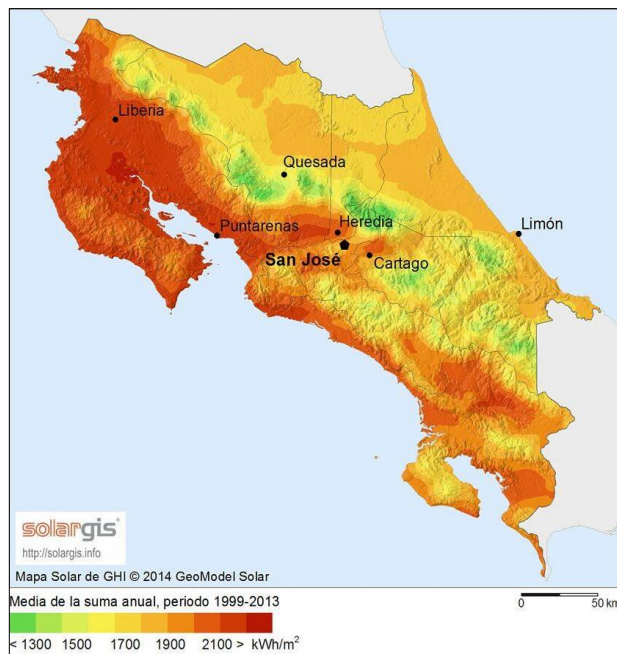
$$I = \frac{P_{inc}}{A_S}$$

Fuente: (Irradiancia, 2021)

P_{inc} = Potencia incidente

A_s = Área de la superficie en que incide la onda

Figura 4. Irradiación solar global en Costa Rica



Fuente: (Irradiancia, 2021)

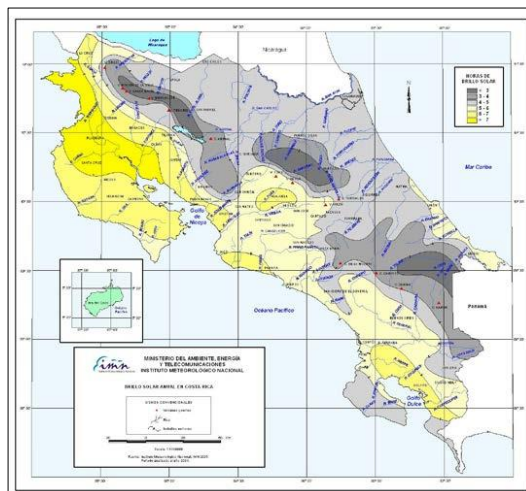
2. Insolación

La insolación es la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a un lugar de la Tierra en un día concreto (insolación diurna) o un año (insolación anual). (Insolación, 2021).

3. Heliofanía

La heliofanía representa la cantidad del brillo del sol y está ligada al hecho de que el instrumento utilizado para su medición, heliofanógrafo, que registra el tiempo en que recibe la radiación solar directa. La ocurrencia de nubosidad determina que la radiación recibida por el instrumento sea radiación solar difusa, interrumpiéndose el registro. Si bien, hay energía incidente disponible, la concentración o densidad de ésta no es suficiente para ser registrada. (Heliofanía, 2021).

Figura 5. Brillo Solar Anual de Costa Rica



Fuente: (IMN, Brillo solar anual de Costa Rica, 2013)

Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica consiste en la obtención de electricidad obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o bien, mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina.

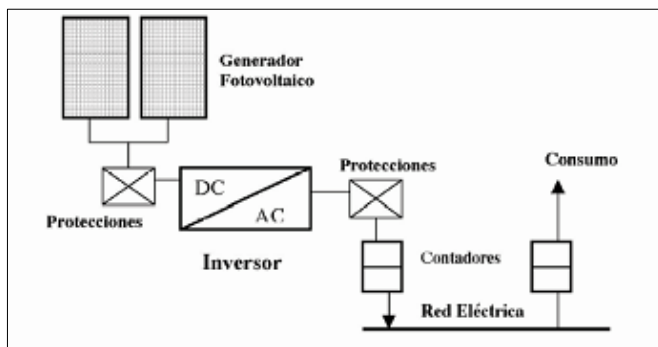
Con el avance de la tecnología actualmente, se ha visto una tendencia de que los precios de los componentes fotovoltaicos disminuyan, así como el aumento de su eficiencia y, por tanto, ha aumentado el uso de estos [en](#) los últimos años.

Esto también ha traído regulaciones en el uso de este tipo de sistemas con el fin de mantener el orden en la generación de energía.

Sistemas fotovoltaicos.

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de dispositivos que aprovechan la energía producida por el Sol y la convierten en energía eléctrica.

Figura 6. Sistema fotovoltaico conectado a la red



Fuente: (Cortez Valladares, 2017)

Principales componentes de los sistemas fotovoltaicos.

1. *Módulo fotovoltaico.*

Es la unión de varias células fotovoltaicas, es una asociación de células, encapsulada en dos capas de EVA (etileno-vinilo-acetato), entre una lámina frontal de vidrio y una capa posterior de un polímero termoplástico (normalmente tedlar). Este conjunto es enmarcado en una estructura de aluminio con el objetivo de aumentar la resistencia mecánica del conjunto y facilitar el anclaje del módulo a las estructuras de soporte. (Solar, 2016).

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

- a) Las células de silicio monocristalino están constituidas por un único cristal de silicio, normalmente manufacturado mediante el proceso Czochralski. Este tipo de células presenta un color azul oscuro uniforme.
- b) Las células de silicio policristalino (también llamado multicristalino) están constituidas por un conjunto de cristales de silicio, lo que explica que su rendimiento sea algo inferior al de las células monocristalinas. Se caracterizan por un color azul más intenso.

Las células de silicio amorfo. 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 solares como relojes o calculadoras. (Solar, 2016).

Los rendimientos típicos de una célula fotovoltaica de silicio policristalino oscilan entre el 14 %-20 %. Para células de silicio monocristalino, los valores oscilan en el 15 %-21 %. (Solar, 2016).

2. *Inversor Híbrido*

Los inversores híbridos están diseñados para poder aprovechar al mismo tiempo las diferentes fuentes de energía como son: energía fotovoltaica, eólica, red eléctrica y grupo electrógeno. (AutoSolar, 2021)

La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por

el usuario o el diseñador. Los inversores se utilizan para convertir la corriente continua generada por los paneles solares fotovoltaicos, en corriente alterna y de esta manera poder ser inyectados en la red eléctrica o usados en instalaciones eléctricas aisladas.

3. Medidor bidireccional.

Cuando se tienen dispositivos que producen o inyectan energía al sistema, es necesario un medidor bidireccional, el cual es capaz no solo de girar en el mismo sentido que los medidores convencionales, midiendo el consumo de la energía eléctrica de la compañía suministradora del servicio, sino que también, es capaz de girar en sentido contrario, restando al conteo de energía lo que se está generando y sumando a favor la energía en exceso. (Bidireccional, 2018).

4. Estructura soporte.

- a.* Estructuras móviles: El uso de seguidores solares a uno o dos ejes permite aumentar considerablemente la producción solar, en torno a 30% para los primeros y en 6% adicional para los segundos, en lugares de elevada radiación directa.
- b.* Estructuras fijas: Tienen una orientación e inclinación fija que se calcula a la hora de diseñar la instalación. Esta inclinación y orientación suele ser impuesta por la situación de las instalaciones, como tejados con una determinada inclinación y orientación; o bien, las óptimas para la localización del lugar en donde se va a realizar la instalación solar dependiendo de la latitud.

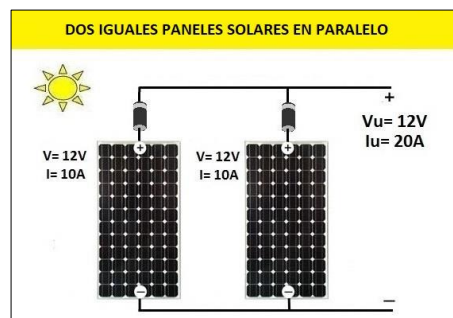
5. Cableado.

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 caída de tensión admisible y la intensidad máxima admisible. Para aumentar la potencia de la generación de los paneles solares existen tres tipos de cableado.

6. 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 7. Conexión de paneles solares en paralelo

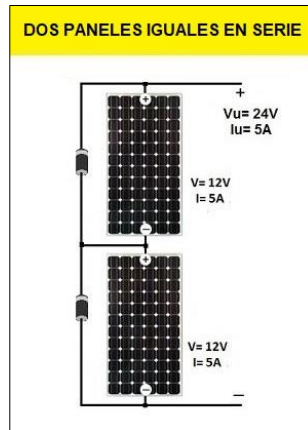


Fuente: (MpptSolar, 2016)

7. Conexión en serie.

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

Figura 8. Conexión de paneles solares en serie



Fuente: (MpptSolar, 2016)

Procedimiento para el cálculo de una instalación fotovoltaica.

1. Cálculo de consumo energético.

Ecuación 2. Consumo energético

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

Fuente: (Castejon, 2009)

Donde:

P: Potencia real de cada dispositivo

Hd: Horas diarias de uso del dispositivo

N: Número de dispositivos utilizados

2. *Hora solar pico.*

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

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

Ecuación 3. Conversión de hora solar pico

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

Fuente: (Castejon, 2009)

Se utiliza en el dimensionamiento de paneles fotovoltaicos.

3. *Número de paneles solares necesarios.*

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

Ecuación 4. Número de paneles solares

$$\text{NP} = \text{E} / (0,9 * \text{Wp} * \text{HSP})$$

Fuente: (Castejon, 2009)

Donde:

Np: Es el número de paneles solares necesarios

E: Es el consumo energético real

Wp: Es la potencia pico del panel

HPS: Son las horas pico solares

También se puede utilizar otra fórmula:

Ecuación 5. Número de paneles solares con rendimiento energético

$$NP = E / (Pr * Wp * HSP)$$

Fuente: (Castejon, 2009)

Donde:

Np: Es el número de paneles solares necesarios

E: Es el consumo energético real

Wp: 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:

- a) Pérdida por dispersión de potencia de los módulos.
- b) Pérdida por incremento de temperatura de las células fotovoltaicas.
- c) Pérdida por acumulación de suciedad.
- d) Pérdida por sombra.
- e) Pérdida por degradación de los módulos
- f) Pérdida eléctrica.
- g) Pérdida por reflectancia.

Otra ecuación:

Ecuación 6. Cantidad de paneles solares

$$cp = \frac{Ar}{Pp}$$

Fuente: (Castejon, 2009)

Donde:

Cp: Cantidad de paneles

Pp: Potencia del panel fotovoltaico

Ar: Potencia total del arreglo de paneles

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

Ecuación 7. Potencial total del arreglo de paneles

$$Ar = \frac{1200 * Ed}{Id}$$

Fuente: (Castejon, 2009)

Donde:

1200: Factor compensación de pérdidas

Ed: Potencia por cubrir (KWh/día)

Id: Irradiación de la zona diaria (KWh/m2)

4. Promedio de la Radiación Solar

Aunque los datos TMY se utilizan comúnmente para la simulación de sistemas fotovoltaicos, el promedio de la radiación solar diaria en una localidad en un mes determinado es a menudo suficiente para un análisis básico del sistema. Estos datos se pueden presentar ya sea medida en la horizontal o medida con la superficie de medición perpendicular a la radiación solar (correspondiente a un sistema que sigue el sol). En cualquier caso, con el fin de determinar la cantidad de radiación solar disponible en un módulo PV, una dependencia angular adicional tendrá que ser incorporada para considerar la inclinación del módulo.

4.5. Inclinación de placas solares.

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

Sin embargo, encontrar el ángulo correcto de los paneles no es fácil ya que la luz solar no es constante en nuestro planeta. Varía en función de la latitud del lugar y de la época del año de observación. En el hemisferio norte del Planeta el sol está bajo en el horizonte a medida que se avanza hacia el norte.

Además, en los meses de invierno el sol es particularmente menor que en los meses de verano. Lo contrario sucede en el hemisferio sur.

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

Ecuación 8. Ángulo de inclinación máxima en grados

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

Fuente: (Castejon, 2009)

Donde:

I_m: Es la inclinación máxima en grados

Φ: Es la latitud del lugar de la instalación.

5.6 *Cálculo de 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 que utiliza la fuerza del viento para generar energía eléctrica. Para ello se hace uso de los aerogeneradores, los cuales mueven una turbina y consiguen transformar la energía cinética del viento por energía mecánica. La cantidad de energía que se puede obtener está en función del tamaño del «molino». A mayor longitud de las aspas, se obtiene más potencia y por lo tanto más energía. El tamaño de estos modernos molinos de viento suele variar, ya que existen

unidades que van desde los 400 W y un diámetro de 3 metros. Utilizados para el uso doméstico de las casas, hasta los aerogeneradores comerciales instalados por empresas de electricidad que llegan a tener una potencia de 2,5 MW y 80 m. de diámetro de aspas.

Para poder aprovechar la energía eólica es importante conocer las variaciones diurnas, nocturnas y estacionales de los vientos; la variación de la velocidad del viento con la altura sobre el suelo, la entidad de las ráfagas en espacios de tiempo breves, y los valores máximos ocurridos en series históricas de datos con una duración mínima de veinte años. Es también importante conocer la velocidad máxima del viento. Para poder utilizar la energía del viento es necesario que este alcance una velocidad mínima de 12 km/h, y que no supere los 65 km/h. (Twenergy, 2019).

Principales componentes de los sistemas Aerogeneradores.

Los componentes internos de un aerogenerador son los siguientes:

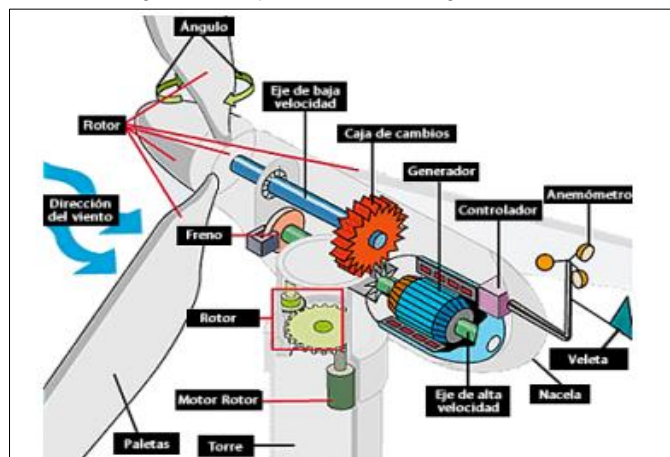
1. **Eje principal:** Une el rotor con la multiplicadora.
2. **Multiplicadora:** Quizás el elemento mecánicamente más complejo de un aerogenerador. No todos los aerogeneradores disponen de este elemento.
3. **Equipamiento eléctrico:** Generador eléctrico, transformador, cuadros eléctricos y cableados.
4. **Sistema de control:** Encargado de arranque, parada, orientación, paso de palas, etc. Suele mantener comunicación con una base de control.
5. **Mecanismos auxiliares.** Cumplen determinadas funciones: bloqueo del rotor, el bloqueo del sistema de orientación de la góndola, el mecanismo de orientación de la pala, el mecanismo de orientación de la góndola, los diversos sistemas de lubricación de los elementos cuya fricción necesita ser reducida, y los medios de elevación.

Los componentes externos de un aerogenerador son los siguientes:

1. **Cimentación:** La sujeción del aerogenerador.
2. **Torre:** Une la cimentación con la góndola y sirve de soporte de ésta, además de soportar algunos elementos interiores como el elevador, la escalera de acceso o los cables interiores.
3. **Góndola:** Donde se alojan todos los elementos interiores.

4. **El buje:** Une las palas del rotor y aloja en su interior el sistema de orientación de palas o sistema de cambio de paso.
5. **Las palas:** Son el elemento de mayor longitud del aerogenerador, y son las responsables de la conversión de energía cinética del viento en energía cinética en el rotor.
6. **Estación meteorológica:** Sensores que miden temperatura, velocidad y dirección del viento, y presión atmosférica.
7. **La baliza de señalización de posición:** Para indicar la presencia de un elemento de gran altura a aeronaves y otros elementos volantes.
8. **El pararrayo:** Tiene como misión capturar la energía generada en descargas eléctricas atmosféricas y conducirlas a tierra.

Figura 9. Componentes de un Aerogenerador



Fuente: (Tecnología, 2009)

Clasificación de los aerogeneradores

Los aerogeneradores pueden clasificarse según varios criterios, siendo los más habituales los siguientes:

- a. De acuerdo con la potencia generada
- b. De acuerdo con la orientación al viento

- c. De acuerdo con la dirección del eje
- d. De acuerdo con el tipo de torre

1. Aerogeneradores según la potencia

De acuerdo con el criterio de potencia, se pueden distinguir los siguientes tres tipos de aerogeneradores o turbinas eólicas:

- a. Turbinas de baja potencia
- b. Turbinas de media potencia
- c. Turbinas de alta potencia

2. Aerogeneradores según la posición del eje

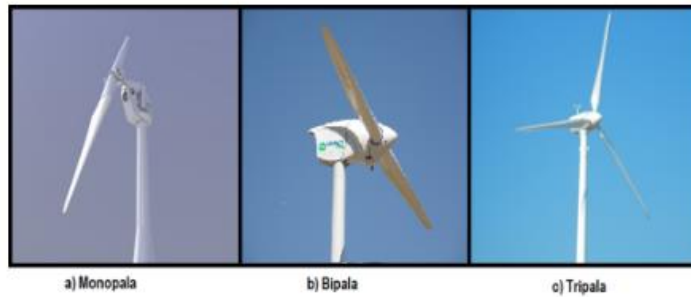
Los aerogeneradores se pueden clasificar en dos grandes grupos, dependiendo de la posición del eje de giro de los aerogeneradores respecto a la dirección del viento:

- a. Aerogeneradores de eje vertical
- b. Aerogeneradores de eje horizontal

3. Clasificación de los aerogeneradores de eje horizontal de acuerdo con el número de palas

- a. Monopala
- b. Bipala
- c. Tripala

Figura 10. Aerogenerador de eje horizontal con el número de palas



Fuente: (Tecnología, 2009)

Comentado [RPA1]: Tildar tecnología

4. Clasificación de los aerogeneradores de eje horizontal de acuerdo con la orientación al viento

- a. Orientación a barlovento
- b. Orientación a sotavento

Figura 11. Orientación al viento



Fuente: (Tecnología, 2009)

5. Clasificación de los aerogeneradores de eje horizontal de acuerdo con el tipo de torre

De acuerdo con el tipo de torre, los aerogeneradores de eje horizontal pueden clasificarse de acuerdo con los siguientes tipos:

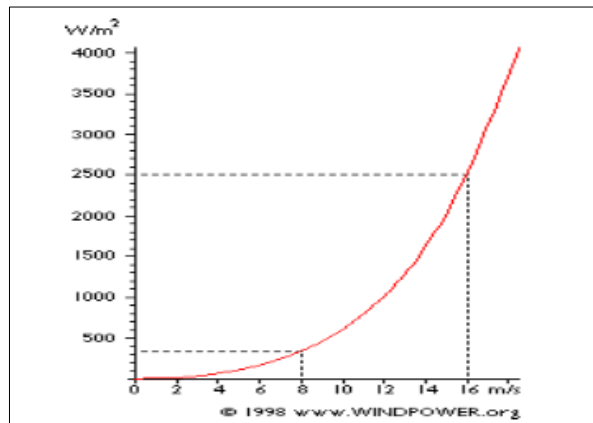
- a. Torres de celosía

- b. Torres de acero tubular
- c. Torres de hormigón

La potencia del viento.

La velocidad del viento es de suma importancia para la cantidad de energía que se desea transformar en electricidad. La cantidad de energía que posee el viento varía con la tercera potencia de su velocidad media.

Figura 12. La potencia del viento



Fuente: (Windpower, 2016)

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

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

La potencia del viento es la que se obtiene de la siguiente ecuación:

Ecuación 9. Potencia del viento

$$P = 1/2 * \rho * v^3$$

Fuente: (Windpower, 2016)

Donde:

P = potencia del viento medida en vatios (W).

ρ = densidad del aire seco = 1.225 medida en kilogramos por metro cúbico, a la presión atmosférica promedio del nivel del mar y a 15° C (Kg. /m³).

v = velocidad del viento medida en metros por segundo (m/s).

La potencia del viento que pasa perpendicularmente por un área circular:

Ecuación 10. Potencia del viento en un área circular

$$P = 1/2 * \rho * v^3 * \pi * r^2$$

Fuente: (Windpower, 2016)

P = potencia del viento medida en vatios (W).

ρ = densidad del aire seco = 1.225 medida en kilogramos por metro cúbico, a la presión atmosférica promedio del nivel del mar y a 15° C (Kg. /m³).

v = velocidad del viento medida en metros por segundo (m/s).

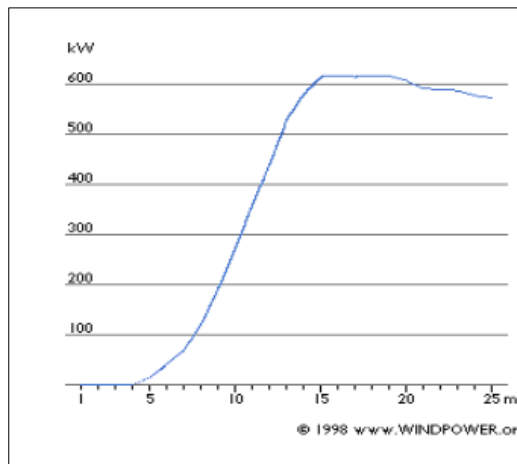
π = 3.1415926535...

r = radio del rotor medido en metros (m).

Curva de potencia de un aerogenerador.

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

Figura 13. Ejemplo de curva de potencia de un aerogenerador de 600KW con velocidades en m/s



Fuente: (Windpower, 2016)

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

En realidad, en el gráfico puede verse una nube de puntos esparcidos alrededor de la línea azul, y no una curva bien definida.

El motivo es que en la práctica la velocidad del viento siempre fluctúa, y no se puede medir exactamente la columna de viento que pasa a través del rotor del aerogenerador.

Así, pues, en la práctica se debe tomar un promedio de las diferentes medidas para cada velocidad del viento, y elaborar el gráfico con esos promedios.

Además, es difícil obtener medidas exactas de la propia velocidad del viento. Si se tiene 3% de error en las mediciones de la velocidad del viento entonces la energía del viento puede

ser 9% superior o inferior (recuerde que el contenido energético varía con la tercera potencia de la velocidad del viento).

En consecuencia, pueden existir errores hasta de $\pm 10\%$, incluso en curvas certificadas.

Recuérdese que el contenido de energía varía fuertemente con la velocidad del viento, tal como se vio en la sección sobre la energía en el viento.

Por lo tanto, es muy importante la forma en que se ha llegado a ese promedio, es decir, saber si los vientos varían mucho o si soplan a una velocidad relativamente constante.

También puede recordarse el ejemplo en la sección sobre la función de densidad de potencia, en que la mayor parte de energía eólica está disponible a las velocidades del viento, que son del doble de la velocidad del viento más frecuente en dicho emplazamiento.

Finalmente, debe tenerse en cuenta el hecho de que la turbina puede no estar girando a la temperatura y presión de aire estándar, y, consecuentemente, hacer correcciones de los cambios en la densidad del aire.

Sistema Fotovoltaico con Sistema Eólico (Sistema Híbrido)

Un sistema “híbrido” permite combinar dos tipos de energía diferentes para aprovechar al máximo los recursos del Sol y del viento, complementándose entre sí, el cual ofrece varias ventajas sobre cualquier sistema individual, siendo un enfoque alternativo para la producción de energía eléctrica libre de contaminantes.

Los sistemas híbridos: ‘fotovoltaicos’ y ‘eólicos’ constan de módulos fotovoltaicos y aerogeneradores para captar la energía. Debido a que los tiempos pico de operación para los sistemas eólicos y solares fotovoltaicos ocurren en diferentes momentos del día y del año, es más probable que los sistemas híbridos produzcan energía cuando la necesite.

Cuando una de las dos fuente de energía no está disponible (un día nublado o viento en calma), el sistema aún podrá proporcionar energía desde la fuente de energía alternativa.

Los sistemas fotovoltaicos requieren muy poco mantenimiento (limpieza cuando sea necesario). Los aerogeneradores solo necesitan un servicio periódico (inspección rotacional y lubricación de las piezas móviles).

El Instituto Meteorológico Nacional (IMN)

El IMN es una institución adscrita al Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), es un ente científico que tiene a cargo la coordinación de todas las actividades meteorológicas y climatológicas del país.

Recopila, estudia y analiza la información meteorológica y climatológica que mide y registra la red de estaciones del Instituto en el país, así como información necesaria para la preparación de estudios e investigaciones, el cual nos servirá para la obtención de datos como la radiación solar en Hojancha Guanacaste y la obtención de datos de velocidad del viento, densidad etc.

La estación de medición más cercana a la Municipalidad de Hojancha es la Estación Meteorológica Asada de Pilangosta y Santa Marta.

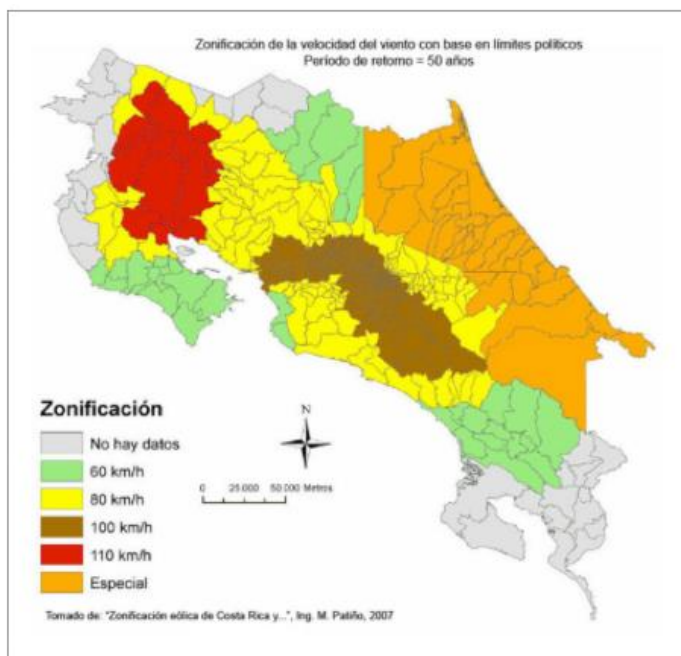
Figura 14. Condiciones Meteorológicas de la estación de Pilangosta Hojancha



Fuente: (IMN, Estación Automática de Hojancha en Guanacaste, 2021)

Velocidades de vientos en Costa Rica

Figura 15. Mapa de velocidades de viento por zonas para Costa Rica con base en límites políticos para un período de retorno de 50 años



Fuente: (Patiño, 2007)

La provincia de Limón es catalogada como especial ya que es la zona más propensa a recibir los efectos de huracanes formados en el Atlántico, alcanza velocidades de 210 km/h.

Coopeguanacaste, R.L.

Es la cooperativa que brinda servicios eléctricos y comerciales a una vasta región del territorio de Guanacaste.

"Actualmente brindan servicios en 3696 kilómetros cuadrados en los cantones de: Santa Cruz, Carrillo, Nicoya, Hojancha, Nandayure, Guardia de Liberia y las comunidades peninsulares de: Lepanto, Jicaral y Paquera. Desarrollamos diversos proyectos para mejorar la calidad de vida de nuestros asociados y los habitantes de esta bella región.

Es una empresa líder en el desarrollo tecnológico, generación eléctrica a base de fuentes limpias, y renovables y soluciones para el hogar y la industria.

Tarifas del Servicio Eléctrico de Coopeguanacaste, R.L.

Una tarifa es un precio unitario fijado por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) para los servicios públicos, en este caso para el servicio eléctrico. (Coopeguanacaste, 2021)

COOPEGUANACASTE, R.L. tiene los siguientes tipos de tarifas:

1. Residencial: **H**o conforman los servicios brindados a casas y apartamentos que sirven exclusivamente para alojamiento permanente.
2. Comercios y servicios: son todos los servicios que se brindan a comercios, empresas, industrias e instituciones públicas.
3. Media tensión: **e**Es una tarifa opcional para clientes cuyo consumo llegue a un mínimo de 180000 kWh por año.
4. Tarifa T-IN industrial: **p**Para el suministro de energía y potencia a servicios eléctricos servidos en media o baja tensión, clasificados en el sector industrial según la clasificación de actividades económicas (código CIU) utilizada por el Banco Central de Costa Rica (BCCR).
5. Alumbrado público: **e**Es una tarifa aplicable a todos los consumidores directos de la Cooperativa por el disfrute del servicio de alumbrado público (luminarias en vías públicas).

Artículos de (NEC, 2008) necesarios para el diseño de los sistemas fotovoltaicos

Artículo 690.5 Protección contra fallas a tierra

Excepción N° 1: Se permitirá que los arreglos fotovoltaicos montados en el suelo o en postes, con no más de dos circuitos de alimentación en paralelo y con todas las fuentes de c.c. y los circuitos de salida de c.c. separados de los edificios no tengan protección contra fallas a tierra.

Artículo 690.8 Dimensionamiento y corriente de los circuitos

(A) (3) Corriente del circuito de salida del inversor. La corriente máxima debe ser la corriente nominal permanente de salida del inversor.

(B) (1) Dimensionamiento de los conductores y los dispositivos de protección contra sobre corriente. Los conductores del circuito y los dispositivos de protección contra la sobre corriente deben dimensionarse de modo que conduzcan como mínimo el 125 % de la corriente máxima calculada, según la sección 690.8 (A).

Artículo 690.10 Sistemas autónomos

(A) Salida del inversor. Se permitirá que la salida de c.a. desde un inversor autónomo suministre alimentación de c.a. al medio de desconexión del edificio o estructura a nivel de corriente inferiores a la carga calculada conectada a ese desconectador.

(B) Dimensionamiento y protección. Los conductores del circuito entre la salida del inversor y el medio de desconexión del edificio o estructura deben estar dimensionados con base en el valor nominal de salida del inversor.

Artículo 690.42 Punto de conexión de la puesta a tierra del sistema

La conexión de puesta a tierra del circuito de c.c. se debe hacer en cualquier punto (Un solo punto) del circuito fotovoltaico de salida. NLM. Ubicando el punto de conexión de la puesta a tierra lo más cerca posible de la fuente fotovoltaica, el sistema quedará mejor protegido contra las sobretensiones producidas por las descargas atmosféricas.

Artículo 690.43 Puesta a tierra de equipos.

Se deben poner a tierra todas las partes metálicas expuestas no portadoras de corriente de los bastidores de los módulos, equipos y envolventes de los conductores, de acuerdo con las secciones 250.134 o 250.136 (A), independientemente de su tensión.

Artículo 690.45 Calibre del conductor de puesta a tierra de equipos.

(A) Generalidades. Los conductores de puesta a tierra de equipos en los circuitos fotovoltaicos de una fuente y de salida deben estar dimensionados de acuerdo con la tabla 250.122.

Artículo 690.47 Sistema del electrodo de puesta a tierra.

(A) Sistemas de corriente alterna. Si se instala un sistema de c.a., se debe instalar un sistema de electrodo de puesta a tierra que cumpla lo establecido en las secciones 250.50 hasta 250.60. El conductor del electrodo de puesta a tierra se debe instalar de acuerdo con la sección 250.64.

(B) Sistema con requisitos de puesta a tierra de corriente continua y corriente alterna.

- (1) Cuando los sistemas de alimentación fotovoltaicos tienen requisitos de puesta a tierra, tanto de corriente alterna (c.a.) como de corriente continua (c.c.), el sistema de puesta a tierra de c.c. se debe unir al sistema de c.a.
- (2) Un conductor de unión entre dos sistemas se debe dimensionar como el mayor entre los requisitos de c.c. de acuerdo con la sección 690.45

Generación distribuida y sistemas conectados a la red

Un Sistema Fotovoltaico y eólico Conectado a la Red consiste básicamente en un generador fotovoltaico y un aerogenerador eólico acoplado a un inversor híbrido que opera en paralelo con la red eléctrica convencional.

En cuanto a la legislación costarricense sobre la generación a distribuida para autoconsumo y acceso al Sistema Eléctrico Nacional, de ahora en adelante SEN, se tiene la norma técnica Planeación, Operación y Acceso, al Sistema Eléctrico Nacional AR-NT-POASEN 2015 y su última modificación publicada en marzo de 2016, la norma Supervisión de la comercialización del suministro eléctrico en baja y media tensión AR-NT-SUCOM en su última modificación publicada en marzo de 2016 y el reglamento del MINAE sobre Generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables modelo de contratación medición neta sencilla.

Ambas normas y el reglamento cuentan con capítulos que se refieren a la generación a pequeña escala para autoconsumo.

Artículos Norma técnica AR-NT-POASEN 2015

Artículo 3. Definiciones.

Abonado productor o Productor consumidor: toda persona física o jurídica que ha suscrito un contrato para el aprovechamiento de la energía eléctrica y que además, produce electricidad con fuentes renovables para ser aprovechada exclusivamente por él, en el mismo sitio donde se genera, con el único propósito de suplir parcial o totalmente sus necesidades de energía eléctrica. ("ARESEP", 2015).

Artículo 124. Modalidades de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables interconectadas a la red.

La actividad de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables interconectadas a la red se desarrollará y operará desde las siguientes modalidades:

- a) **Neta sencilla:** alternativa para que los abonados generen electricidad mediante fuentes renovables con el propósito de satisfacer sus necesidades, funcionando en paralelo con la red de distribución eléctrica, bajo el concepto de depósito y devolución de energía.
- b) **Neta completa (venta de excedentes):** alternativa para que los abonados generen electricidad mediante fuentes renovables con el propósito de satisfacer sus necesidades, funcionando en paralelo con la red de distribución eléctrica, bajo el concepto de venta de excedentes de energía. ("ARESEP", 2015).

Artículo 125. Generación distribuida para autoconsumo en su modalidad medición neta sencilla.

La actividad de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables, utilizando el modelo contractual de medición neta sencilla, no es servicio público; consecuentemente, no estará sujeta a la regulación de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. Dicha actividad se regirá por lo que establezca, para tales efectos, el Ministerio de Ambiente y Energía como ente rector en la materia. No obstante lo anterior, en lo que se refiere a su interacción con la red de distribución, estará sujeta a la regulación dictada por la Autoridad Reguladora en esta materia.

Artículo 127. Relación empresa distribuidora y productores consumidores.

Las relaciones entre las empresas distribuidoras y los productores-consumidores con un sistema de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables, interconectado a la red de distribución, utilizando el modelo contractual de medición neta sencilla, se regirán por el contrato de interconexión establecido por el MINAE, respetando para ello la regulación establecida por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos en lo relativo a sus competencias.

Artículo 128. Cumplimiento de normativa técnica en materia de distribución.

Corresponde a las empresas distribuidoras y al productor-consumidor con un sistema de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables, interconectado a la red de distribución, utilizando el modelo contractual de medición neta sencilla, cumplir con los criterios de calidad, de conformidad con las normas y reglamentos técnicos establecidos por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos en lo que corresponda ("ARESEP", 2015).

Artículos Norma técnica AR-NT-SUCOM

Artículo 126. Libre interconexión y operación de generadores a la red de distribución.

Las empresas distribuidoras permitirán a sus abonados o usuarios (con la autorización del abonado y su disposición a firmar el contrato respectivo) actuales o futuros, interconectar y operar sistemas de generación para autoconsumo a partir de fuentes de energía renovables, 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, y las que con fundamento en ella, establezcan las empresas distribuidoras. (ARESEP, 2014), según se puede observar la capacidad de los circuitos de la empresa distribuidora Coopeguanacaste en anexo 12.

Artículo 127. Requisito para la interconexión de generadores a la red de distribución.

Cualquier abonado o usuario actual o futuro, puede constituirse como abonado o usuario productor, mediante la firma de un “Contrato de interconexión para abonados productores”.

Artículo 128. Capacidad de acceso.

Las empresas eléctricas efectuarán los estudios técnicos necesarios para cuantificar la capacidad de sus redes de distribución para la operación en paralelo de abonados productores, según lo establecido en el Reglamento de Generación Distribuida para Autoconsumo con Fuentes Renovables Modelo de Contratación Medición Neta Sencilla , garantizando que la operación de sus generadores para autoconsumo no interfieran con la calidad, cantidad, confiabilidad, continuidad, oportunidad y prestación óptima del suministro eléctrico, de conformidad con las normas técnicas regulatorias emitidas por la Autoridad Reguladora.

Artículo 129. Limitaciones de acceso.

En toda solicitud de conexión de un generador a la red de distribución, la empresa distribuidora deberá efectuar el estudio de viabilidad técnica correspondiente, velando porque el suministro eléctrico al interesado y a los demás abonados o usuarios, se mantenga acorde con los criterios normativos emitidos por la Autoridad Reguladora en lo que respecta de calidad, cantidad, confiabilidad, continuidad, oportunidad y prestación óptima. (ARESEP, 2014).

Artículo 131. Punto de interconexión.

El punto de interconexión, para efectos comerciales, técnicos y de límites de responsabilidad, del abonado productor con la red de distribución, lo será el punto de entrega, de conformidad con lo establecido en el artículo 15 de esta norma técnica regulatoria. La habilitación de todo servicio para un abonado productor, requiere la verificación establecida en la norma técnica regulatoria AR-NT-SUINAC “Supervisión de la instalación y equipamiento de acometidas eléctricas” vigente.

Artículo 132. Contrato de interconexión.

Es responsabilidad de la empresa distribuidora asegurar que el contrato de interconexión y operación de un generador para autoconsumo, por parte de un abonado o usuario productor, contenga las cláusulas contractuales necesarias para que:

- a) La infraestructura de la interconexión se construya y se mantenga conforme a la norma ARNT-SINAC “Supervisión de la instalación y equipamiento de acometidas eléctricas” vigente.
- b) La operación del generador para autoconsumo no interfiera en la calidad, cantidad, confiabilidad, continuidad, oportunidad y prestación óptima de otros abonados o usuarios, establecida en las normas técnicas regulatorias emitidas por la ARESEP.
- c) El abonado o usuario productor se haga responsable de los daños que cause a la empresa eléctrica y a otros abonados o usuarios. No obstante, la empresa eléctrica deberá resarcir los daños, que la operación del generador del abonado o auto productor, cause a otros usuarios, debiendo en sede administrativa o judicial, cobrar dichos costos al abonado productor. (ARESEP, 2014)

Artículo 133. Cargo por acceso e interconexión a la red de distribución.

El abonado-productor deberá cancelar mensualmente a la empresa eléctrica el costo de acceso e interconexión a la red de distribución, según lo establezca la Autoridad Reguladora. (ARESEP, 2014).

Artículo 136. Sistema de medición.

El costo del sistema de medición para el registro de la energía depositada y retirada en los servicios con generación para autoconsumo en su modalidad medición neta sencilla no podrá ser cargado a las tarifas del servicio de suministro de energía eléctrica en su etapa de distribución y dicho sistema de medición deberá ser administrado, operado y mantenido por la empresa eléctrica. Este sistema de medición deberá cumplir con lo establecido en el capítulo IV Inscripción del Modelo de la Norma AR-NT-SUMEL “Supervisión del uso, funcionamiento y control de medidores de energía eléctrica”.

Artículo 137. Facturación de la modalidad contractual “Medición Neta Sencilla”.

En el caso de existir un excedente de la producción con respecto del consumo mensual, éste debe reflejarse en la facturación del respectivo mes junto con el acumulado correspondiente, a efectos de compensar el excedente en las facturaciones subsiguientes y facturar el costo de acceso indicado en el artículo 133 de esta norma. El cierre para la liquidación de excedentes se hará en la facturación correspondiente al doceavo mes del periodo de doce meses consecutivos convenidos entre las partes. (ARESEP, 2014).

Artículos del reglamento de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables en su modalidad neta sencilla.**Artículo 34. Autorización para almacenamiento y retiro de energía.**

El productor consumidor podrá almacenar en la red de distribución la energía no consumida, y tendrá derecho a retirar hasta un máximo del 49% de la energía total generada, para utilizarla en el mes o meses siguientes en un periodo anual. (MINAE, 2014).

Artículo 41. Pagos de excedentes de energía.

Cualquier exceso de energía superior al 49% de la energía total generada que haya sido depositada en la red de distribución, no será sujeta a ningún tipo de retribución económica, ni de intercambio de energía.

Matemáticas financieras

Valor Actual Neto (VAN).

El Valor Actual Neto (VAN) es un método que se utiliza para la valoración de distintas opciones de inversión. Este método consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión y calcular su diferencia. El VAN va a expresar una medida de rentabilidad del proyecto en términos absolutos netos, es decir, en n° de unidades monetarias. ("Valor Actual Neto", 2021)

Ecuación 11. Valor Actual Neto

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

Fuente: (Directivos, 2018).

Donde:

- **F_t**: Son los flujos de dinero en cada periodo t
- **I₀**: Es la inversión realiza en el momento inicial (t = 0)
- **n**: Es el número de periodos de tiempo
- **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.

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 y que los flujos netos de caja negativos son financiados con unos recursos cuyo coste también es el tipo de descuento. Fuente: (Directivos, 2018).

Tasa Interna de Retorno (TIR).

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece 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). De un modo simple se define como el valor de la tasa de descuento que para un proyecto de inversión dado, hace que el VAN sea igual a 0.

La tasa interna de retorno (TIR) da una medida relativa de la rentabilidad, es decir, va a venir expresada en tanto por ciento. Pero el principal problema radica en su cálculo ya que el número de periodos dará el orden de la ecuación por resolver.

Para resolver este problema se puede acudir a diversas aproximaciones que serán más o menos fiables, utilizar una calculadora financiera o emplear un programa informático. ("Tasa Interna de Retorno", 2021).

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:

Ecuación 12. Tasa Interna de Retorno

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+TIR)} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n} = 0$$

Fuente: (Directivos, 2018)

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 de tiempo

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.

La TIR es muy útil para evaluar proyectos de inversión ya que indica 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. (Directivos, 2018).

Payback o Recuperación de la Inversión.

El periodo de recuperación de la inversión (PRI) es un criterio para valorar inversiones que queda definido como el periodo de tiempo que se requiere para recuperar el capital invertido en la fase inicial de un proyecto.

Gracias a este método podrás saber el número de periodo, que generalmente se ofrece en años, que tardarás en recuperar el dinero invertido como capital inicial para poner en marcha una actividad económica. Una información que resulta vital a la hora de decidir realizar una inversión y embarcarse en un proyecto empresarial, o no.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.

En el presente proyecto se evalúa la posibilidad de implementar la generación distribuida mediante el uso de energías renovables como la energía solar y la eólica, en una Municipalidad ubicada en Hojancha Guanacaste. Para ello se hacen los respectivos análisis de variables técnicas y de regulación.

Métodos de investigación

Investigación descriptiva

Una investigación del tipo descriptivo se reconoce porque en ella se describe una situación y se caracterizan propiedades importantes del objeto de estudio. También se miden de manera independiente las variables relacionadas con el estudio. Por la forma en que se desarrolla este proyecto se puede decir que es una investigación de tipo descriptivo.

Los datos descriptivos se expresan en términos cualitativos y cuantitativos. Se puede utilizar un tipo de ellos o ambos a la vez.

Cualitativos. Se usan en estudios cuyo objetivo es examinar la naturaleza general de los fenómenos. Los estudios cualitativos proporcionan una gran cantidad de información valiosa pero su grado de precisión es limitado, pues en ellos se emplean términos cuyo significado

varía para las diferentes personas, épocas y contextos. Los estudios cualitativos contribuyen a identificar los factores importantes que deben medirse.

Cuantitativo. Los símbolos numéricos que se utilizan para la exposición de los datos provienen de un cálculo o medición. Se pueden medir las diferentes unidades, elementos o categorías identificables.

Recolección de datos. En el informe de la investigación se señalan los datos obtenidos y la naturaleza exacta de la población de la que fueron extraídos. Una vez identificada esta, entonces se decide si se recogerán datos de la población total o de una muestra representativa de ella. El método elegido dependerá de la naturaleza del problema en estudio y de la finalidad para la que se deseen utilizar los datos. Las visitas al sitio, junto con la recaudación de la información de manuales, revisión bibliográfica e internet traen como resultado una mejor apreciación de los componentes principales de esta investigación.

Investigación cuantitativa

En el enfoque cuantitativo se hace uso de técnicas de contar, de medir y de razonamiento abstracto, destinadas a la comprobación de teorías mediante estudios muestrales representativos y por la aplicación de medidas objetivas con el uso de instrumentos, para así obtener datos fiables y repetibles. La finalidad del estudio es determinar si es viable instalar un sistema fotovoltaico conectado a la red o un sistema Mixto (sistema Fotovoltaico-Eólico), mediante realización de diversos cálculos y el diseño propuesto.

En cuanto al procedimiento metodológico, la investigación se desarrollará en cuatro etapas, las cuales buscan el cumplimiento de los objetivos planteados, que corresponden a la puesta en acción de actividades, haciendo uso de distintas herramientas.

Etapas I: Planteamiento del problema

En esta parte se definieron el problema, los objetivos, el alcance y las limitaciones de la labor investigativa. Se hizo uso de fuentes tanto primarias como secundarias.

Etapa II: Investigación

Se realizó una búsqueda de información bibliográfica sobre generación distribuida y tecnologías de generación de electricidad, tanto convencional como alterna; además de que se estudió la normativa legal vigente en el país que corresponde al tema. Se hizo uso de fuentes secundarias, únicamente.

Etapa III. Desarrollo

Se plantearon los dos posibles diseños por escoger, dependiendo de su funcionalidad técnica y económica. Se establecieron los gastos de consumo eléctrico en el año 2020, para tener una diferencia entre la generación de los sistemas contra esta facturación. Se calculó la potencia generada por los módulos fotovoltaicos según el arreglo de los paneles solares seleccionados y la potencia generada por los aerogeneradores, para obtener el dimensionamiento del sistema final.

En esta etapa se utilizaron fórmulas y métodos ya conocidos. Se valoraron la incidencia de la radiación solar y las velocidades medias del viento en la zona.

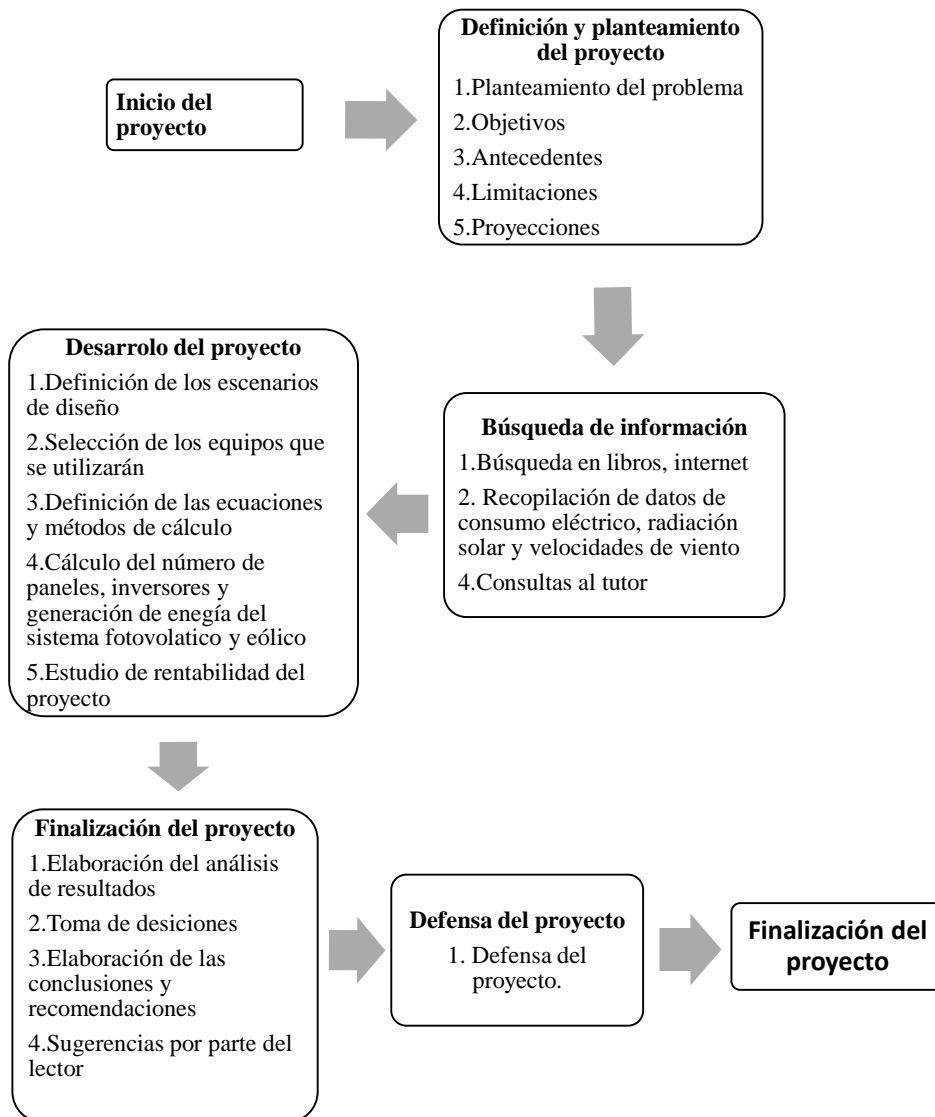
Para el cálculo de la inversión se pidió cotizara diferentes empresas en el país, para obtener el tiempo de retorno de la inversión.

Se especifican los diferentes dispositivos y herramientas necesarias para el funcionamiento del diseño final.

Etapa IV: Conclusión

Al finalizar todas las fases explicadas se procedió a emitir las conclusiones del trabajo ya efectuar las correspondientes recomendaciones.

Figura 16. Diagrama de flujo del marco metodológico



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: DESARROLLO

En el desarrollo de este documento se desarrollarán dos diseños: Diseño #1: un sistema solo con paneles solares. Diseño #2: un sistema mixto (paneles solares con un aerogenerador eólico), se busca evaluar cuál de los 2 sistemas es más factible tanto como rendimiento, como financieramente.

Diseño solo con sistema fotovoltaico (Diseño #1).

Para diseñar un sistema fotovoltaico conectado a la red, con el que se busca que el sistema cubra el total de la carga anual demandada (100%).

En este diseño se hará la estimación de módulos fotovoltaicos que pueden alcanzar en el área disponible al igual que en el caso número dos, pero con la diferencia que otro caso se contemplará la producción del aerogenerador, esto con el fin de poder comparar ambos diseños.

El análisis financiero de las 2 propuestas será realizado bajo las normas de la POASEN de generación distribuida y precios regulados por el ARESEP.

A las dos propuestas se les hará un análisis financiero con el fin de encontrar la mejor opción para el proyecto.

Análisis del consumo energético del año 2020 en las oficinas de la municipalidad y parque recreativo de Hojancha Guanacaste.

Tabla 5. Consumo energético del año 2020 del diseño 1

Consumo Energético Oficinas y Parque, periodo 2020		
Meses	Días	Energía KWh
Enero	31	3790,6
Febrero	29	4034,8
Marzo	31	4573,6
Abril	30	2901,8
Mayo	31	4498,4
Junio	30	3834,4
Julio	31	3546,6
Agosto	31	3556,4
Setiembre	30	3845,2
Octubre	31	3263,4
Noviembre	30	3158
Diciembre	31	3097,4
	Total KWh/Año	44100,60
	Potencia requerida	25,29
	Total KWh/Mes	3675,05
	Total KWh/día al 100%	122,50

Fuente: (Hernandez, 2012)

Grafico 1. Consumo energético del año 2020 del diseño 1



Fuente: Elaboración propia

El tabla número 5 y en el gráfico 1, adjuntado anteriormente, sirve como dato para calcular la cantidad necesaria de paneles solares y de aerogeneradores para este proyecto, debido a que nos refleja el consumo eléctrico de cada mes de año que se presenta en la institución donde se realizará el estudio; por lo tanto se logra apreciar que el mes con mayor consumo eléctrico es marzo con un consumo de 4573,6 KWh y el mes con menos consumo eléctrico es abril con un consumo de 2901,8 KWh, lo primero que se va a realizar es la estimación de la cantidad posible de paneles solares que se puedan instalar en las áreas disponibles, para determinar la energía eléctrica que ese arreglo pueda proveer.

Estimación del promedio mensual de energía solar.

Tabla 6. Radiación solar, Hojanca Guanacaste.

Radiación solar en Hojanca Guanacaste		
Meses	Días	Energía KWh
Enero	31	6,025
Febrero	28	6,6
Marzo	31	6,97
Abril	30	6,43
Mayo	31	4,82
Junio	30	4,07
Julio	31	4,2
Agosto	31	4,3
Setiembre	30	4,13
Octubre	31	4,12
Noviembre	30	4,7
Diciembre	31	5,4
	Promedio Anual	5,15

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (IMN)

Los resultados presentados corresponden a información recopilada por el Instituto Meteorológico Nacional de la zona de Hojanca, Guanacaste, el link de la página se puede apreciar en la bibliografía. Estos datos estadísticos se tomarán de las condiciones del clima para el dimensionamiento de los sistemas.

En el cuadro anterior, columna tres, se pueden observar las horas solares pico de cada mes en KWh.

El estudio del sistema fotovoltaico se va a realizar con el promedio anual de radiación solar, para que los módulos entreguen un promedio de energía en los meses con menores y mayores horas pico de sol. En el sector en donde se va a realizar el proyecto el promedio anual de horas sol pico es de 5,15 KWh.

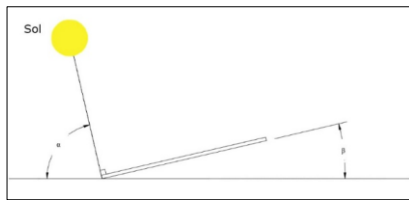
Este es el dato que se va a utilizar para obtener la cantidad óptima de paneles solares.

Inclinación de los paneles solares

Para obtener el mayor rendimiento de los paneles, se debe analizar la trayectoria e inclinación del Sol durante el año en la ubicación donde se instalarán,

En el eje de las ordenadas se obtiene la elevación del Sol con respecto del horizonte y en el eje de las abscisas se encuentra el Azimuth (ángulo del sol con respecto del norte).

Figura 17. Elevación del Sol α y ángulo β inclinación del panel.



Fuente: Elaboración propia con software SketchUP 2020

Estos datos son importantes, se tiene el método de la inclinación óptima anual el cual busca obtener la mayor radiación solar anual posible sobre un captador solar estático. Está basada en el análisis estadístico de la radiación solar anual sobre superficies con diferentes inclinaciones situadas en lugares de diferentes latitudes, por lo que proporciona la inclinación óptima en función de la latitud del lugar.

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 \cdot |\phi|$$

Ecuación 13. Inclinación óptima paneles solares

Donde:

- B es el ángulo de inclinación óptimo [°]
- $|\phi|$ es la latitud del lugar, sin signo [°]

Calculando para la latitud del proyecto tenemos:

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 \cdot |10.0331| \sim 11^\circ$$

Comparando el ángulo obtenido por este método y el obtenido con las tablas estadísticas de la NASA sería de 11° , se observa que son muy cercanos entre sí.

Tabla 7. Ángulo de inclinación según la latitud

Comentado [RPA2]: Tildar ángulo en el cuadro

Latitud del lugar (en grados)	Angulo de inclinación
0° a 15°	15°
15° a 25°	La misma latitud
25° a 30°	Latitud más 5 °
30° a 35°	Latitud más 10 °
35° a 40°	Latitud más 15 °
40° o más	Latitud más 20 °

Fuente: (La NASA)

En este caso, los paneles deben instalarse viendo al sur con este grado de inclinación obtenido.

Cantidad de paneles solares del diseño 1.

La cantidad de paneles solares por calcular se realiza como guía para observar el cálculo teórico de los mismos, ya que en este apartado se va a tomar en cuenta el espacio requerido que vaya a abarcar esta cantidad resultante de paneles solares. Por lo que se adelanta que la cantidad real de módulos fotovoltaicos va a depender directamente del área disponible del techo de las oficinas.

Antes de este cálculo se debe definir la marca del fabricante para obtener los datos técnicos de los paneles fotovoltaicos, ya que se tienen que usar para la estimación del número de paneles

solares. Los paneles por utilizar son de la marca Jinko Solar, modelo JKM410M, la información técnica de este equipo se encuentra adjuntada en la sección de anexos de este documento, específicamente en el anexo 1, estas fichas son facilitadas por la empresa con la cual se cotiza. Este modelo se utiliza ya que es el panel de mayor potencia con la que trabaja la empresa.

Cabe destacar que la potencia por cubrir es KWh diarios. Entonces, se debe pasar el consumo anual que son 44.100,60 KWh/Año dividido en 12 meses para sacar el consumo energético por mes que sería 3.675,05 KWh/mes, después se divide entre 30 días para sacar el consumo energético diario este sería 122,50 KWh/día, como se puede mostrar en la tabla 5, para las hora solar pico se calculó en la tabla 6.

El siguiente es el cálculo de paneles, en el que se utiliza la ecuación 4 especificada en el marco teórico, que es la siguiente:

$$NP = E / (0.9 * Wp * HSP)$$

Donde:

Np: Es el número de paneles solares necesarios

E: Es el consumo energético real

Wp: Es la potencia pico del panel

HPS: Son las horas pico solar

En la ecuación anterior el autor considera un rendimiento energético del 90%, esto se traduce a la eficiencia de los paneles solares fotovoltaico.

$$Np = \frac{122,50 \text{ KWh/día}}{(0,9 * 0,41\text{Kw} * 5,15\text{hsp})}$$

$$Np = 64 \text{ paneles solares}$$

El número de paneles dio como resultado de 64 paneles, cabe destacar, que este número de módulos fotovoltaicos sí es posible su instalación debida a que el área total de las oficinas es de 1.311,52 m²

Selección del inversor del diseño 1

Para el sistema fotovoltaico, se utilizarán dos inversores centrales. Se selecciona un inversor modelo Grid Tied Invert SolarEdge SE-11400A-US, este tiene en su entrada una potencia de 14,4 KW como son 2 inversores serían 28,8 KW, también tiene una tensión de entrada de 500 V y corriente de entrada 35 A, estos datos se pueden apreciar en su ficha técnica en el anexo 2 de este documento.

Cálculo del arreglo de paneles fotovoltaicos

Para calcular el número de filas de módulos en serie que se van a conectar para un inversor, se toma el valor de tensión nominal de entrada del inversor, estos datos se encuentran en el anexo 2 y se divide entre la tensión de cada panel, estos datos se encuentran en el anexo 1, se calcula como muestra en la fórmula:

Número de paneles en series:

$$\text{Número de filas en serie} = \frac{V_{inv}}{V_m}$$

Ecuación 14. Número de paneles en serie

Donde:

V_{inv} = Es el rango de voltaje MPPT del inversor

V_m = Es el voltaje de panel

Entonces:

$$\text{Número de paneles en serie} = \frac{500 \text{ V}}{40,68 \text{ V}} = 12,29 \approx 12 \text{ filas}$$

El número de paneles en serie máxima sería 12 Paneles para cada inversor.

Número de filas que se conectan en paralelo:

$$\text{Número de filas en paralelo} = \frac{I_{inv}}{I_m}$$

Ecuación 15. Número de filas en Paralelo

Donde:

I_{inv} = Es la corriente de entrada del inversor

I_m = Es la corriente del panel

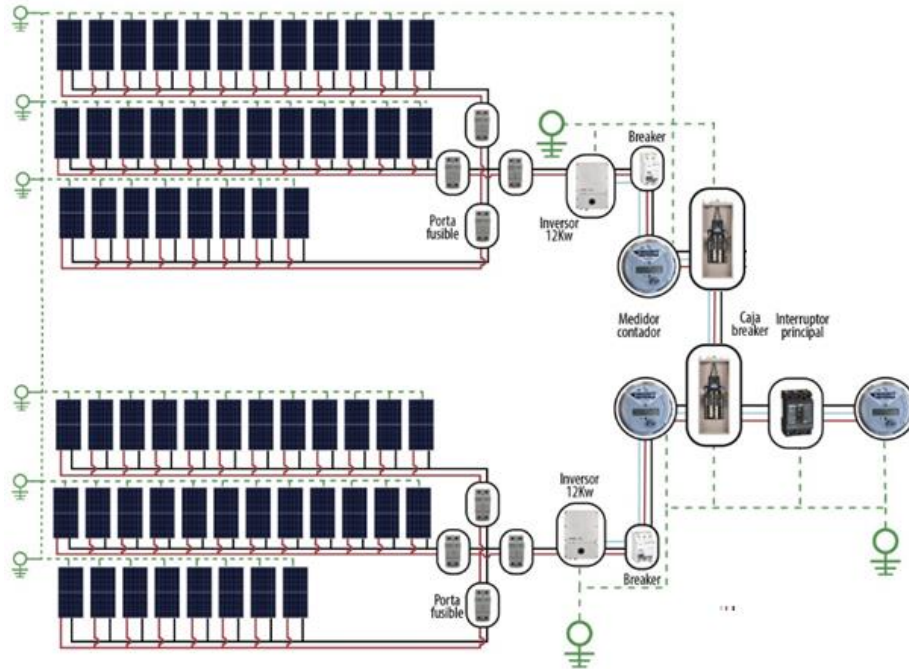
Entonces:

$$\text{Número de filas en paralelo} = \frac{35 \text{ A}}{10,08} = 3,47 \simeq 3 \text{ columnas}$$

El número de filas máxima sería 3 para cada inversor.

El diseño fotovoltaico sugerido sería 1 sistema de 3 filas en paralelo en series de (12-12-8), de 32 paneles con 1 inversor, el otro sistema sería igual pero con otro inversor, en total serían 64 paneles, a un futuro se podrían agregar más paneles.

Figura 18. Arreglo de paneles solares 3 filas de 12-12-8 para cada inversor diseño 1



Fuente: Elaboración propia con software SketchUP 2020

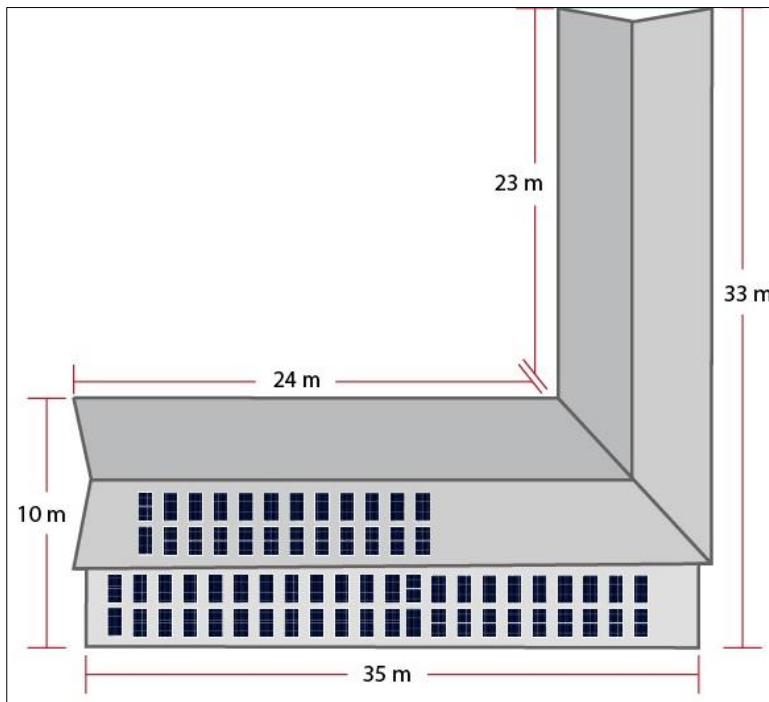
El área del arreglo de paneles fotovoltaicos.

Como se definió, los paneles serán instalados a nivel de techo, las dimensiones de los paneles se obtienen de la ficha técnica JKM410M anexo 1, el área ocupada por 64 paneles es la siguiente:

$$\text{Área de 1 panel} = 1,956 \times 0,992 = 1,94 \text{ m}^2$$

$$\text{Área de 64 panel} = (1,94 \times 64) + 84 = 208,16 \text{ m}^2$$

Figura 19. Montaje de módulos fotovoltaicos a nivel de techo del diseño 1



Fuente: Elaboración propia con software SketchUP 2020

En la figura 19 se muestra la colocación de los módulos fotovoltaicos. Cabe destacar que la distancia entre filas es de 42 centímetros; esto para que la persona encargada del mantenimiento pueda movilizarse con mayor facilidad.

Cálculo estructural de los módulos

Peso: 22 kg

Área del arreglo: 124,16 m²

Peso del arreglo en el techo: 64 paneles * 22 kg = 1408 kg

Distribución del peso: 1408 kg / 124,16 m² = 11,34 kg/m²

La estructura de los módulos solares deben ser de acero inoxidable y la estructura que la sujeta de aluminio, para este caso se utilizará un modelo KH915 del fabricante Sunfer Energy Structures, donde su estructura es de aluminio con tornillería de acero inoxidable como se muestra en el anexo 3, además cuenta con guías y perfil de aluminio para los módulos y ganchos que permiten el anclaje a la estructuras metálicas del techo como se muestra.

La estructura instalada para la sujeción de los módulos debe soportar el peso, tanto de los paneles por instalar, como las sobrecargas producidas por el viento, entre otras.

La estructura instalada para la sujeción de los módulos debe soportar el peso, tanto de los paneles por instalar, como las sobrecargas producidas por el viento, entre otras. La estructura seleccionada, según la ficha técnica tiene una capacidad de soportar hasta 200 N/m² y Cargas de viento de más de 29 m/s.

Cálculo de conductores y protección contra sobretensión en DC y AC

Conductor en DC: Al estar los paneles conectados en serie en mi primera fila, la corriente del circuito es igual a la corriente máxima de un solo panel la cual según ficha técnica es de 10,08 A en DC, así se tiene según el artículo 690.8 (B) (1).

$$I_{\text{Circuito DC}} = I_{\text{Max Panel}} * 1,25$$

Ecuación 16. Corriente del circuito en DC

$$I_{\text{Circuito DC}} = 10,08 * 1,25 = 12,6 \text{ A}$$

Así, para esta corriente calculada para el circuito DC se tiene que el cable #12 AWG THHN cumple con lo necesario ya que máximo soporta una corriente de 20 A. Esto según el NEC 2008, tabla 310.16.

Por ese motivo la caída de tensión admisible para un inversor va de 1% a 0,5%.

Así, la caída de tensión de los circuitos DC se calcula con las siguientes ecuaciones:

Caída de tensión DC

Ecuación 17. Caída de tensión

$$\Delta V_{1\emptyset} = \frac{2 * R * L * I}{1000}$$

Donde:

$\Delta V_{I\emptyset}$: Es la caída de tensión (V)

R: Es la resistencia eléctrica del conductor (O/Kpie)

L: Distancia en pies (pie)

I: Es la intensidad de la corriente (A)

Tabla 8. Caída de tensión y calibre del conductor

Comentado [RPA3]: Revisar tildes en el cuadro

% Caída de tensión de conductores de paneles e inversor						
Descripción	Distancia (m)	Calibre AWG	resistencia	corriente (A)	Caída de tensión	% Caída de voltaje
Paneles	9	12	1,98	10,08	1,18	1,55
inversor	4	4	0,778	48	0,98	0,10

Fuente: Elaboración propia

Sistema de puesta a tierra

Método de wenner

Electrodo de Tierra Vertical

Ecuación 18. Resistencia del electrodo

$$RA = \frac{\rho E}{L}$$

RA=Resistencia del electrodo (Ω)

ρE =Resistividad del suelo (Ωm)

L=Longitud del electrodo de tierra (m)

Nota: según datos de Coopeguanacaste para la zona de Hojancha, se tiene suelos arcillosos y compactados la resistencia es de 100 a 200 ohm-m, se selecciona 120 ohm-m, esto se divide entre la resistencia del electrodo que es de 50 Ω .

$$L = \frac{120}{50} = 2,4 \text{ m}$$

Diagrama unifilar del diseño 1

Se realizará un diagrama unifilar de paneles solares en 3 filas de series 12-12-8 para cada inversor.

De acuerdo con lo calculado en el arreglo de panel página 95, tenemos que el número máximo de paneles en series que podemos poner es de 12 y máximo filas en paralelo es de 3, en serie la corriente se mantiene, Para cada serie la corriente máxima es según las especificaciones de los paneles solares es de 10,08 A y, según el artículo 690.8, B del NEC 2008(Código Eléctrico Nacional), el calibre del conductor tendrá que sobredimensionarse para que conduzca como mínimo 125% de la corriente máxima calculada. Con esto se tiene que la corriente máxima de cada circuito sería de 12,6 A. El calibre de cable de cobre mínimo para instalaciones eléctricas es calibre 12, por lo que se procede a escoger un cable de cobre calibre 12 AWG THHN, que soporta hasta un máximo de 20 A para las conexiones entre paneles solares, las protecciones como porta fusibles para proteger cada serie de los paneles es de 15 A cada una, el voltaje de cada panel es de 40,68 V esto multiplicado por 12 que es la cantidad de paneles por fila, nos da 488,16 V, este resultado está por debajo de mi rango del voltaje de entrada del inversor escogido, al tener 3 filas conectadas en paralelo, las corriente de cada fila que son 10,08 A se multiplicado por 3 y nos da 30,24 A que está por debajo de mi rango de corriente de entrada del inversor, se utilizaría calibre de cable 8 AWG THHN.

Cada inversor tendrá una protección antes (porta fusibles) y después del inversor (disyuntor) para poder resguardar la integridad del cableado y los equipos en caso de sobrecarga o fallo en el sistema.

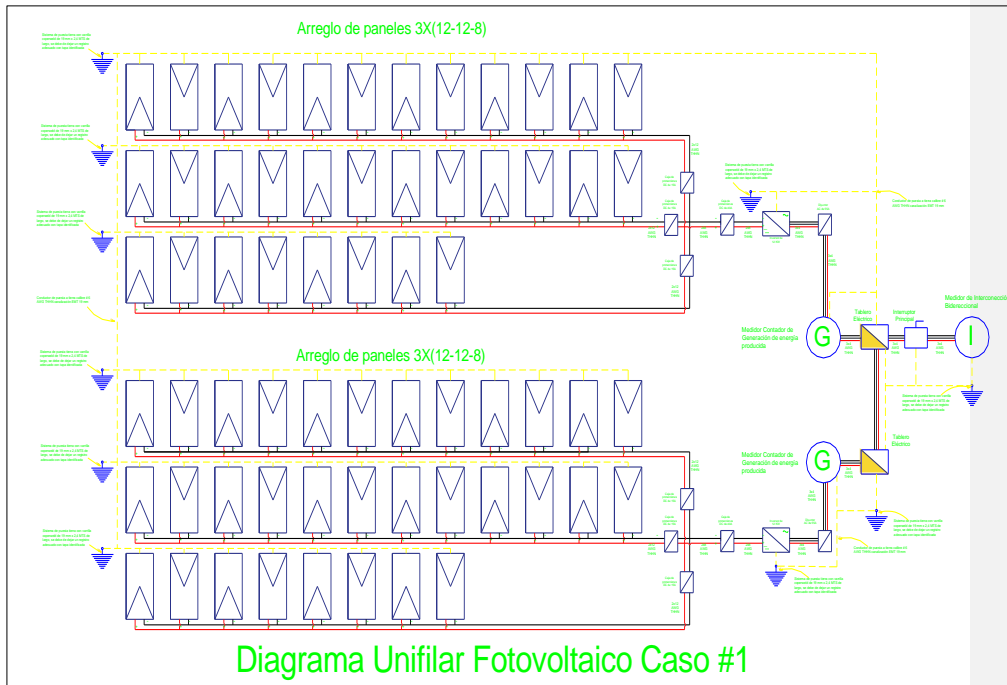
De acuerdo con el artículo 690.10 B del NEC la protección debe estar dimensionada según el valor nominal de salida del inversor. La salida para el inversor, según sus especificaciones técnicas, es de 48 A a 240 V y, de acuerdo con el artículo 240.6 del NEC 2008, se tendría que colocar un disyuntor de 50 A en la salida de cada inversor.

Para calcular el cable en la salida AC del inversor se procede a calcular el 125% de la corriente en la salida del inversor, la cual da un resultado de 60 A, y según la tabla 310.16 del NEC se

Comentado [RPA4]: Le permiten usar la primera persona?

ocuparía un cable de cobre calibre 4 AWG THWN; el cual resiste hasta 70 A. Este sería igual al cable que saldría del tablero al medidor. A continuación, un posible diagrama unifilar.

Figura 20. Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico del diseño 1



Fuente: Elaboración propia con software AutoCAD 2015

Cálculo de la potencia generada por el arreglo de 64 paneles solares del diseño 1.

En este punto es de vital importancia la determinación de la cantidad de energía que los paneles solares van a entregar. Para obtener la potencia total del arreglo de los paneles, se multiplica esta cantidad de módulos por la potencia nominal de un solo panel, que en este caso es de 410 W. En total sería 26.240 W o 26,24 KW, que es igual al arreglo en serie y paralelo.

Teniendo ya la potencia total que entregan los 64 paneles se puede conocer la cantidad de energía eléctrica que generan. Para obtener este dato se multiplica la potencia total del arreglo de

paneles por la irradiación solar del mes que se requiera, y esto por la cantidad de días que tiene ese mes. Este dato va a ser la generación mensual de energía proveniente de los paneles fotovoltaicos. Por ejemplo, en el mes de enero existe una irradiación diaria de 6,025 hps, y este mes tiene 31 días.

Entonces son $26,24 \text{ KW} * 6,025 \text{ hps} * 31 \text{ días} = 4.900,97 \text{ KWh/mes}$. Este procedimiento se repite para cada uno de los meses del año.

El objetivo de este procedimiento es obtener la generación anual de los paneles solares, para poder comparar este dato con el consumo anual de la institución. Para calcular la generación anual de los paneles solares se suman las generaciones de electricidad de cada mes del año. En la siguiente tabla se compara la energía consumida vrs la energía generada por cada mes y su diferencia ya sea que tengamos que inyectar energía a la red comercializadora o requerir energía.

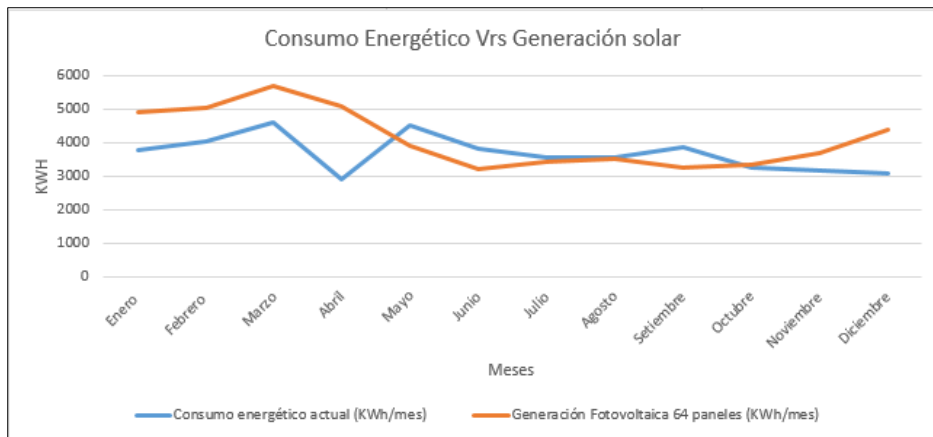
Tabla 9. Consumo energético vrs generación del sistema fotovoltaico del diseño 1

Consumo Energético Vrs Generación solar				
Meses	Consumo energético actual (KWh/mes)	Generación Fotovoltaica 64 paneles (KWh/mes)	Diferencia en energía requerida y inyectada a	Porcentaje de disminución del consumo
Enero	3790,6	4900,976	-1110,376	129,29%
Febrero	4034,8	5022,336	-987,536	124,48%
Marzo	4573,6	5669,6768	-1096,0768	123,97%
Abril	2901,8	5061,696	-2159,896	174,43%
Mayo	4498,4	3920,7808	577,6192	87,16%
Junio	3834,4	3203,904	630,496	83,56%
Julio	3546,6	3416,448	130,152	96,33%
Agosto	3556,4	3497,792	58,608	98,35%
Setiembre	3845,2	3251,136	594,064	84,55%
Octubre	3263,4	3351,3728	-87,9728	102,70%
Noviembre	3158	3699,84	-541,84	117,16%
Diciembre	3097,4	4392,576	-1295,176	141,81%
Anual (KWh/Año)	44100,60	49388,53	1902,97	111,99%

Fuente: Elaboración propia

Con base ena la tabla 9 adjuntada anteriormente se elabora un gráfico para visualizar el comportamiento del consumo energético con respecto a la generación mensual del sistema fotovoltaico de cada mes.

Gráfico 2 Consumo energético Vrs Generación solar del diseño 1



Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la tabla 9 y el gráfico 2 adjuntado anteriormente, se puede apreciar que en los meses de enero, febrero, marzo, abril, octubre, noviembre y diciembre generamos más energía que la que consumimos, porque son los meses de verano con mayor radiación solar en particular de octubre y los meses como mayo, junio, julio, agosto, septiembre son los meses que se genera menos de lo que se consume, porque son los meses de invierno, el cual hay menos radiación solar.

Diseño del sistema solar con sistema eólico (Diseño #2)

Para diseñar el sistema mixto fotovoltaico y eólico conectado a la red, que al igual del diseño 1, se busca que el sistema cubra el total de la carga anual demandada (100%).

Es necesario conocer cuáles son las condiciones del viento y la radiación solar en la zona en donde se encuentra la municipalidad. Es importante conocer datos estadísticos para identificar si realmente ahí existen condiciones apropiadas para la instalación del sistema híbrido.

Estimación de la velocidad del viento

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

Estos datos son suministrados igualmente por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) en la estación automática de Pilangosta de Hojancha, Guanacaste, torre de medición del viento del IMN se encuentra aproximadamente a 10 m de altura, altura de medición igual a la que se planea escoger para colocar la turbina eólica.

A continuación, se detallan los datos obtenidos en el Instituto Meteorológico Nacional.

Tabla 10. Velocidad media del viento, Hojancha

Velocidad media del viento en Hojancha Guanacaste		
Meses	Velocidad media del viento (Km/h)	Velocidad media del viento (m/s)
Enero	17,73	4,925394
Febrero	17,57	4,880946
Marzo	15,43	4,286454
Abril	12,73	3,536394
Mayo	10,73	2,980794
Junio	9,8	2,72244
Julio	10,13	2,814114
Agosto	9,9	2,75022
Setiembre	9,9	2,75022
Octubre	10,93	3,036354
Noviembre	12,13	3,369714
Diciembre	15,27	4,242006
Promedio Anual	12,69	3,52

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (IMN)

Selección de la turbina eólica

En este apartado se seleccionó un aerogenerador ENAIR 70 PRO de 5,5 KW, con una velocidad de arranque de 2 m/s, en las fichas técnicas se pueden observar en la sección de anexo 4.

Potencia eléctrica esperada por el aerogenerador eólico.

En la tabla siguiente se detalla la energía estimada por el fabricante que puede llegar a producir anual una turbina eólica ENAIR 70 PRO de 5,5 KW.

Tabla 11. Producción de energía anual a diferentes velocidades

Características de producción de Energía anual a diferentes velocidades medias del viento Enair 5,5Kw	
Velocidad (m/s)	Energía Generada (KWh/año)
1	0
2	290
3	1900
4	3900
5	6900
6	10000
7	14300
8	17700
9	20000
10	22500
11	23700

Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior es obtenida de la curva potencia y producción de energía anual presente en las fichas técnicas del aerogenerador anexo 5. En esta curva se puede apreciar la generación eléctrica anual para diferentes velocidades del viento, como se puede analizar en la tabla 11, el comportamiento de la generación eléctrica es directamente proporcional a la velocidad media del viento, a como se había estudiado en el marco teórico de este documento, se observa claramente que a mayor velocidad de viento la energía obtenida crece de manera exponencial. También se calcula la energía de entrega en periodos de meses, esto se da con la conversión de KWh/año a KWh/mes, para cada mes del año. Con estos datos y la información obtenida en la tabla 11 se puede estimar la energía producida por el aerogenerador, interpolando entre los valores superiores e inferiores de la energía producida con nuestros datos de velocidades medias del viento para cada mes del año como se puede apreciar en la tabla siguiente.

Tabla 12. Producción de energía mensual a diferentes velocidades

Velocidad media del viento en Hojancha Guanacaste			
Meses	Días	Velocidad media del viento (m/s)	Energía entregada por 1 Aerogenerador (KWh/mes)
Enero	31	4,925394	556,3485
Febrero	28	4,880946	545,2365
Marzo	31	4,286454	396,6135
Abril	30	3,536394	247,7323333
Mayo	31	2,980794	155,7565283
Junio	30	2,72244	121,0940333
Julio	31	2,814114	133,3936283
Agosto	31	2,75022	124,8211833
Setiembre	30	2,75022	124,8211833
Octubre	31	3,036354	164,3923333
Noviembre	30	3,369714	219,9523333
Diciembre	31	4,242006	385,5015
	Promedio Anual	3,52	264,64
		Resultado Anuales (KWh/año)	3175,66

Fuente: Elaboración propia

La tabla 12 presentada anteriormente se refiere a la interpolación de cada una de las velocidades medias del viento durante cada mes del año.

El mes de mayor generación eólica fue en enero y febrero, con 556,3 KWh/mes y 545,23 KWh/mes; esto debido a que esa época del año presenta las mejores condiciones de viento, a diferencia de meses como junio, agosto y septiembre que presentan niveles de generación bajos.

Interruptor de frenado.

Se acciona electromagnético por cortocircuito, mecánico (opcional), Aerodinámico mediante paso variable, se puede elegir si manual o automático por viento o por tensión de baterías, su ficha técnica se puede apreciar en el anexo 4.

Controlador eólico Pro-Grid o Controlador de Potencia.

Tiene como característica conexión de red o carga de baterías, amplio rango de entrada, su alta eficiencia garantiza una eficiente transmisión de potencia y protege el equipo eléctrico cuando cae la red eléctrica de repente, su ficha técnica se puede observar en el anexo 6.

Torre.

Se cotiz~~ó~~e una torre de 15 m ya que los datos de velocidades fueron tomados a 10 m y se ubicará en la parte trasera de las oficinas en el jardín, la torre es de celosía, presilla y tubular, abatibles o fijas.

Cálculo de conductores y protección contra sobretensión en DC y AC para el Aerogenerador.

Conductor en DC: La corriente de salida del aerogenerador es de 25 A, en DC, así se tiene según el artículo 690.8 (B) (1).

$$I_{\text{Circuito DC}} = I_{\text{Max Panel}} * 1,25$$

Ecuación 19. Corriente del circuito en DC

$$I_{\text{Circuito DC}} = 25 * 1,25 = 31,25 \text{ A}$$

Así, para esta corriente calculada para el circuito DC se tiene que el cable #10 AWG THHN cumple con lo necesario ya que máximo soporta una corriente de 30 A, como está~~a~~ sobre dimensionada a un 125% no tendremos problema. Esto según el NEC 2008, tabla 310.16.

La protección del controlador eólico es de 30 A, la salida de este es de 30 A

Conductor en AC: La corriente de salida del inversor es de 30 A, en AC, así se tiene según el artículo 690.8 (B) (1).

$$I_{\text{Circuito AC}} = I_{\text{Max Panel}} * 1,25$$

Ecuación 20. Corriente del circuito en AC

$$I_{\text{Circuito AC}} = 30 * 1,25 = 37,5 \text{ A}$$

Así, para esta corriente calculada para el circuito AC se tiene que el cable #8 AWG THHN cumple con lo necesario ya que máximo soporta una corriente de 40 A, como está~~a~~ sobre dimensionada a un 125% no tendremos problema. Esto según el NEC 2008, tabla 310.16, ~~el~~ disyuntor sería de 40 A.

Cantidad de paneles solares para el sistema mixto

Para diseñar el sistema fotovoltaico conectado a la red, con el que se busca que el sistema cubra el 80% de la carga demandada y el otro 20% lo cubra el aerogenerador.

Tabla 13. Consumo energético del año 2020 al 80% KWh/día del diseño 2

Consumo Energético Oficinas y Parque, periodo 2020		
Meses	Días	Energía KWh
Enero	31	3790,6
Febrero	29	4034,8
Marzo	31	4573,6
Abril	30	2901,8
Mayo	31	4498,4
Junio	30	3834,4
Julio	31	3546,6
Agosto	31	3556,4
Setiembre	30	3845,2
Octubre	31	3263,4
Noviembre	30	3158
Diciembre	31	3097,4
	Total KWh/Año	44100,60
	Total KWh/Mes	3675,05
	Total KWh/día al 100%	122,50
	Total KWh/día al 80% para generación Mixta	98,00

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que la potencia por cubrir es KWh diarios. Entonces, se debe pasar el consumo anual que son 44.100,60 KWh/Año dividido en 12 meses para sacar el consumo energético por mes que sería 3.675,05 KWh/mes, después se divide entre 30 días para sacar el consumo energético diario este sería 122,50 KWh/día al 100%, pero este diseño es al 80% entonces sería 98 KWh/día con la radiación promedio del caso #1 tabla 6.

Antes de este cálculo se debe definir la marca del fabricante va hacer la misma del diseño #1, marca Jinko Solar, modelo JKM410M, la información técnica de este equipo se encuentra adjuntada en la sección de anexos de este documento, específicamente en el anexo 1.

El siguiente es el cálculo de paneles, en el que se utiliza una de la ecuación 4 especificada en el marco teórico, que es la siguiente:

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

Donde:

Np: Es el número de paneles solares necesarios

E: Es el consumo energético real

Wp: Es la potencia pico del panel

HPS: Son las horas pico solar

En la ecuación anterior el autor considera un rendimiento energético del 90%, esto se traduce a la eficiencia de los paneles solares fotovoltaico.

$$Np = \frac{98 \text{ KWh/día}}{(0,9 * 0,41\text{Kw} * 5,15\text{hsp})}$$

Np= 52 paneles solares

El número de paneles sería de 52 paneles de 410 w, me da un rendimiento de 98,19 % de eficiencia en la tabla de consumo vrs generación, como este diseño es interconectado a la red eléctrica no tendremos problemas por parte de la generación de los paneles y eólico.

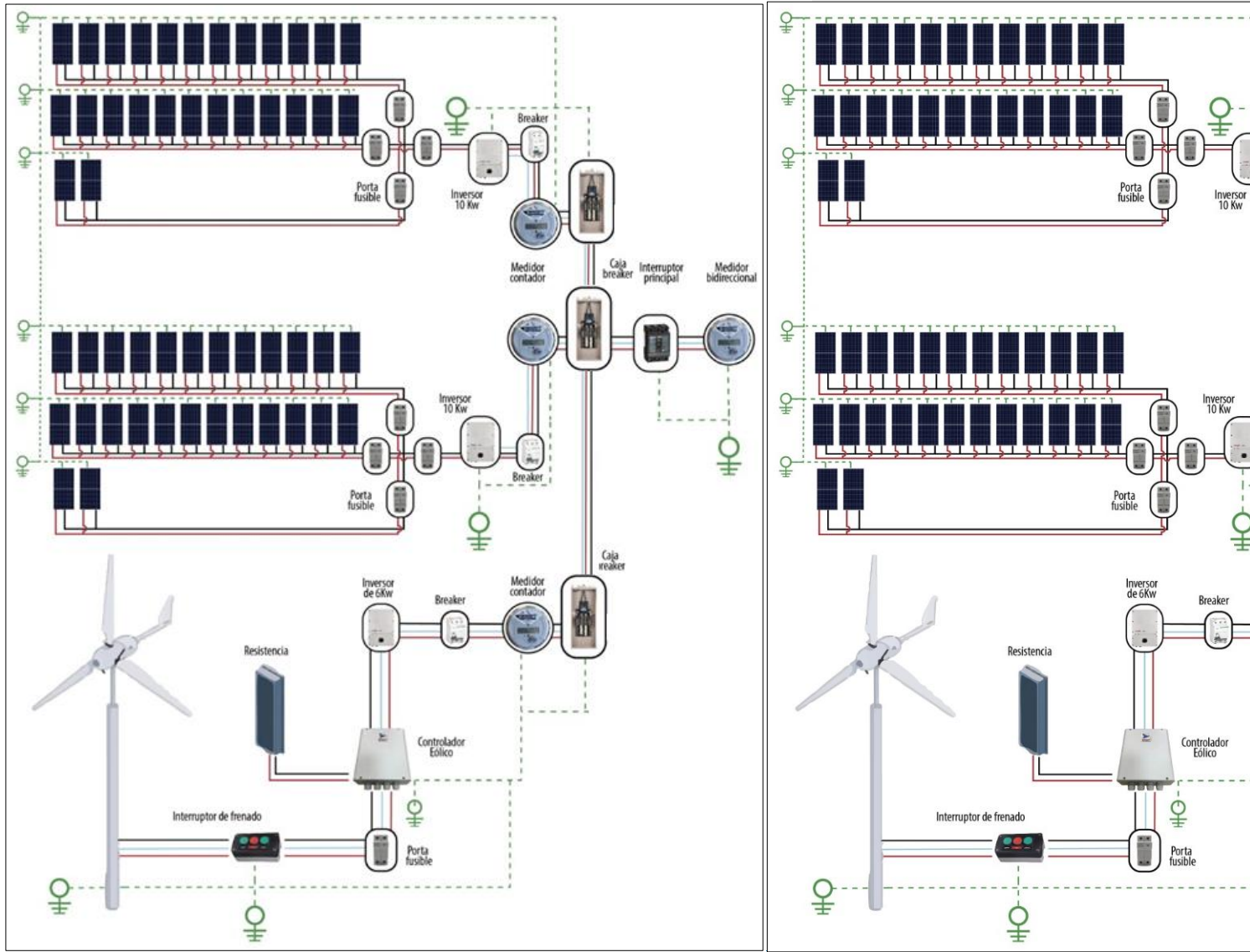
Selección del inversor sistema Solar del diseño 2.

Para el sistema fotovoltaico mixto se debe calcular la potencia total del arreglo de los 52 paneles, se multiplica esta cantidad de módulos por la potencia nominal de un solo panel, que en este caso es de 410 W. En total sería 21,3 KW. Se selecciona un inversor modelo Grid Tied Invert SolarEdge SE-10000A-US, este tiene en su entrada una potencia de 14,4 KW como son 2 inversores sería 28,8 KW, también tiene una tensión de entrada de 500 V y corriente de entrada 30,5 A, estos datos se pueden apreciar en su ficha técnica en el anexo 2 de este documento.

Cálculo del arreglo de paneles fotovoltaicos mixto.

Este cálculo es igual al diseño del caso #1 en diferencia que en este es de 52 paneles, este diseño fotovoltaico quedaría 1 sistema de 3 filas en paralelo en series de (12-12-2), de 26 Paneles con 1 inversor, el otro sistema sería igual pero con otro inversor, en total es de 52 paneles, a futuro se podrían agregar más paneles en ambos inversores.

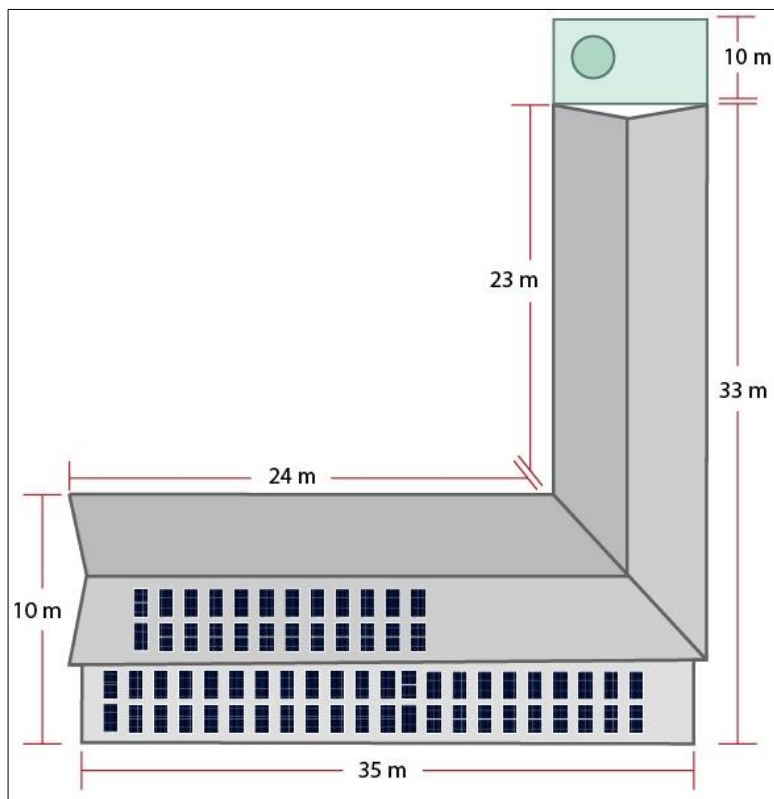
Figura 21. Arreglo de paneles solares 1 sistema de 3 filas en paralelo de (12-12-2) para un inversor y el otro sistema sería igual pero con el otro inversor, más el sistema eólico del diseño 2



Fuente: Elaboración propia con software SketchUP 2020.

El área del arreglo de paneles fotovoltaicos y el aerogenerador

Figura 22. Montaje de módulos fotovoltaicos a nivel de techo y área del aerogenerador del diseño 2



Fuente: Elaboración propia con software SketchUP 2020

Para el cálculo del área disponible del arreglo, la estructura de los paneles, el cálculo de los conductores de sistema fotovoltaico y el diseño de puesta tierra va a ser la misma del diseño 1, excepto el área disponible para el aerogenerador.

Diagrama Unifilar del diseño 2.

Figura 23. Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico con eólico del diseño 2

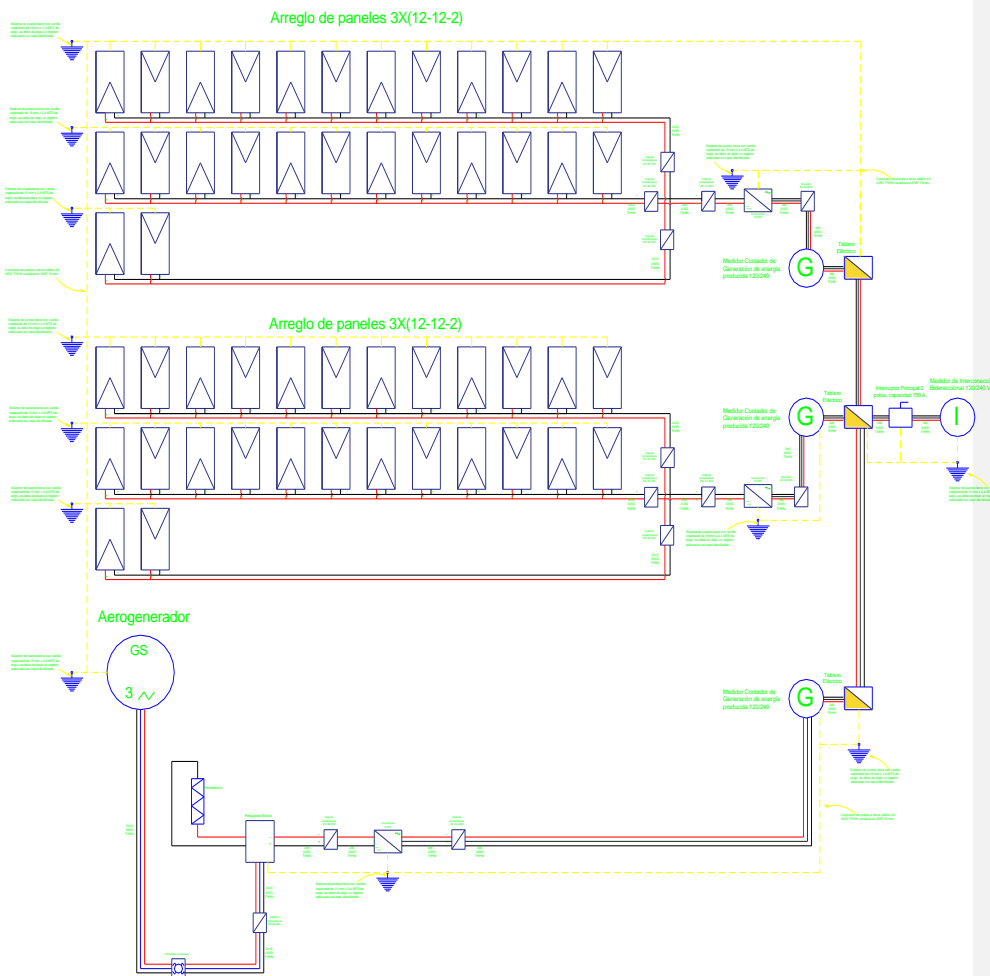


Diagrama Unifilar Fotovoltaico con eólico Caso #2

Fuente: Elaboración propia con software AutoCAD 2015

Cálculo de la potencia generada por el arreglo de 52 paneles solares y el aerogenerador ENAIR 70 PRO de 5,5 KW

A igual forma del diseño #1, se calcula la potencia generada por parte de los módulos fotovoltaicos tabla 14, esta se le suma la potencia generada por el aerogenerador eólico ENAIR 70 PRO de 5,5 KW tabla 12 y como resultado de la suma sería la tabla 15, como se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 14. Consumo energético vrs generación del sistema fotovoltaico con 52 paneles del diseño 2

Consumo Energético frente a generación solar con 52			
Meses	Consumo energético actual (KWh/mes)	Generación Fotovoltaica 52 paneles (KWh/mes)	Diferencia en energía requerida y inyectada (KWh/mes)
Enero	3790,6	3982,043	-191,443
Febrero	4034,8	4080,648	-45,848
Marzo	4573,6	4606,6124	-33,0124
Abril	2901,8	4112,628	-1210,828
Mayo	4498,4	3185,6344	1312,7656
Junio	3834,4	2603,172	1231,228
Julio	3546,6	2775,864	770,736
Agosto	3556,4	2841,956	714,444
Setiembre	3845,2	2641,548	1203,652
Octubre	3263,4	2722,9904	540,4096
Noviembre	3158	3006,12	151,88
Diciembre	3097,4	3568,968	-471,568
Anual (KWh/Año)	44100,60	40128,18	5925,12

Fuente: Elaboración propia

Con base en la tabla 14 adjuntada anteriormente se puede observar que el mes de octubre y noviembre requerimos energía de la red comercializadora, diferente al diseño 1 tabla #9, al ser menos paneles va ser menor la energía generada comparada al diseño 1.

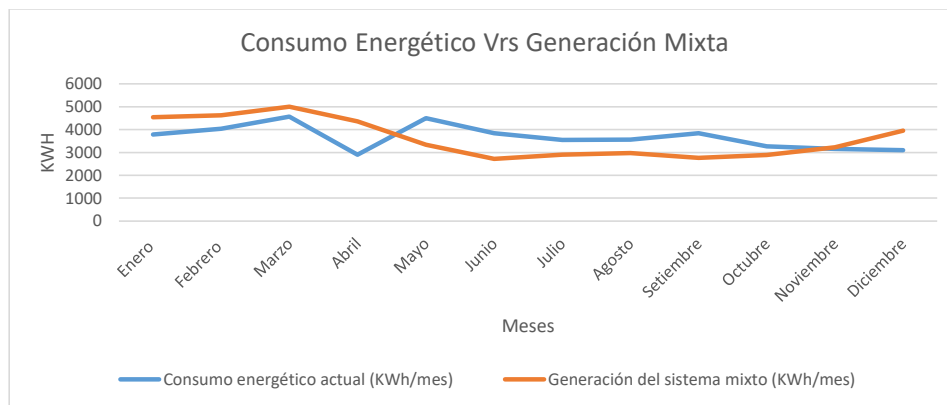
Tabla 15. Consumo energético frente a generación mixta con 52 paneles y 1 Aerogenerador del diseño 2

Consumo Energético frente a generación mixta con 52 Paneles y 1 Aerogeneradores Enair E70 PRO				
Meses	Consumo energético	Generación del sistema mixto	Diferencia en energía requerida y inyectada (KWh/mes)	Porcentaje de disminución del
Enero	3790,6	4538,3915	-747,7915	119,73%
Febrero	4034,8	4625,8845	-591,0845	114,65%
Marzo	4573,6	5003,2259	-429,6259	109,39%
Abril	2901,8	4360,360333	-1458,560333	150,26%
Mayo	4498,4	3341,390928	1157,009072	74,28%
Junio	3834,4	2724,266033	1110,133967	71,05%
Julio	3546,6	2909,257628	637,3423717	82,03%
Agosto	3556,4	2966,777183	589,6228167	83,42%
Setiembre	3845,2	2766,369183	1078,830817	71,94%
Octubre	3263,4	2887,382733	376,0172667	88,48%
Noviembre	3158	3226,072333	-68,07233333	102,16%
Diciembre	3097,4	3954,4695	-857,0695	127,67%
Anual (KWh/Año)	44100,60	43303,85	4948,96	98,19%

Fuente: Elaboración propia

Con base en la tabla 15 adjuntada anteriormente, se elabora un gráfico para visualizar el comportamiento del consumo energético con respecto a la generación mensual del sistema mixto de cada mes.

Gráfico 3. Consumo energético Vrs Generación Mixta del diseño 2



Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la tabla 15 y el gráfico 3 adjuntado anteriormente, se puede apreciar que en los meses de enero, febrero, marzo, abril, noviembre y diciembre generamos más energía que la que consumimos, porque son los meses de verano con mayor radiación solar y con mayor velocidades de viento y los meses como mayo, junio, julio, agosto, setiembre y octubre son los meses de invierno con menor radiación solar y menor velocidades de viento. El sistema eólico solo aportó un 18% del total de la energía y el sistema solar aportó el 80% de la energía.

Análisis financiero

Los cálculos realizados están sujetos a las normas de generación distribuida establecidas por la POASEN y los precios regulados por el ente regulatorio (ARESEP). Dichas normas dicen que el micro-generador debe consumir el 51% de lo que produce y podrá transar el 49% a un menor precio.

Según la publicación en La Gaceta N.º 81 del 28 de abril 2021, página 161 para tarifa T-RE, por cada KWh que se retire de la red con bloques de 0-30 KWh se cobra a ¢2013,90, bloque de 31-200 KWh se cobrarán ¢67,13, y bloque mayor a 200 KWh se cobra ¢94,63. Además, se cobra cada KWh por tarifa de acceso es de ¢23.77 cuando se baja de la red. (ver el anexo 9). Todos los cuadros y cálculos que se harán más adelante, se realizaron con ayuda de Excel, por lo que ya tienen estos datos implícitos en sus datos finales de ahorros energéticos y facturación.

Análisis financiero del diseño 1 solo con paneles solares, retorno de la inversión

Cálculo de la tarifa de energía

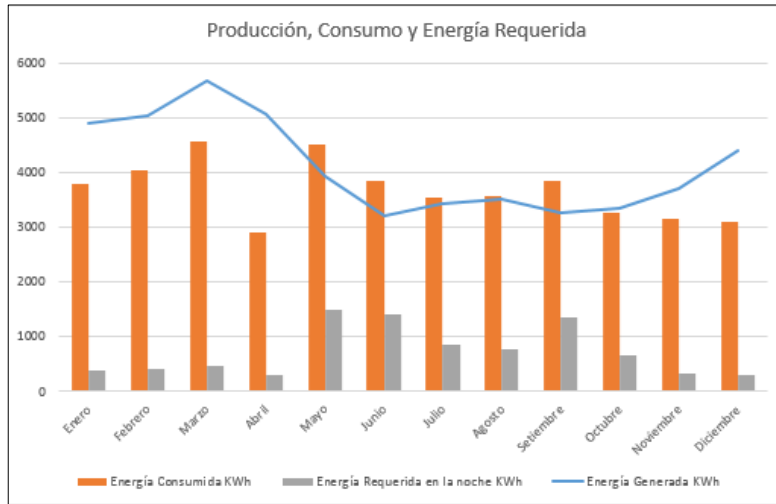
El siguiente cuadro muestra el análisis de consumos energéticos en el que se pueden apreciar las cantidades de energía bajadas de la red comercializadora, y también la cantidad de energía subida del mes anterior.

Tabla 16. Análisis de facturación con y sin paneles del diseño 1

Meses		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	
Energía Almacenada (mes anterior)	KWh	0	1110,376	566,29176	1384,885598	3254,601598	1659,846815	
Energía Generada	KWh	4900,976	5022,336	5669,6768	5061,696	3920,7808	3203,904	
Energía Consumida	KWh	3790,6	4034,8	4573,6	2901,8	4498,4	3834,4	
Energía Requerida en la noche	KWh	379,06	403,48	457,36	290,18	1477,2992	1397,376	
Energía subida a la red (sobrante)	KWh	1110,376	0	1096,0768	2548,309943	0	0	
Energía bajada de la red (comercializador electr.)	KWh	379,06	0	179,8770376	0	-117,4555828	584,0510608	
Bajada de la red propia (49%)	KWh	0	544,08424	277,4829624	678,5939428	1594,754783	813,3249392	
Tarifas T-Re: Tarifa Residencial (Por consumo KWh)								
Bloque de 0 a 30 KWh: Cargo fijo € 2013,90	€2.013,90	€60.417,00	€60.417,00	€60.417,00	€0,00	€60.417,00	€60.417,00	
Bloque de 31-200 KWh: Cada KWh € 67,13	€67,13	€11.344,97	€11.344,97	€11.344,97	€0,00	€0,00	€11.344,97	
Bloque mayor a 201 y más KWh: € 94,63	€94,63	€17.039,08	€19.349,94	€24.448,61	€0,00	€0,00	€36.437,38	
Sub total		€88.801,05	€91.111,91	€71.761,97	€0,00	€60.417,00	€108.199,35	
Tarifa de acceso a la red con 49 %	€23,77	€0,00	€12.932,88	€6.595,77	€16.130,18	€37.907,32	€19.332,73	
Cargos Fijos:								
Alumbrado Publico: Bloque de 0 a 30 KWH	€88,20	€2.646,00	€2.646,00	€2.646,00	€2.646,00	€2.646,00	€2.646,00	
Alumbrado Publico: Bloque de 31 a 50.000 KWH	€2,94	€1.026,24	€1.511,41	€1.256,44	€1.906,87	€4.255,06	€4.020,09	
Impuesto de Ventas: 5% sobre valor de energía	5%	€4.440,05	€5.202,24	€3.917,89	€806,51	€4.916,22	€6.376,60	
Impuesto Cuerpo de Bomberos: 1,75% sobre valor de la energía hasta 1750 Kwh	1,75%	€1.554,02	€1.820,78	€1.371,26	€282,28	€1.720,68	€2.231,81	
Facturación con proyecto		€98.467,35	€115.225,23	€87.549,33	€21.771,83	€111.862,27	€142.806,59	
Facturación 2020		€402.548	€517.612	€622.349	€302.842	€570.440	€524.146	
Meses		Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Energía Almacenada (mes anterior)	KWh	846,5218755	431,7261565	220,1803398	112,2919733	145,2417064	615,9132703	1601,34927
Energía Generada	KWh	3416,448	3497,792	3251,136	3351,3728	3699,84	4392,576	
Energía Consumida	KWh	3546,6	3556,4	3845,2	3263,4	3158	3097,4	
Energía Requerida en la noche	KWh	839,472	769,888	1363,104	652,68	315,8	309,74	
Energía subida a la red (sobrante)	KWh	0	0	0	87,9728	541,84	1287,233502	
Energía bajada de la red (comercializador electr.)	KWh	424,676281	558,3421833	1255,215633	597,6569331	244,6315639	7,942497573	
Bajada de la red propia (49%)	KWh	414,795719	211,5458167	107,8883665	55,02306692	71,16843613	301,7975024	
Tarifas T-Re: Tarifa Residencial (Por consumo KWh)								
Bloque de 0 a 30 KWh: Cargo fijo € 2013,90	€2.013,90	€60.417,00	€60.417,00	€60.417,00	€60.417,00	€60.417,00	€60.417,00	
Bloque de 31-200 KWh: Cada KWh € 67,13	€67,13	€11.344,97	€11.344,97	€11.344,97	€11.344,97	€11.344,97	€11.344,97	
Bloque mayor a 201 y más KWh: € 94,63	€94,63	€60.607,87	€54.023,13	€110.159,16	€42.931,74	€11.052,78	€10.479,33	
Sub total		€132.369,84	€125.785,10	€181.921,13	€114.693,71	€82.814,75	€82.241,30	
Tarifa de acceso a la red con 49 %	€23,77	€9.859,69	€5.028,44	€2.564,51	€1.307,90	€1.691,67	€7.173,73	
Cargos Fijos:								
Alumbrado Publico: Bloque de 0 a 30 KWH	€88,20	€12.443,87	€2.646,00	€2.646,00	€2.646,00	€2.646,00	€2.646,00	
Alumbrado Publico: Bloque de 31 a 50.000 KWH	€2,94	€2.379,85	€2.175,27	€3.919,33	€1.830,68	€840,25	€822,44	
Impuesto de Ventas: 5% sobre valor de energía	5%	€7.111,48	€6.540,68	€9.224,28	€5.800,08	€4.225,32	€4.470,75	
Impuesto Cuerpo de Bomberos: 1,75% sobre valor de la energía hasta 1750 Kwh	1,75%	€2.489,02	€2.289,24	€3.228,50	€2.030,03	€1.478,86	€1.564,76	
Facturación con proyecto		€166.653,74	€144.464,73	€203.503,74	€128.308,39	€93.696,86	€98.918,97	
Facturación 2020		€369.446	€479.281	€399.436	€336.700	€324.068	€317.616	
							Ahorro €3.753.254,96	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4. Producción, Consumo y Energía Requerida del diseño 1



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 16 y gráfico 4, se puede observar que en la noche se requiere energía, los meses de verano e invierno también se obtiene un almacenamiento mes a mes, especialmente en los meses de mayo, junio, julio, agosto y setiembre se requiere más energía y se baja de la red propia la energía almacenada aun 49%, aun precio de ¢23,77 por cada KWh, y el sobrante de la energía es subida a la red comercializadora.

Se obtiene un ahorro de tres millones setecientos cincuenta tres mil doscientos cincuenta cuatro, con cargos fijos de alumbrado público, bomberos, sin descontarle el mantenimiento porque este sería hasta el año de la fecha de inicio del proyecto. Además de esto se indica el costo de la interconexión por parte del ICE (ver el anexo 10).

Estimación de costo del sistema fotovoltaico

En la tabla siguiente se puede observar el costo de la inversión del proyecto.

Tabla 17. Análisis de costo de inversión del proyecto del diseño 1

Costo del sistema fotovoltaico 100%			
Descripción	unidades	Precio por unidad	Precio total
Paneles solares	64	€202.854,00	€12.982.656,00
Material de montaje y accesorios de instalación	1	€5.620.776,84	€5.620.776,84
Servicio técnico por instalación y puesta de marcha	1	€2.394.171,00	€2.394.171,00
Total			€20.997.603,84
Tipo de cambio el BCR del Euro 23-06-21 : \$1,18			
Tipo de cambio el BCR del Dolar 23-06-21 : \$613,89			

Fuente: Elaboración propia

Con la realización de la tabla 17 anterior, se obtiene un total de €20.997.603,84 sin el costo de mantenimiento con un tipo de cambio de €613,89 por dólar, dato que fue consultado el día 23 de junio del 2021 en la página web del Banco Central de Costa Rica.

Cálculo del retorno de la inversión

Para el cálculo del retorno de la inversión, se toma la tarifa por pagar sin los paneles a Coopeguanacaste R.L y se le resta la tarifa por pagar con el sistema de paneles, dando un total de flujo anual para el primer año de €3.170.058,96, esto ya descontado el costo de mantenimiento, aumento anual de la factura eléctrica estimada a un 5% anual, con una deficiencia anual del panel 1 %, con un cargo de interconexión de €48.687,00 y la tasa de interés de un 6,2% según el Banco Popular de Costa Rica ver anexo 11.

Tabla 18. Retorno de la inversión del diseño 1

Retorno de la inversión										
PERIODO	Anual	Costo del Mantenimiento Anual	Aumento anual de la Factura eléctrica	Deficiencia del panel Anual	Cargo de interconexión					
NUMERO DE PERIODO	25	€583.196,00	5%	1%	€48.687,00					
Tasa Interés BPCR	6%									
PERIODO	Anual	Costo del Mantenimiento Anual	Aumento anual de la Factura eléctrica	Deficiencia del panel Anual	Cargo de interconexión					
NUMERO DE PERIODO	25	€583.196,00	5%	1%	€48.687,00					
Tasa Interés BPCR	6%									
AÑOS	0	1	2	3	4	5	6			
INVERSION	-€21.046.290,84									
GASTOS FACTURACION SIN PANELES		€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00			
GASTOS FACTURACION CON PANELES		€1.413.229,04	€1.483.890,50	€1.558.085,02	€1.635.989,27	€1.717.788,74	€1.803.678,17			
FLUJOS	-€21.046.290,84	€3.170.058,96	€3.138.358,37	€3.106.974,78	€3.075.905,03	€3.045.145,98	€3.014.694,52			
VALOR ACUMULADO	-€21.046.290,84	-€17.876.231,88	-€14.737.873,52	-€11.630.898,74	-€8.554.993,70	-€5.509.847,72	-€2.495.153,20			
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00
€1.893.862,08	€1.988.555,19	€2.087.982,95	€2.192.382,09	€2.302.001,20	€2.417.101,26	€2.537.956,32	€2.664.854,14	€2.798.096,84	€2.938.001,69	€3.084.901,77
€2.984.547,58	€2.954.702,10	€2.925.155,08	€2.895.903,53	€2.866.944,50	€2.838.275,05	€2.809.892,30	€2.781.793,38	€2.753.975,44	€2.726.435,69	€2.699.171,33
€489.394,38	€3.444.096,49	€6.369.251,57	€9.265.155,10	€12.132.099,59	€14.970.374,64	€17.780.266,94	€20.562.060,32	€23.316.035,77	€26.042.471,45	€28.741.642,79
17	18	19	20	21	22	23	24	25		
€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00
€3.084.901,77	€3.239.146,86	€3.401.104,20	€3.571.159,41	€3.749.717,38	€3.937.203,25	€4.134.063,41	€4.340.766,58	€4.557.804,91	€4.786.804,91	€5.027.804,91
€2.699.171,33	€2.672.179,62	€2.645.457,82	€2.619.003,24	€2.592.813,21	€2.566.885,08	€2.541.216,23	€2.515.804,07	€2.490.646,03	€2.465.746,03	€2.441.196,03
€28.741.642,79	€31.413.822,41	€34.059.280,23	€36.678.283,47	€39.271.096,68	€41.837.981,76	€44.379.197,99	€46.895.002,06	€49.385.648,09	€51.847.804,91	€54.285.648,09
VAN DE AHORROS		€36.416.543,85								
TASA INTERNA DE RETORNO(TIR)		14%								
VAN DEL PROYECTO		€15.370.253,01								

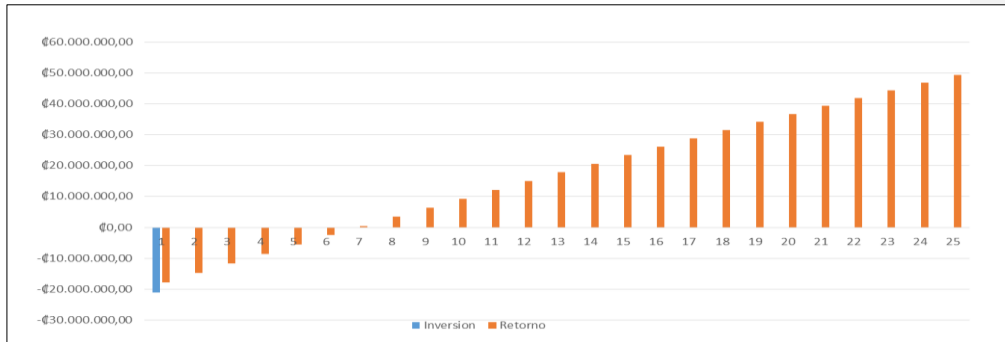
Con formato: Fuente: (Predeterminada) Times New Roman, 12 pto, Cursiva

Fuente: Elaboración propia

La vida útil del proyecto es de 25 años, el VAN de ahorros es de €36.416.543,85, la tasa interna de retorno (TIR) es de 14% y el VAN de proyecto es de €15.370.253,01.

A continuación se muestra el gráfico de la inversión vrs el retorno.

Gráfico 5. Inversión vrs el retorno del diseño 1



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en el gráfico anterior, la inversión es de $\text{C}\$21.046.290,84$ con el costo de mantenimiento y se recupera en 8 años.

Análisis financiero del diseño 2 con paneles solares y con 1 Aerogenerador, retorno de la inversión

Cálculo de la tarifa de energía

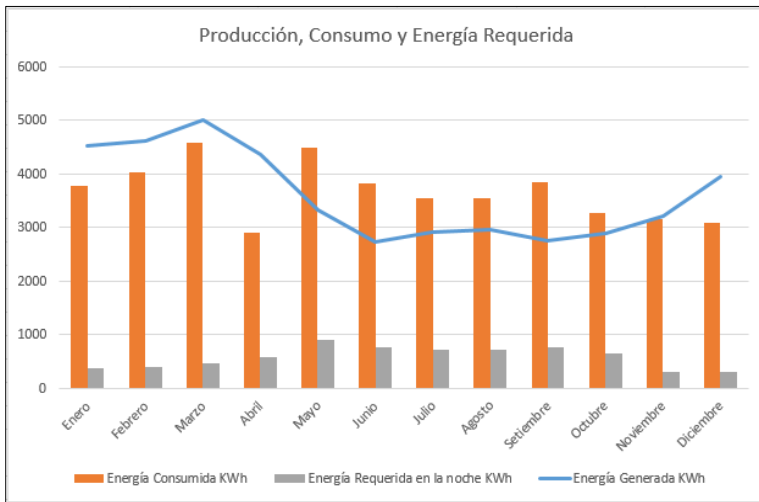
El siguiente cuadro muestra el análisis de consumos energéticos en el que se pueden apreciar las cantidades de energía bajadas de la red comercializadora, y también la cantidad de energía subida del mes anterior.

Tabla 19. Análisis de facturación con el sistema mixto con y sin proyecto del diseño 2.

Meses		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio		
Energía Almacenada (mes anterior)	KWh	0	747,7915	972,458165	925,5795641	1930,605911	984,6090146		
Energía Generada	KWh	4538,3915	4625,8845	5003,2259	4360,360333	3341,390928	2724,266033		
Energía Consumida	KWh	3790,6	4034,8	4573,6	2901,8	4498,4	3834,4		
Energía Requerida en la noche	KWh	379,06	403,48	457,36	580,36	899,68	766,88		
Energía subida a la red (sobrante)	KWh	747,7915	591,0845	429,6259	1458,560333	0	0		
Energía bajada de la red (comercializador electr.)	KWh	379,06	37,062165	0	0	0	284,4215828		
Bajada de la red propia (49%)	KWh	0	366,417835	476,5045008	453,5339864	945,9968964	482,4584172		
Tarifas T-Re: Tarifa Residencial (Por consumo KWh)									
Bloque de 0 a 30 KWh: Cargo fijo € 2013,90	€2.013,90	€60.417,00	€60.417,00	€60.417,00	€60.417,00	€60.417,00	€60.417,00		
Bloque de 31-200 KWh: Cada KWh € 67,13	€67,13	€11.344,97	€11.344,97	€11.344,97	€11.344,97	€11.344,97	€11.344,97		
Bloque mayor a 201 y más KWh: € 94,63	€94,63	€17.039,08	€19.349,94	€24.448,61	€36.088,10	€66.305,35	€53.738,48		
Sub total		€88.801,05	€91.111,91	€96.210,58	€107.850,07	€138.067,32	€125.500,45		
Tarifa de acceso a la red con 49 %	€23,77	€0,00	€8.709,75	€11.326,51	€10.780,50	€2.486,35	€11.468,04		
Cargos Fijos:									
Alumbrado Publico: Bloque de 0 a 30 KWh	€88,20	€2.646,00	€2.646,00	€2.646,00	€2.646,00	€2.646,00	€2.646,00		
Alumbrado Publico: Bloque de 31 a 50.000 KWh	€2,94	€1.026,24	€1.098,03	€1.312,72	€1.245,19	€2.693,03	€2.166,43		
Impuesto de Ventas: 5% sobre valor de energía	5%	€4.440,05	€4.991,08	€5.376,85	€5.931,53	€1.124,32	€6.848,42		
Impuesto Cuerpo de Bomberos: 1,75% sobre valor de la energía hasta 1750 Kwh	1,75%	€1.554,02	€1.746,88	€1.881,90	€2.076,03	€2.809,69	€2.396,95		
Facturación con proyecto		€98.467,35	€10.303,66	€118.754,57	€130.529,32	€169.826,70	€151.026,29		
Facturación 2020		€402.548	€517.612	€622.349	€302.842	€570.440	€524.146		
Meses		Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Energía Almacenada (mes anterior)	KWh	984,6090146	502,1505975	256,0968047	130,6093704	66,6107789	33,97149724	85,39779693	900,6223764
Energía Generada	KWh	2724,266033	2909,257628	2966,777183	2766,369183	2887,382733	3226,072333	3954,4695	€11.344,97
Energía Consumida	KWh	3834,4	3546,6	3556,4	3845,2	3263,4	3158	3097,4	
Energía Requerida en la noche	KWh	766,88	709,32	711,28	769,04	652,68	315,8	309,74	
Energía subida a la red (sobrante)	KWh	0	0	0	0	0	68,07233333	857,0695	
Energía bajada de la red (comercializador electr.)	KWh	284,4215828	463,2662072	585,7925657	705,0414085	620,0407183	299,1539664	267,8950795	
Bajada de la red propia (49%)	KWh	482,4584172	246,0537928	125,4874343	63,9985915	32,63928166	16,64603365	41,84492049	
Tarifas T-Re: Tarifa Residencial (Por consumo KWh)									
Bloque de 0 a 30 KWh: Cargo fijo € 2013,90	€2.013,90	€60.417,00	€60.417,00	€60.417,00	€60.417,00	€60.417,00	€60.417,00	€60.417,00	
Bloque de 31-200 KWh: Cada KWh € 67,13	€67,13	€11.344,97	€11.344,97	€11.344,97	€11.344,97	€11.344,97	€11.344,97	€11.344,97	
Bloque mayor a 201 y más KWh: € 94,63	€94,63	€53.738,48	€48.291,58	€48.477,06	€53.942,89	€42.931,74	€11.052,78	€10.479,33	
Sub total		€125.500,45	€120.053,55	€120.239,03	€125.704,86	€114.693,71	€82.814,75	€82.241,30	
Tarifa de acceso a la red con 49 %	€23,77	€11.468,04	€5.848,70	€2.982,84	€1.521,25	€775,84	€395,68	€994,65	
Cargos Fijos:									
Alumbrado Publico: Bloque de 0 a 30 KWh	€88,20	€2.646,00	€2.646,00	€2.646,00	€2.646,00	€2.646,00	€2.646,00	€2.646,00	
Alumbrado Publico: Bloque de 31 a 50.000 KWh	€2,94	€2.166,43	€1.997,20	€2.002,96	€2.172,78	€1.830,68	€840,25	€822,44	
Impuesto de Ventas: 5% sobre valor de energía	5%	€6.848,42	€6.295,11	€6.161,09	€6.361,31	€5.773,48	€19,78	€49,73	
Impuesto Cuerpo de Bomberos: 1,75% sobre valor de la energía hasta 1750 Kwh	1,75%	€2.396,95	€2.203,29	€2.156,38	€2.226,46	€2.020,72	€1.456,18	€1.456,63	
Facturación con proyecto		€151.026,29	€139.043,85	€136.188,30	€140.632,64	€127.740,42	€88.172,65	€88.210,75	€1.498.896,50
Facturación 2020		€524.146	€369.446	€479.281	€399.436	€336.700	€324.068	€317.616	€5.166.484
								Ahorro	€3.667.587,50

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6. Producción, Consumo y Energía Requerida del diseño 2



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 19 y gráfico 6, se puede observar que en la noche se requiere energía, los meses de verano e invierno también se obtiene un almacenamiento de mes a mes, especialmente en los meses de mayo, junio, julio, agosto y setiembre se requiere más energía y se baja de la red propia la energía almacenada a un 49%, a un precio de ₡23,77 por cada KWh si se tiene energía almacenada y si no, se bajaría de la red a precio comercial y el sobrante de la energía es subida a la red comercializadora.

Se obtiene un ahorro de tres millones seiscientos sesenta siete mil quinientos ochenta y siete, con cargos fijos de alumbrado público, bomberos, sin descontarle el mantenimiento porque este sería hasta el año de la fecha de inicio del proyecto. Además de esto se indica el costo de la interconexión por parte del ICE (ver el anexo 10).

Estimación de costo del sistema fotovoltaico a un 80%

En la tabla siguiente se puede observar el costo de la inversión del sistema fotovoltaico aun 80%.

Tabla 20. Análisis de costo de la inversión del sistema fotovoltaico a 80% del diseño 2

Costo del sistema fotovoltaico 80%			
Descripción	unidades	Precio por unidad	Precio total
Paneles solares	52	€202.854,00	€10.548.408,00
Material de montaje y accesorios de instalación	1	€5.620.776,84	€5.620.776,84
Servicio técnico por instalación y puesta de marcha	1	€2.394.171,00	€2.394.171,00
Total			€18.563.355,84
Tipo de cambio el BCR del Euro 23-06-21 : \$1,18			
Tipo de cambio el BCR del Dolar 23-06-21 : \$613,89			

Fuente: Elaboración propia

Con la realización de la tabla 20 anterior se obtiene un total de €18.563.355,84 sin el costo de mantenimiento con un tipo de cambio de €613,89 por dólar, dato que fue consultado el día 23 de junio del 2021 en la página web del Banco Central de Costa Rica.

Estimación de costo del sistema eólico

En la tabla siguiente se puede observar el costo de la inversión del sistema eólico, una turbina de 5,5 KW ERNAIR 70 PRO.

Tabla 21. Análisis de costo de la inversión del sistema Eólico del diseño 2

Costo del sistema Eólico			
Descripción	unidades	Precio por unidad	Precio total
Aerogenerador Ernair 70 pro 5,5 Kw, con freno de seguridad, aerodinámico, monitoreo remoto	1	€8.928.109,21	€8.928.109,21
Torre Ryse E-5, altura: 15 m	1	€1.482.783,27	€1.482.783,27
Transporte de material hasta Hojancha	189	€7.243,90	€1.369.097,10
SUB-TOTAL			€11.779.989,58
Costo de Mantenimiento			€117.799,90
10% Mano de obra			€1.177.998,96
2% Gastos administrativos			€235.599,79
Total			€13.193.588,33
Tipo de cambio el BCR del Euro 23-06-21 : \$1,18			
Tipo de cambio el BCR del Dolar 23-06-21 : \$613,89			

Fuente: Elaboración propia

Con la realización de la tabla 21 anterior se obtiene un total de ₡13.193.588,33 sin el costo de mantenimiento con un tipo de cambio de ₡613,89 por dólar, dato que fue consultado el día 23 de junio del 2021 en la página web del Banco Central de Costa Rica.

En total con los 2 sistemas sería una inversión inicial de ₡31.756.944,17

Cálculo del retorno de la inversión

Para el cálculo del retorno de la inversión, se toma la tarifa por pagar sin el sistema mixto a Coopeguanacaste R.L y se le resta la tarifa por pagar con el sistema mixto, dando un total de flujo anual para el primer año de ₡2.966.591,60, esto ya descontado el costo de mantenimiento, aumento anual de la factura eléctrica estimada a un 5% anual, con una deficiencia anual del sistema mixto 2 %, con un cargo de interconexión de ₡48.687,00 y tasa de interés de un 6,2% según el [Banco Popular](#) de Costa Rica ver anexo 12.

Tabla 22. Retorno de la inversión del diseño 2

Retorno de la inversión											
PERIODO	Anual		Costo del Mantenimiento Anual	Aumento anual de la Factura eléctrica	Deficiencia del Sistema Mixto Anual	Cargo de Interconexión					
NUMERO DE PERIODO	25		€700.995,90	5%	2%	€48.687,00					
Tasa de interés BPCR	6%										
AÑOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INVERSION	-€31.756.944,17										
GASTOS FACTURACION SIN PANELES		€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00
GASTOS FACTURACION CON PANELES		€1.498.896,50	€1.573.841,33	€1.652.533,40	€1.735.160,07	€1.821.918,07	€1.913.013,97	€2.008.664,67	€2.109.097,90	€2.214.552,80	€2.325.280,44
FLUJOS	-€31.756.944,17	€2.966.591,60	€2.936.925,68	€2.907.556,43	€2.878.480,86	€2.849.696,05	€2.821.199,09	€2.792.987,10	€2.765.057,23	€2.737.406,66	€2.710.032,59
VALOR ACUMULADO	-€31.756.944,17	-€28.790.352,57	-€25.853.426,88	-€22.945.870,46	-€20.067.389,59	-€17.217.693,54	-€14.396.494,45	-€11.603.507,34	-€8.838.450,11	-€6.101.043,45	-€3.391.010,86
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€3.607.273,16	€3.787.636,81	€3.977.018,65
	€2.008.664,67	€2.109.097,90	€2.214.552,80	€2.325.280,44	€2.441.544,46	€2.563.621,68	€2.691.802,77	€2.826.392,91	€2.475.661,52	€2.450.904,90	€2.426.395,85
	€2.792.987,10	€2.765.057,23	€2.737.406,66	€2.710.032,59	€2.682.932,27	€2.656.102,94	€2.629.541,92	€2.603.246,50	€2.475.661,52	€2.450.904,90	€2.426.395,85
	-€11.603.507,34	-€8.838.450,11	-€6.101.043,45	-€3.391.010,86	-€708.078,59	€1.948.024,35	€4.577.566,27	€7.180.812,77	€2.475.661,52	€2.450.904,90	€2.426.395,85
	22	23	24	25							
	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€5.166.484,00	€3.607.273,16	€3.787.636,81	€3.977.018,65
	€3.607.273,16	€3.787.636,81	€3.977.018,65	€4.175.869,59	€4.384.663,07	€4.603.896,22	€4.834.091,03	€5.074.316,84	€3.607.273,16	€3.787.636,81	€3.977.018,65
	€2.475.661,52	€2.450.904,90	€2.426.395,85	€2.402.131,89	€2.378.110,57	€2.354.329,47	€2.330.786,17	€2.307.500,86	€2.475.661,52	€2.450.904,90	€2.426.395,85
	€19.811.725,87	€22.262.630,77	€24.689.026,62	€27.091.158,51	€29.469.269,09	€31.823.598,56	€34.154.384,73	€36.569.816,51	€19.811.725,87	€22.262.630,77	€24.689.026,62
VAN DE AHORROS			€34.079.181,06								
TASA INTERNA DE RETORNO(TIR)			7%								
VAN DEL PROYECTO			€2.322.236,89								

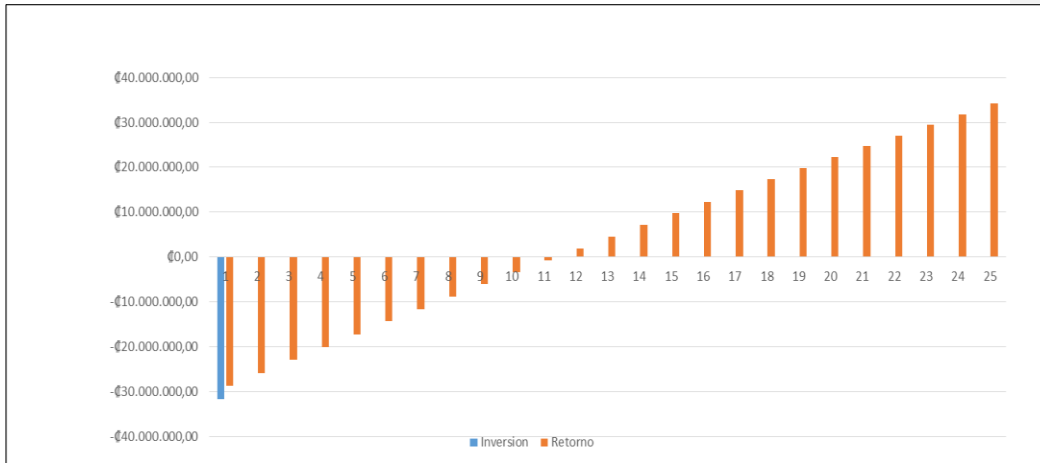
Con formato: Fuente: (Predeterminada) Times New Roman, 12 pto, Cursiva

Fuente: Elaboración propia

La vida útil del proyecto es de 25 años, el VAN de ahorros es de €34.079.181,06, la tasa interna de retorno (TIR) es de 7% y el VAN de proyecto es de €2.322.236,89.

A continuación se muestra el gráfico de la inversión vrs el retorno.

Gráfico 7. Inversión vrs el retorno del diseño 2



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en el gráfico anterior, la inversión es de $\text{C}\$31.756.944,17$ con el costo de mantenimiento y se recupera en 12 años.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En cuanto al análisis financiero, se obtuvieron resultados diferentes en ambos diseños, en el diseño 1 de solo sistema fotovoltaico se obtuvo una inversión inicial de ₡21.046.290,84 sin el costo del mantenimiento, menor al diseño 2 que se obtuvo una inversión inicial de ₡31.756.944,17, esto porque cuenta con un sistema mixto, entonces se suman las 2 cotizaciones. La vida útil del proyecto es de 25 años ya que es la vida útil de los paneles solares, en el diseño 1 se obtiene un VAN de ahorros de ₡36.416.543,85 mayor que del diseño 2 de un VAN de ahorros de ₡34.079.181,06, en la tasa interna de retorno TIR para el diseño 1 se obtiene un 14% el doble a la tasa interna de retorno del diseño 2 que dio como resultado de un 7%, en los años de recuperación de la inversión o Payback en el diseño 1, se recupera la inversión a los 7 años; casi la mitad de años que se recupera la inversión del diseño 2, que dio como resultado 12 años, ambos diseños están sujetos a las normas de generación distribuida establecidas por la POASEN y los precios regulados por el ente regulatorio (ARESEP). Dichas normas establecen que el micro-generador debe consumir el 51% de lo que produce y podrá transar el 49% a un menor precio, aumento anual de la factura eléctrica estimada a un 5% anual, con una deficiencia anual del panel 1 %, con un cargo de interconexión de ₡48.687,00 que se puede apreciar en el anexo 11 y una tasa de interés de un 6,2% que se puede apreciar en el anexo 11.

Financieramente y técnicamente ambos diseños dan el mismo resultado sin aerogenerador, el diseño 2 es menos rentable y el tiempo de recuperación es mayor que el diseño 1, en el primer diseño si se aumentaran más paneles, aun así ~~es~~ más rentable que el diseño 2.

La cantidad de paneles que se obtuvo en el diseño 1 de 64 paneles y el diseño 2 de 52 paneles, ambos diseños no tiene afectación con el área de techado que es de 1.311 m².

La inclinación del techo de las oficinas de la municipalidad, permite el ángulo de inclinación que se calculó en la página 94 de este documento.

Como se puede analizar los datos de radiación solar de Hojancha Guanacaste en la tabla 6, el mes de junio presenta la radiación más baja del año de 4,07 KWh, y la radiación más alta la presenta

marzo con 6,97 KWh, sacando un promedio de todos los meses del año, da como resultado 5,16 KWh.

Según los datos estadísticos por el IMN en la tabla 10, se puede apreciar que las velocidades de viento en Hojancha, Guanacaste son de una magnitud baja, ya que los promedios mensuales de las velocidades oscilan entre 2,7 m/s la más baja y 4,9 m/s la más alta, en comparación con las velocidades de arranque del aerogenerador que es de 2 m/s, las generación de producción de energía mensual por un aerogenerador a velocidades promedio de 3,52 anual-mente se obtiene 3175,66 KWh tabla 12, comparada al tabla 11 de producción de un aerogenerador sacada de la curva de generación anual que se puede apreciar en el anexo 5, la velocidades de viento que ofrece la zona de Hojancha Guanacaste no alcanza el 50% de eficiencia de producción anual de aerogenerador.

Como se analiza en el diseño 1 en la tabla 9, tabla 16, el gráfico 2 y 4, también en el diseño 2 tabla 15, tabla 19, gráfico 3 y 6 adjuntado en el desarrollo, se puede apreciar que en todos los meses se requiere energía de la red eléctrica en la noche, en meses de verano generamos más energía que la que consumimos, porque son los meses con mayor radiación solar y con mayor velocidades de viento y los meses de invierno con menor radiación solar y menor velocidades de viento y se requiere más energía de la red eléctrica.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Debido a la cantidad de metros cuadrados se estableció un área total de 1.311,52 metros cuadrados para el arreglo fotovoltaico del diseño 1 y para el sistema mixto (paneles-aerogenerador) del diseño 2. como se puede observar en el capítulo 1 del diagnóstico, página 50.
- → La estimación del promedio mensual de energía solar o condiciones de irradiación solar de Hojancha Guanacaste, datos recopilados por el IMN se pueden observar en el capítulo 4 del desarrollo página 92, se obtiene una radiación promedio de 5,15 KWh. -la municipalidad está en capacidad de generar su propia energía y de poder producir excedentes debido a que tiene suficiente espacio en el techo, pero esos excedentes debido a la normativa de ARESEP del artículo 41 página 84 de marco teórico, habla de exceso de energía superior al 49% de la energía total generada que haya sido depositada en la red de distribución, no será sujeta a ningún tipo de retribución económica, ni intercambio de energía, debido a que la ley no permite el pago de energía excedente.
-
- Se obtuvo para el primer diseño un total de números paneles de 64 y para el segundo diseño se obtuvo 52 paneles más el aerogenerador de 5,5 KW, para ambos diseños se calculó la longitud de la varrilla copperweld de 2,44 m como mínimo en el sistema de puesta tierra por el método de wenger como indica el artículo 690.47 de sistema del electrodo de puesta a tierra del NEC-2008, se recomienda hacer una prueba de resistividad del suelo ya que ambos diseños se instalarán a nivel de techo están más propenso sobretensiones producidas por las descargas atmosféricas, a pesar de que tenga un sistema de puesta tierra, no se está considerado los sistema de pararrayos por lo que se concluye, que de no instalarse un buen sistema adecuado contra descarga atmosférica la municipalidad podría sufrir daños en la infraestructura.

- [La estimación promedio de velocidades de vientos en Hojancha Guanacaste, datos recopilados por el IMN a una altura aproximadamente a 10 metros de altura, se pueden observar en el capítulo 4 del desarrollo, página 109, la velocidad promedio es de 3,52 m/s, se escogió un aerogenerador marca ERNAIR 70 PRO de 5,5 KW.](#)

- Técnicamente es viable realizar cualquiera de los 2 diseños y a pesar de lo anterior se selecciona el que financieramente es más adecuado es el diseño 1, debido a que su retorno de inversión es menor, y además tiene un valor actual neto mayor de ₡36.416.543,85 y se recupera en 7 años.

Recomendaciones

- A partir de lo determinado a través del presente estudio, se recomienda que durante el desarrollo de la obra se trate de seguir las especificaciones de los diseños, para que su ejecución sea lo más cercana a ellos en la realidad, dado que estos fueron desarrollados tomando en cuenta las necesidades específicas del proyecto y buscando la eficiencia en su operación.

También se debe seguir las recomendaciones de los ingenieros encargados de la obra, en caso de requerirse modificaciones de éste.

- Debido a la zona que es de muy alta incidencia en descarga atmosférica por estar cerca de gran cantidad de árboles del parque urbano- recreativo y la torre del aerogenerador, se recomienda que se instale un sistema de pararrayos adecuado para el mismo, que tome en cuenta el radio de protección necesario para mantener seguras no solo las instalaciones, sino también las personas que se encuentren allí.
- Se recomienda que la torre del aerogenerador esté a 10 m lejos de un árbol o una estructura.
- También se puede programar un mantenimiento por lo menos una vez al año para evitar anomalías en el funcionamiento de los paneles solares, y así garantizar la vida útil de estos.
- Se puede incorporar funciones tecnológicas que tienen los inversores que, por ejemplo, permiten monitorear por internet datos importantes de generación fotovoltaica, para así tener un control más preciso de los ahorros energéticos o posibles fallos en el sistema.
- Se recomienda que la municipalidad coordine con coopeguanacaste, para que le haga un análisis de la capacidad en los circuitos y en el mejor de los casos le reserve dicha capacidad, para que la municipalidad tenga suficiente tiempo para realizar el proyecto. Dicha información se puede observar en el Anexo 12 de capacidad de circuito del año 2019.

REFERENCIAS

- "ARESEP". (2015). *Planeación, operación y acceso al sistema eléctrico nacional (AR-NT-Poasen)*. Recuperado el 04 de Marzo de 2021, de <https://aresep.go.cr/normativa/1392-normativa-tecnica-nacional>
- Aerogeneradores, E. (12 de 06 de 2021). *Enair*. Obtenido de <https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e70pro>
- ARESEP. (2014). *Supervisión de la comercialización del servicio eléctrico en baja y media tensión*. Obtenido de <https://aresep.go.cr/electricidad/normativa/1392-normativa-tecnica-nacional>
- AutoSolar. (2021). *Inversores Híbridos*. Obtenido de <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/que-es-un-inversor-hibrido>
- Bidireccional, M. (2018). *Medidor Bidireccional*. Obtenido de <https://calefaccion-solar.com/beneficios-de-un-medidor-bidireccional.html#:~:text=pr%C3%B3ximos%2012%20meses.-,Un%20medidor%20bidireccional%20es%20la%20mejor%20opci%C3%B3n%20para%20las%20personas,esta%20dando%20a%20los%20paneles>.
- Carrillo, J. (2009). *Tipo de Radiaciones Solares*. Recuperado el 23 de Febrero de 2021, de <https://1library.co/document/oy86le0q-electrificacion-energias-alternativas-utilizando-fotovoltaicas-electrificar-colorada-municipio.html>
- Castejon, A. (2009). *Instalaciones solares Fotovoltaica*. España: Editex,S.A.

Coopeguanacaste. (03 de Marzo de 2021). *Tarifas ARESEP*. Recuperado el 04 de Marzo de 2021, de <https://www.coopeguanacaste.com/es/servicios/facturacion-de-energia/tarifas-aresep>

Cortez Valladares, N. (Octubre de 2017). *Sistema Fotovoltaico*. Recuperado el 23 de Febrero de 2021, de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/15006/1/Estudio%20de%20los%20efectos%20en%20el%20factor%20de%20potencia%20y%20en%20el%20contenido%20arm%C3%B3nico%20producido%20por%20el%20montaje%20de%20un%20generador%20fotovoltaico%20en%20una%20instalaci%C3%B3n%20el%C3%A9>

Directivos. (2018). *"Valor Actual Neto"*. Recuperado el 03 de Marzo de 2021, de <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>

Earth, G. (21 de 05 de 2021). *Google Earth*. Obtenido de <https://earth.google.com/web/search/Municipalidad+de+Hojancha,+Avenida+1,+Provincia+de+Guanacaste,+Hojancha/@10.05858536,->

Heinrich Bettoni, K. (2013). *Radiación solar en Costa Rica*. Recuperado el 23 de Febrero de 2021, de <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Series+de+Brillo+Solar+en+Costa+Rica>

Heliofanía. (2021). *La heliofanía representa la cantidad del brillo del sol y está ligada al hecho de*. Recuperado el 04 de Marzo de 2021, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Heliofan%C3%ADa#:~:text=La%20heliofan%C3%ADa%20representa%20la%20cantidad,solar%20difusa%2C%20interrumpi%C3%A9ndose%20el%20registro.>



- Hernandez, M. (2012). Estudio de una instalacion mixta, Fotovoltaica y eolica, aplicada a una casa rural. En *Estudio de una instalacion mixta, Fotovoltaica y eolica, aplicada a una casa rural* (pág. 5). Avila, España.
- IMN. (2013). *Brillo solar anual de Costa Rica*. Recuperado el 04 de Marzo de 2021, de <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Series+de+Brillo+Solar+en+Costa+Rica>
- IMN. (03 de Marzo de 2021). *Estación Automática de Hojanca en Guanacaste*. Recuperado el 03 de Marzo de 2021, de <https://www.imn.ac.cr/especial/estacionPilangosta.html>
- IMS. (21 de 06 de 2021). *Clima de Hojanca Guanacaste, Costa Rica*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/14908/Clima-promedio-en-Hojancho-Costa-Rica-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Insolación. (2021). *Insolación*. Recuperado el 04 de Marzo de 2021, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Insolaci%C3%B3n>
- Irradiancia. (2021). <https://es.wikipedia.org/wiki/Irradiancia>. Recuperado el 04 de Marzo de 2021, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Irradiancia>
- MINAE. (2014). *Reglamento sobre la generación distribuida para autoconsumo con fuentes*. Obtenido de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=80310&nValor3=101897¶m2=1&strTipM=TC&IResultado=3&strSim=simp
- Mpptsolar. (2016). *Conexion en Paralelo y Serie de Paneles Solares*. Recuperado el 23 de Febrero de 2021, de <https://www.mpptsolar.com/es/paneles-solares-paralelo.html>




- NASA. (14 de 03 de 2019). *NASA*. Obtenido de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- NEC. (2008). *Colegio Eléctrico Nacional*.
- Patiño, M. (2007). *Mapa de velocidades de viento para Costa Rica*. Obtenido de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/1348/boletin-05.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Solar, E. (2016). *Energía Solar*. Recuperado el 23 de Febrero de 2021, de https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar
- Solargis. (2014). *Irradiación solar global en Costa Rica*. Recuperado el 23 de Febrero de 2021, de www.Solargis.com
- Tecnología, R. (2009). *Los Aerogeneradores y su Mantenimiento*. Madrid: RENOVETEC. Obtenido de <http://www.mantenimientodeaerogeneradores.com/index.php/clasificacion-de-aerogeneradores>
- Twenergy. (11 de Noviembre de 2019). *Energía Eólica*. Recuperado el 24 de Febrero de 2021, de <https://twenergy.com/energia/energia-eolica/>
- Windpower. (2016). *Diseño de un aerogenerador de baja potencia*.

ANEXOS

Anexo 1: Ficha técnica del panel solar

SPECIFICATIONS										
Module Type	JKM390M-72H		JKM395M-72H		JKM400M-72H		JKM405M-72H		JKM410M-72H	
	JKM390M-72H-V	JKM395M-72H-V	JKM400M-72H-V	JKM405M-72H-V	JKM410M-72H-V	JKM410M-72H-V	JKM410M-72H-V	JKM410M-72H-V	JKM410M-72H-V	JKM410M-72H-V
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	390Wp	287Wp	395Wp	291Wp	400Wp	294Wp	405Wp	298Wp	410Wp	302Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	39.64V	37.0V	39.90V	37.4V	40.16V	37.6V	40.42V	37.8V	40.68V	38.0V
Maximum Power Current (Imp)	9.84A	7.75A	9.90A	7.77A	9.96A	7.82A	10.02A	7.88A	10.08A	7.94A
Open-circuit Voltage (Voc)	48.6V	45.8V	48.8V	46.0V	49.1V	46.2V	49.4V	46.5V	49.6V	46.7V
Short-circuit Current (Isc)	10.46A	8.45A	10.54A	8.51A	10.61A	8.57A	10.69A	8.63A	10.76A	8.69A
Module Efficiency STC (%)	19.38%		19.63%		19.88%		20.13%		20.38%	
Operating Temperature (°C)	-40°C~+85°C									
Maximum System Voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum Series Fuse Rating	20A									
Power Tolerance	0~+3%									
Temperature Coefficients of Pmax	-0.35%/°C									
Temperature Coefficients of Voc	-0.29%/°C									
Temperature Coefficients of Isc	0.048%/°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. JKM390-410M-72H-(V)-A4-EN-F30

Engineering Drawings

Front Side Back

Length: ±2mm
Width: ±2mm
Height: ±1mm
Row Pitch: ±2mm

Electrical Performance & Temperature Dependence

Current-Voltage & Power-Voltage Curves (390W)

Current (A)

Power (W)

Voltage (V)

Temperature Dependence of Isc, Voc, Pmax

Normalized Isc, Voc, Pmax (%)

Cell Temperature (°C)

Mechanical Characteristics


Cell Type	Mono PERC 158.75×158.75mm
No. of Half-cells	144 (6×24)
Dimensions	2008×1002×30mm (79.06×39.45×1.18 inch)
Weight	22.0 kg (48.5 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm ² , (+) 290mm, (-) 145mm or Customized Length

Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)

35pcs/pallet , 70pcs/stack, 770pcs/40'HQ Container




Anexo 2: Ficha técnica del inversor central SolarEdge SE-11400A-US y SE-10000A-US



Single Phase Inverters for North America
 SE3000A-US / SE3800A-US / SE5000A-US / SE8000A-US /
 SE7600A-US / SE10000A-US / SE11400A-US

	SE3000A-US	SE3800A-US	SE5000A-US	SE6000A-US	SE7600A-US	SE10000A-US	SE11400A-US	
OUTPUT								
Nominal AC Power Output	3300	3840	5000	6000	7680	9980 @ 208V 10000 @ 240V	11520	VA
Max. AC Power Output	3650	4150	5400 @ 208V 5450 @ 240V	6000	8350	10800 @ 208V 10950 @ 240V	12000	VA
AC Output Voltage Min.-Nom.-Max.*	-	-	✓	-	-	✓	-	
183 - 208 - 229 Vac								
AC Output Voltage Min.-Nom.-Max.*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
211 - 240 - 264 Vac								
AC Frequency Min.-Nom.-Max.*			50.3 - 60 - 60.5 (with HI country setting 57 - 60 - 60.5)					Hz
Max. Continuous Output Current	14	16	21 @ 240V	25	32	48 @ 208V 42 @ 240V	48	A
GFD				1				A
Utility Monitoring, Islanding Protection, Country Configurable Thresholds				Yes				
INPUT								
Recommended Max. DC Power** (STC)	4300	4800	6250	7500	9600	12400	14400	W
Transformer-less, Ungrounded				Yes				
Max. Input Voltage				500				Vdc
Nom. DC Input Voltage				325 @ 208V / 350 @ 240V				Vdc
Max. Input Current***	11	13	16.5 @ 208V 15.5 @ 240V	18	23.5	33 @ 208V 30.5 @ 240V	35	Adc
Max. Input Short Circuit Current			30			45		Adc
Reverse-Polarity Protection				Yes				
Ground-Fault Isolation Detection				500µs Sensitivity				
Maximum Inverter Efficiency	97.7	98.2	98.3	98.3	98	98	98	%
CEC Weighted Efficiency	97.5	98	97.5 @ 208V 98 @ 240V	97.5	97.5	97 @ 208V 97.5 @ 240V	97.5	%
Nighttime Power Consumption			< 2.5			< 4		W
ADDITIONAL FEATURES								
Supported Communication Interfaces			RS485, RS232, Ethernet, ZigBee (optional)					
STANDARD COMPLIANCE								
Safety			UL1741, UL1699B, UL1998, CSA 22.2					
Grid Connection Standards			IEEE1547					
Emissions			FCC part15 class B					
INSTALLATION SPECIFICATIONS								
AC output conduit size / AWG range			3/4" minimum / 24-6 AWG			3/4" minimum / 8-3 AWG		
DC input conduit size / # of strings / AWG range			3/4" minimum / 1-2 strings / 24-6 AWG			3/4" minimum / 1-2 strings / 14-6 AWG		
Dimensions with AC/DC Safety Switch (HxWxD)	30.5 x 12.5 x 7.1		30.5 x 12.5 x 7.5			30.5 x 12.5 x 10.5 / 775 x 315 x 260		in / mm
Weight with AC/DC Safety Switch	51.2 / 23.2		54.7 / 24.7			88.4 / 40.1		lb / kg
Cooling			Natural Convection			Fans (user replaceable)		
Noise			< 25			< 50		dB(A)
Min.-Max. Operating Temperature Range			-13 to +140 / -25 to +60 (CAN version**** -40 to +60)					F / °C
Protection Rating			NEMA 3R					

* For other regional settings please contact SolarEdge support
 ** Limited to 1200V for locations where the yearly average high temperature is below 77°F(25°C) and to 1250V for locations where it is below 77°F(25°C).
 For detailed information, refer to http://www.solar-edge.com/resources/inverter_dc_maximum_voltage.pdf
 *** A higher current source may be used; the inverter will limit its input current to the values stated.
 **** CAN #760 are eligible for the Ontario FIT and microFIT (microFIT sec. SE11400A-US CAN).

© SolarEdge Technologies, Inc. All rights reserved. SOLAREDGE, the SolarEdge logo, OPTIMIZED BY SOLAREDGE and Systematic are registered trademarks of SolarEdge Technologies, Inc. All other trademarks mentioned herein.

Anexo 3. Ficha estructura para montar módulos solares

SUNFER ENERGY STRUCTURES

Instalación integrada para cubiertas metálicas

Integrada 1 columna

Artículo nº KH915

Soporte diseñado para capacidad para 1 columna de MFV en horizontal con la misma inclinación que la cubierta existente. (También se puede instalar en 1 fila de MFV en vertical).

Artículo	Capacidad	Tamaño de módulo	Materiales
KH915 [1x4]	4 Módulos Fotovoltaicos Dependiente de 1 a 20 módulos.	1650x1000[35,40,45,50] 2000x1000[35,40,45,50]	Aluminio EN AW 6005A T6 Tornillería Acero inoxidable



Ángulo fijación a cubiertas metálicas



Guía módulo



Detalle ángulo fijación

Montaje:
Estructura atornillada, regulable.





Sistema con perfil de unión de guías



Detalle gresor lateral e intermedio





Este soporte está disponible en dos versiones:
KH915 Estándar. Altura libre del módulo 60 mm.
KH915 Elevado. Altura libre del módulos 130 mm.

Condiciones de diseño:
UNE-EN 1991-1-3:2004 Cargas de nieve. 200 N/m²
UNE-EN 1991-1-4:2007 Cargas de viento. V₀: 29 m/s
Consultar la normativa vigente en el punto de instalación.

Nota:
Previamente, se tiene que comprobar que la fijación de la chapa a la subestructura y que la capacidad de soporte mínima de la chapa son suficientes. Especialmente, en el caso de elementos sándwich, debido a su excesiva capacidad de soporte, por norma general, no se puede realizar la fijación directa a la chapa de cubierta. El gresor mínimo de la chapa trapezoidal de acero es, por norma general, de 0,6 mm.
Se recomienda atornillar el soporte a la subestructura del tejado.

Anexo 4: Ficha técnica del aerogenerador ENAIR 70 PRO



E70PRO

FICHA TÉCNICA

Con una velocidad de viento medio situado en la nominal de 11m/s el modelo Enair 70PRO es capaz de generar más de 70kWh/día

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS, ELÉCTRICAS Y DE FUNCIONAMIENTO

Numero de palas	3
Material de palas	Fibra de vidrio con resinas y núcleo de poliuretano
Generador	250rpm nominales imanes de neodimio
Potencia	5500W
Potencia Nominal	4000W (según IEC 61400-2)
Tensión	24/48/220V
Clase de viento	CLASS I-IEC 61400-2/NVNI-A
Diámetro	4.30m
Sentido de Giro	Horario
Área de barrido	14.5m ²
Peso	165kg
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 60m/s
Tipo	Rotor de eje horizontal a barlovento
Orientación	Sistema pasivo con timón de orientación
Control de potencia	Sistema de paso variable pasivo centrífugo con dos vel.
Transmisión	Directa
Freno	- Electromagnético por cortocircuito - Mecánico (opcional) - Aerodinámico mediante paso variable - Manual o automático por viento o por tensión de baterías
Controlador	Carga de baterías y conexión a red
Inversor eólico	Eficiencia 97%, algoritmo MPPT
Ruido	48dB Reducción al mínimo gracias al diseño de las palas y a las bajas revoluciones. 1% más que el ruido ambiente del viento
Protección anti-corrosión	Hermético, pintura epoxy de secado al horno de alta temperatura, generando un recubrimiento plástico
Torre	Celosisia, presilla y tubular, abatibles o fijas, altura variable



3.4m



165kg




4.3m

Avenida de Ibi, 44 - PO. 182 C.P. 03420 | Castalla (Alicante), España
+34 96 536 00 18 | info@enair.es

www.enair.es

Anexo 5: Curvas de potencia y Producción anual del Aerogenerador ENAIR 70 PRO



E70PRO 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 (litio, plomo, gel, etc.)
Cargador con pulsos de derivación a 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 ENERGÍA**
-  **MAYOR EFICIENCIA**
-  **MAYOR ROBUSTEZ**
-  **MAYOR SEGURIDAD**

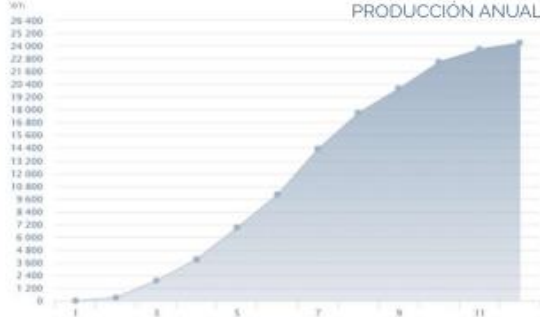
CLASS I WIND TURBINE
IEC 61400-2/NVI-A

W











CURVA DE POTENCIA

Wh



PRODUCCIÓN ANUAL

-  **Mínimo ruido**
El ruido está en torno a un 5% por encima del ruido ambiente siendo prácticamente imperceptible para nuestro oído.
-  **Safety-Brake**
Nuevo sistema de seguridad mecánica, basado en el eje que garantiza el frenado bajo las condiciones más adversas, para vientos incluso mayores de 30m/s.
-  **Anticorrosivo**
El uso de pintura epoxy lo convierte en un conjunto anticorrosivo y antirratón ideal para sal y coque.
-  **Anti-icing and Hermetic**
Utiliza aceros de serie estructural con una composición química antichispa en el helio 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 remoto con el Versus de Vision lo 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 al aerogenerador cuando la batería llega a la tensión de corte, evitando 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

Anexo 6: Ficha técnica de controlador eólico del aerogenerador ENAIR 70

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 de salida	12kW
	1.300-400V
Opciones de la tensión de derivación CC	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

* Sujeto a cambios sin previo aviso




ENAIR ENERGY S.L. | Adva. Ibi, 44 | P.O. 1B2 | C.P. 3420 Castalla (Alicante), España | CIF B54483656
 Tel. +34 96 556 00 18 | info@enair.es | www.enair.es

Anexo 7: Cotización del sistema fotovoltaico caso #1

		SOLUCIONES RENOVABLES SGCR S.A. Cédula Jurídica: 3101800265 Oficentro Laborales, Urban Plaza, Lindora Santa Ana		 ventas@smartrgroup.net  +506 4702 8447		
COTIZACIÓN PROFORMA Fecha: 23/06/2021 Estado: Registro			SPCR2021-092A (EDIFICIO ADMIN Y PARQUE)			
CLIENTE: MUNICIPALIDAD DE HOJANCHA Identificación: 3014042102 info@munhojancha.com			TOTAL DOCUMENTO: 31.236.000,00			
Guanacaste, Hojancha, HOJANCHA						
DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO	SUBTOTAL	DESCUENTO	IMPUESTO	TOTAL
(G) SISTEMA FOTOVOLTAICO	64.00	330,44.00	17,182.4	0.00	0.0	21,145.2
(G) MATERIALES DE MONTAJE Y ACCESORIOS DE	1.00	9,156.00	9,156.00	0.00	0.0	9,156.00
(G) SERVICIO TÉCNICO POR INSTALACIÓN Y PUESTA DE	1.00	3,900.00	3,900.00	0.00	0.0	3,900.00
(G) SERVICIO TÉCNICO MANTENIMIENTO CADA 6 MESES	1.00	950.00	950.00	0.00	0.0	950.00
					SubTotal:	35,154.20
					Descuento:	0.00
					Impuestos:	0.00
					Importo Total:	35,154.20
treinta y un mil ochocientos e incuenta DOLAR S con 0/100						
					Exento:	0.00
					Gravado:	35,154.20
Vendedor: ING. RANDY ALEMAN	Referencia N°: SPCR2021-092A EDIFICIO ADMIN	Tipo de Cambio: 613.69	Vencimiento: 23/07/2021			
Términos y Condiciones 1. La oferta proforma no incluye los impuestos de venta 2. No incluye modernización del sistema eléctrico existente 3. No incluye la adquisición de cualquier otro equipo que puedan ser solicitados por la compañía distribuidora de electricidad para el mejoramiento de la infraestructura eléctrica.						
Gracias por confiar en nosotros. Favor depositar a nombre de Soluciones Renovables SGCR S.A.I ced. 3101800265:						
Cuenta en Colones Cuenta IBAN: CR70010200009456033301 NO. CUENTA: 945603330						
Cuenta en Dólares Cuenta IBAN: CR74010200009456033229 NO. CUENTA: 945603322						
Teléfono: (506) 6100-0492/6050-5054						
*** AVISO IMPORTANTE *** Esta factura constituye título ejecutivo de conformidad con el artículo 460 de código de comercio, a cuyos efectos renuncia al domicilio, a los trámites de juicio y requerimientos judiciales. Después de vencido el plazo esta factura devenga un interés del 4% mensual.						
23/06/2021 09.53.23						

Anexo 8: Cotización del sistema fotovoltaico con eólico caso #2

1. Sistema Fotovoltaico

 SOLUCIONES RENOVABLES SGCR S.A. <small>Cédula Jurídica: 3101800265 Oficentro Laborale, Urban Plaza, Lindora Santa Ana</small>		 ventas@smargroup.net  + 506 4702 8447				
COTIZACIÓN PROFORMA		SPCR2021-092A (EDIFICIO ADMIN Y PARQUE)				
Fecha:	23/06/2021					
Estado:	Registro					
		TOTAL DOCUMENTO: 31,188.90 USD				
MUNICIPALIDAD DE HOJANCHA						
Identificación: 3014042102						
Info@munihojanca.com						
Guanacaste, Hojanca, HOJANCHA						
DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO	SUBTOTAL	DESCUENTO	IMPUESTO	TOTAL
(G) SISTEMA FOTOVOLTAICO	52.00	330,44.00	17,182.4	0.00	0.0	17,182.9
(G) MATERIALES DE MONTAJE Y ACCESORIOS DE	1.00	9,156.00	9,156.00	0.00	0.0	9,156.00
(G) SERVICIO TÉCNICO POR INSTALACIÓN Y PUESTA DE	1.00	3,900.00	3,900.00	0.00	0.0	3,900.00
(G) SERVICIO TÉCNICO MANTENIMIENTO CADA 6 MESES	1.00	950.00	950.00	0.00	0.0	950.00
SubTotal:						31,188.90
Descuento:						0.00
Impuestos:						0.00
Importo Total:						31,188.90
<small>treinta y un mil ochocientos cincuenta DOLAR 0/100</small>						
Exento:						0.00
Gravado:						31,188.90
Vendedor:	Referencia N°:	Tipo de Cambio:	Vencimiento:			
ING. RANDY ALEMAN	SPCR2021-092A EDIFICIO ADMIN	613.09	23/07/2021			
Términos y Condiciones						
1. La oferta proforma no incluye los impuestos de venta 2. No incluye modernización del sistema eléctrico existente 3. No incluye la adquisición de cualquier otro equipo que puedan ser solicitados por la compañía distribuidora de electricidad para el mejoramiento de la infraestructura eléctrica.						
Gracias por confiar en nosotros. Favor depositar a nombre de Soluciones Renovables SGCR S.A. céd. 3101800265:						
Cuenta en Colones Cuenta IBAN: CR70010200009456033301 NO. CUENTA: 945603330						
Cuenta en Dólares Cuenta IBAN: CR74010200009456033229 NO. CUENTA: 945603322						
Teléfono: (506) 6100-0492/6050-5054						
*** AVISO IMPORTANTE *** Esta factura constituye título ejecutivo de conformidad con el artículo 460 de código de comercio, a cuyos efectos renuncia al domicilio, a los trámites de juicio y requerimientos judiciales.						
Después de vencido el plazo esta factura devenga un interés del 4% mensual.						
23/06/2021 09:53:23						

Anexo 9. Tarifas Vigentes por la compañía Coopeguanacaste R.L según la ARESEP

Consultas de Tarifas Eléctricas Vigentes por Empresa

Seleccione la(s) Empresas:










Seleccione la(s) tarifa deseada(s):

Tipo Tarifa	Descripción Tarifa	Bloque	Promedio de Tarifa
ALUMBRADO PÚBLICO	T-AP ALUMBRADO PÚBLICO	a. Bloque 0-30 kWh	88,20
COMERCIOS Y SERVICIOS		b. Bloque 31-50 000 kWh	2,94
Industrial		c. Bloque mayor a 50 000 kWh	147000,00
MEDIA TENSIÓN (T-MT)	T-RE Residencial	a. Bloque 0-30 kWh	2013,90
Residencial		b. Bloque 31-200 kWh	67,13
Tarifa de acceso		c. Bloque mayor a 200 kWh	94,63
VENTAS AL SERVICIO DE DISTRIBUCIÓN	T-TA Tarifa de acceso	a. Consumo de Energía cada kWh	23,77

Anexo 10. Cargo de interconexión medidor monofásico por la compañía Coopeguanacaste R.L

Cargo (colones):

Tipo de Medidor	Cargo de Interconexión
Medidor monofásico	48 687
Medidor trifásico sencillo	542 004
Medidor trifásico con registro	1 286 240

Anexo 11. Taza de interés en el Banco Popular de Costa Rica para proyectos de energía renovables del 29-06-2021.

Periodo de gracia y desembolso	Periodo de gracia: Si lo requiere el proyecto, plan de inversión o flujo de											
Tasa de interés	Periodo desembolso: Si lo requiere el proyecto, plan de inversión o flujo de caja.											
	Colones: TBP + 3pp											
	Dólares: Prime + 2.5pp											

SISTEMA INTEGRADO DE PRESTAMOS												
CONSULTA TASAS PASIVAS												FHP: 29-06-2021
TIPO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
TASA	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2020	2020	2020	2020	2020	2020
TBP	3.50	3.55	3.45	3.40	3.30	3.20	3.95	3.70	3.65	3.45	3.35	3.40
LIBOR	0.26	0.23	0.19	0.20	0.21	0.17	0.39	0.32	0.31	0.27	0.25	0.25
PRIME	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25
ICE	3.50	3.55	3.45	3.35	3.30	3.20	3.95	3.70	3.65	3.30	3.35	3.40
TRIC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TRIS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

PF: Retorna

Anexo 12. Generación Distribuida en la Cooperativa de Electrificación Rural de Guanacaste.

Nombre Circuito	Demanda Máxima (kW)	Generación Autorizada (15%) (kW)	Solicitudes GD (kW)	Disponibilidad
Nicoya	10 344	1 552	345	SI
Santa Cruz	5 066	760	162	SI
Tamarindo	12 426	1 864	1 030	SI
Pinilla	9 633	1 445	474	SI
Filadelfia	8 830	1 325	43	SI
Santa Bárbara	2 931	440	28	SI
Hermosa	8 580	1 287	445	SI
Ocotal	9 409	1 411	212	SI
Matapalo	2 919	438	5	SI
Potrero	7 956	1 193	214	SI
Brasillito	8 057	1 209	582	SI
Hojancha	5 363	804	67	SI
Paquera	5 782	867	74	SI