



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**DISEÑO DE UN SISTEMA MIXTO PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA
MEDIANTE ENERGÍAS RENOVABLES EN LA GRANJA
AGROECOLÓGICA DE LA FUNDACIÓN CAMBUGÁN. PÍNTAG**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECATRÓNICO**

DIEGO ALEXANDER CAMPAÑA NENGER

DIRECTOR: LUIS ARMANDO HIDALGO AGUILERA MSC.

Quito, Octubre 2017

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2017
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo **CAMPAÑA NÉNGER DIEGO ALEXANDER**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.


CAMPANA NÉNGER DIEGO ALEXANDER
1716992084

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Diseño de un sistema mixto para generación eléctrica mediante energías renovables en la granja agroecológica de la fundación Cambugán. Píntag**”, que, para aspirar al título de **Ingeniero Mecatrónico** fue desarrollado por **Campaña Nénger Diego Alexander**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



Ing. Luis Hidalgo

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I.: 170772143-5

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mi padre y a mi madre por apoyarme en cada etapa de mi vida, a mis hermanos por estar siempre a mi lado en los momentos más difíciles.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, y hermanos por estar siempre a mi lado cuando más he necesitado. Agradezco a mis amigos por su apoyo incondicional en todo momento. Agradezco a mi tutor de tesis por su ayuda en el presente proyecto.

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

| DATOS DE CONTACTO | |
|----------------------|---|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | 1716992084 |
| APELLIDO Y NOMBRES: | CAMPAÑA NÉNGER DIEGO ALEXANDER |
| DIRECCIÓN: | MIRAFLORES ALTO, PASAJE VINUEZA Y MATILDE HUERTA N13-170 |
| EMAIL: | cam.diego@hotmail.com |
| TELÉFONO FIJO: | 02 2953627 |
| TELÉFONO MOVIL: | 0992 864 940 |

| DATOS DE LA OBRA | |
|--|---|
| TITULO: | Diseño de un sistema mixto para generación eléctrica mediante energías renovables en la granja agroecológica de la fundación Cambugán. Píntag |
| AUTOR O AUTORES: | Campaña Nénger Diego Alexander |
| FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN: | 2017/10/03 |
| DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN: | Ing. Luis Hidalgo |
| PROGRAMA | PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/> |
| TITULO POR EL QUE OPTA: | Ingeniero en Mecatrónica |
| RESUMEN: Mínimo 250 palabras | <p>La fundación Cambugán cuenta con una casa ubicada en Píntag-Pichincha que necesita energía eléctrica y se requiere el uso de energías renovables. Para cubrir esta necesidad se propuso un sistema de generación eléctrica híbrido que sea de tipo solar eólico, además debe ser aislado de la red eléctrica del Ecuador. Se determinó la carga máxima de la casa considerando factores de pérdida. Se debió analizar el recurso eólico disponible en la zona de estudio, y se usó el análisis de función de la calidad para la selección y dimensionamiento del tipo de aerogenerador idóneo. Se procedió de forma similar para la selección y dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos, los cuales en conjunto con el sistema eólico cubrirán la demanda de la casa. Se debió integrar los dos sistemas seleccionando un regulador de carga híbrido el cual permita la conexión y carga de un banco de baterías, las cuales en conjunto darán a la casa un día de autonomía. Además se seleccionó un inversor el cual proveerá a la casa de corriente alterna debido a que los equipos a usar usan este tipo de</p> |

| | |
|--------------------------------|---|
| | <p>corriente. Para que los paneles fotovoltaicos y el aerogenerador trabajen de forma eficiente, se diseñó los soportes de cada uno teniendo en cuenta diferentes parámetros. Se realizó la simulación de todo el sistema en el software HOMER Pro para verificar que el sistema cumpla con la demanda de energía requerida. Se llegó a la conclusión de que el sistema diseñado genera 2342 KWh anualmente mientras que la carga consume 2087,56 KWh al año y se entrega energía limpia la casa. Sin embargo este sistema no es viable económicamente, por lo que se diseñó un sistema fotovoltaico que cumpla las condiciones energéticas y económicas.</p> |
| <p>PALABRAS CLAVES:</p> | <p>Sistema híbrido, eólico, fotovoltaico, sistema aislado de la red, HOMER Pro, energías renovables.</p> |
| <p>ABSTRACT:</p> | <p>The Cambugán Foundation has a house located in Píntag-Pichincha. This house needs electrical power and requires the use of renewable energy. To cover this need, a hybrid electric generation system was proposed. This system is solar-wind type, in addition it must be isolated from the electricity grid of Ecuador. The maximum load of the house was determined considering loss factors. It was necessary to analyze the available wind resource in the study area. The quality function analysis was used for the selection and dimensioning of the type of suitable wind turbine. The selection and sizing of the photovoltaic panels was similar. The wind and photovoltaic systems together will cover the demand of the house. The two systems should have been integrated by selecting a hybrid load controller. This should allow the connection and charging of a battery bank providing the house with a day of autonomy. An inverter was selected because the equipment to be used works with alternating current. In order for the systems to work more efficiently, the supports of each were designed taking into account different parameters. The entire system was simulated in the HOMER Pro software. It was verified that the entire system meets the required energy demand. The designed system generates 2342 KWh annually while the load consumes 2087.56 KWh a year and clean energy is delivered to the house. However this system is not economically viable. Due to this, a photovoltaic system was designed that meets the energetic and economic conditions.</p> |

KEYWORDS

Hybrid system, wind power, photovoltaic, isolated grid system, HOMER Pro, renewable energy.

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f: 

CAMPAÑA NÉNGER DIEGO ALEXANDER

1716992084

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, CAMPAÑA NÉNGER DIEGO ALEXANDER, CI 1716992084 autor del proyecto titulado: Diseño de un sistema mixto para generación eléctrica mediante energías renovables en la granja agroecológica de la fundación Cambugán. Píntag, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 7 de agosto del 2017

f:



CAMPAÑA NÉNGER DIEGO ALEXANDER

1716992084

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | PÁGINA |
|--|--------|
| RESUMEN..... | vi |
| ABSTRACT..... | vii |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. METODOLOGÍA | 4 |
| 2.1. REQUERIMIENTOS..... | 4 |
| 2.1.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA | 4 |
| 2.1.2. DETERMINACIÓN DE LA CARGA Y PARÁMETROS GENERALES | 5 |
| 2.2. RESTRICCIONES | 6 |
| 2.3. DISEÑO..... | 6 |
| 2.3.1. DISEÑO DEL SISTEMA EÓLICO | 6 |
| 2.3.2. DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO..... | 13 |
| 2.3.3. DISEÑO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA HIBRIDO..... | 16 |
| 2.3.4. DISEÑO MECÁNICO | 25 |
| 2.4. ALTERNATIVA AL SISTEMA HIBRIDO UTILIZANDO SOLO EL RECURSO SOLAR..... | 37 |
| 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 41 |
| 3.1. SIMULACIÓN | 41 |
| 3.1.1. SISTEMA HIBRIDO | 41 |
| 3.1.2. SISTEMA FOTOVOLTAICO | 45 |
| 3.2. ANÁLISIS ECONÓMICO | 46 |
| 3.2.1. SISTEMA HIBRIDO | 46 |
| 3.2.2. SISTEMA FOTOVOLTAICO | 48 |
| 3.2.3. VENTAJAS AMBIENTALES DEL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES..... | 49 |
| 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 51 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 53 |

ÍNDICE DE TABLAS

PÁGINA

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio | 5 |
| Tabla 2. Demanda energética de la casa de la fundación | 5 |
| Tabla 3. Parámetros generales del sistema | 6 |
| Tabla 4. Densidad de distribución de Weibull..... | 7 |
| Tabla 5. Especificaciones técnicas del aerogenerador Enertik GE-600-24. | 11 |
| Tabla 6. Estimación de la potencia media | 12 |
| Tabla 7. Características del módulo SIMAX 156 Solarmodule SQP672-250W..... | 14 |
| Tabla 8. Características técnicas del regulador WS3.9KW24V | 18 |
| Tabla 9. Datos técnicos de las baterías Formula Solar 24V 260Ah..... | 19 |
| Tabla 10. Datos técnicos del inversor Exmork..... | 21 |
| Tabla 12. Resumen del cálculo del cableado | 25 |
| Tabla 13. Tabla de acero A500 para tubería estructural cuadrada y sus características..... | 28 |
| Tabla 14. Datos técnicos del poste metálico | 33 |
| Tabla 15. Características mecánicas del poste | 34 |
| Tabla 16. Anclaje del poste a la base..... | 36 |
| Tabla 17. Características del módulo SIMAX SIMAX SM636W-150 | 37 |
| Tabla 18. Características técnicas del regulador..... | 39 |
| Tabla 19. Datos técnicos de las baterías Solarbatt Monoblock | 39 |
| Tabla 20. Datos técnicos del inversor Exmork..... | 40 |
| Tabla 21. Energía producida por el sistema | 41 |
| Tabla 22. Resultados de la simulación del sistema híbrido en el software Homer Pro..... | 45 |
| Tabla 23. Resultados de la simulación del sistema fotovoltaico en el software Homer Pro | 46 |
| Tabla 24. Detalle de los costos para la implementación del proyecto | 47 |
| Tabla 25. Valores adicionales a pagar en una planilla de luz..... | 47 |
| Tabla 26. Planilla a pagar el primer mes. | 48 |
| Tabla 27. Planilla a pagar el resto de meses..... | 48 |
| Tabla 28. Detalle de costos del sistema fotovoltaico..... | 48 |

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINA

| | |
|--|----|
| Figura 1. Sistema híbrido | 1 |
| Figura 2. Modelo en V para diseño mecatrónico..... | 4 |
| Figura 3. Ubicación geográfica..... | 5 |
| Figura 4. Densidad de probabilidad de Weibull..... | 7 |
| Figura 5. Rosa de viento | 9 |
| Figura 6. Rosa de viento desde su ubicación en Google Earth | 10 |
| Figura 7. Matriz QFD para selección del tipo de aerogenerador..... | 10 |
| Figura 8. Curva de potencia del aerogenerador GE-600-24 | 11 |
| Figura 9. Radiación solar del último año | 13 |
| Figura 10. Matriz QFD para selección del tipo de panel | 14 |
| Figura 11. Ángulo de incidencia del panel fotovoltaico | 16 |
| Figura 12. Conexión con el controlador híbrido..... | 18 |
| Figura 13. Matriz QFD para selección del tipo de batería | 19 |
| Figura 14. Dimensiones del panel fotovoltaico seleccionado en m. | 25 |
| Figura 15. Área ocupada por los paneles fotovoltaicos en m. | 25 |
| Figura 16. Estructura soporte para los paneles fotovoltaicos y distancias en m. | 26 |
| Figura 17. Área tributaria de la viga en m. | 26 |
| Figura 18. Carga distribuida sobre la viga..... | 26 |
| Figura 19. Cargas concentradas de las vigas AB y A'B' y sus reacciones.. | 27 |
| Figura 20. Diagramas de fuerza cortante y momento flector de la viga AB. | 27 |
| Figura 21. Diagramas de fuerza cortante y momento flector de la viga A'B'..... | 29 |
| Figura 22. Diagrama de cuerpo libre de la viga..... | 30 |
| Figura 23. Diagrama de cuerpo libre de la columna..... | 31 |
| Figura 24. Diagrama de cuerpo libre del poste metálico | 34 |
| Figura 25. Características generales de cimentación para el anclaje del poste metálico. | 36 |
| Figura 26. Detalle de la ubicación de pernos para el anclaje | 37 |
| Figura 27. Localización geográfica en el software Homer Pro | 41 |
| Figura 28. Sistema híbrido en el software Homer Pro..... | 42 |
| Figura 29. Configuración de carga en el software Homer Pro | 42 |
| Figura 30. Potencia de los paneles fotovoltaicos en el software Homer Pro | 42 |
| Figura 31. Características de las baterías en el software Homer Pro | 43 |
| Figura 32. Características del inversor en el software Homer Pro | 43 |
| Figura 33. Cantidad y costo del generador eólico en el software Homer Pro | 43 |
| Figura 34. Grafico característico del generador eólico en el software Homer Pro..... | 44 |
| Figura 35. Recurso solar disponible para la simulación en el software Homer Pro..... | 44 |
| Figura 36. Recurso eólico disponible para la simulación en el software Homer Pro..... | 44 |
| Figura 37. Resultados de la simulación del software Homer Pro | 45 |
| Figura 38. Sistema fotovoltaico en el software Homer Pro | 46 |
| Figura 39. Resultados de la simulación del sistema fotovoltaico | 46 |

| | |
|--|-----------|
| Figura 40. Producción por tipo de energía | 49 |
|--|-----------|

ÍNDICE DE ECUACIONES

PÁGINA

| | |
|--|----|
| Ecuación 1. Función densidad de probabilidad de Weibull | 6 |
| Ecuación 2. Potencia extraíble del viento | 8 |
| Ecuación 3. Densidad del viento en función de la altura | 8 |
| Ecuación 4. Densidad de potencia del viento | 9 |
| Ecuación 5. Potencia media | 12 |
| Ecuación 6. Energía anual producida | 12 |
| Ecuación 7. Número de paneles solares | 15 |
| Ecuación 8. Número de paneles solares en serie..... | 15 |
| Ecuación 9. Corriente producida por el generador | 17 |
| Ecuación 10. Corriente consumida por la carga | 17 |
| Ecuación 11. Capacidad nominal de la batería en Wh | 20 |
| Ecuación 12. Capacidad nominal de la batería en Ah | 20 |
| Ecuación 13. Número total de baterías..... | 20 |
| Ecuación 14. Sección del conductor..... | 21 |
| Ecuación 15. Módulo de sección | 28 |
| Ecuación 16. Relación de esbeltez..... | 31 |
| Ecuación 17. Constante de columna | 31 |
| Ecuación 18. Carga crítica en columnas | 32 |
| Ecuación 19. Fuerza que ejerce el viento sobre el rotor del generador | 33 |
| Ecuación 20. Fuerza que ejerce el viento sobre el poste | 33 |
| Ecuación 21. Módulo de sección del poste..... | 35 |
| Ecuación 22. Compresión del poste | 35 |

RESUMEN

La fundación Cambugán cuenta con una casa ubicada en Píntag-Pichincha que necesita energía eléctrica y se requiere el uso de energías renovables. Para cubrir esta necesidad se propuso un sistema de generación eléctrica híbrido que sea de tipo solar eólico, además debe ser aislado de la red eléctrica del Ecuador. Se determinó la carga máxima de la casa considerando factores de pérdida. Se debió analizar el recurso eólico disponible en la zona de estudio, y se usó el análisis de función de la calidad para la selección y dimensionamiento del tipo de aerogenerador idóneo. Se procedió de forma similar para la selección y dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos, los cuales en conjunto con el sistema eólico cubrirán la demanda de la casa. Se debió integrar los dos sistemas seleccionando un regulador de carga híbrido el cual permita la conexión y carga de un banco de baterías, las cuales en conjunto darán a la casa un día de autonomía. Además se seleccionó un inversor el cual proveerá a la casa de corriente alterna debido a que los equipos a usar usan este tipo de corriente. Para que los paneles fotovoltaicos y el aerogenerador trabajen de forma eficiente, se diseñó los soportes de cada uno teniendo en cuenta diferentes parámetros. Se realizó la simulación de todo el sistema en el software HOMER Pro para verificar que el sistema cumpla con la demanda de energía requerida. Se llegó a la conclusión de que el sistema diseñado genera 2342 KWh anualmente mientras que la carga consume 2087,56 KWh al año y se entrega energía limpia la casa. Sin embargo este sistema no es viable económicamente, por lo que se diseñó un sistema fotovoltaico que cumpla las condiciones energéticas y económicas.

Palabras clave: Sistema híbrido, eólico, fotovoltaico, sistema aislado de la red, HOMER Pro, energías renovables.

ABSTRACT

The Cambugán Foundation has a house located in Píntag-Pichincha. This house needs electrical power and requires the use of renewable energy. To cover this need, a hybrid electric generation system was proposed. This system is solar-wind type, in addition it must be isolated from the electricity grid of Ecuador. The maximum load of the house was determined considering loss factors. It was necessary to analyze the available wind resource in the study area. The quality function analysis was used for the selection and dimensioning of the type of suitable wind turbine. The selection and sizing of the photovoltaic panels was similar. The wind and photovoltaic systems together will cover the demand of the house. The two systems should have been integrated by selecting a hybrid load controller. This should allow the connection and charging of a battery bank providing the house with a day of autonomy. An inverter was selected because the equipment to be used works with alternating current. In order for the systems to work more efficiently, the supports of each were designed taking into account different parameters. The entire system was simulated in the HOMER Pro software. It was verified that the entire system meets the required energy demand. The designed system generates 2342 KWh annually while the load consumes 2087.56 KWh a year and clean energy is delivered to the house. However this system is not economically viable. Due to this, a photovoltaic system was designed that meets the energetic and economic conditions.

Keywords: Hybrid system, wind power, photovoltaic, isolated grid system, HOMER Pro, renewable energy.

1. INTRODUCCIÓN

Un sistema es híbrido cuando se tienen dos o más formas de generación de energía eléctrica. Generalmente este tipo de sistemas constan de una parte fotovoltaica y la otra varía entre eólica, hidráulica o grupo electrógeno (generador a diesel o gas). Se los utiliza debido a que no siempre las condiciones climáticas son apropiadas para usar solamente un sistema de generación de energía. Cuando no se dispone de un sistema híbrido hace necesario tener un sistema fotovoltaico con una gran cantidad de baterías. Se recomienda un sistema fotovoltaico-eólico debido a que se ha comprobado que cuando el cielo está cubierto, se tiene un fuerte viento, y cuando el cielo está despejado, el viento es casi nulo. Normalmente los sistemas de apoyo eólico son sistemas de baja potencia. Este tipo de sistemas (fotovoltaico-eólico) se los utilizan para evitar el sobre dimensionamiento comparado si se utilizara uno solo de ellos. (Duran, 2013).

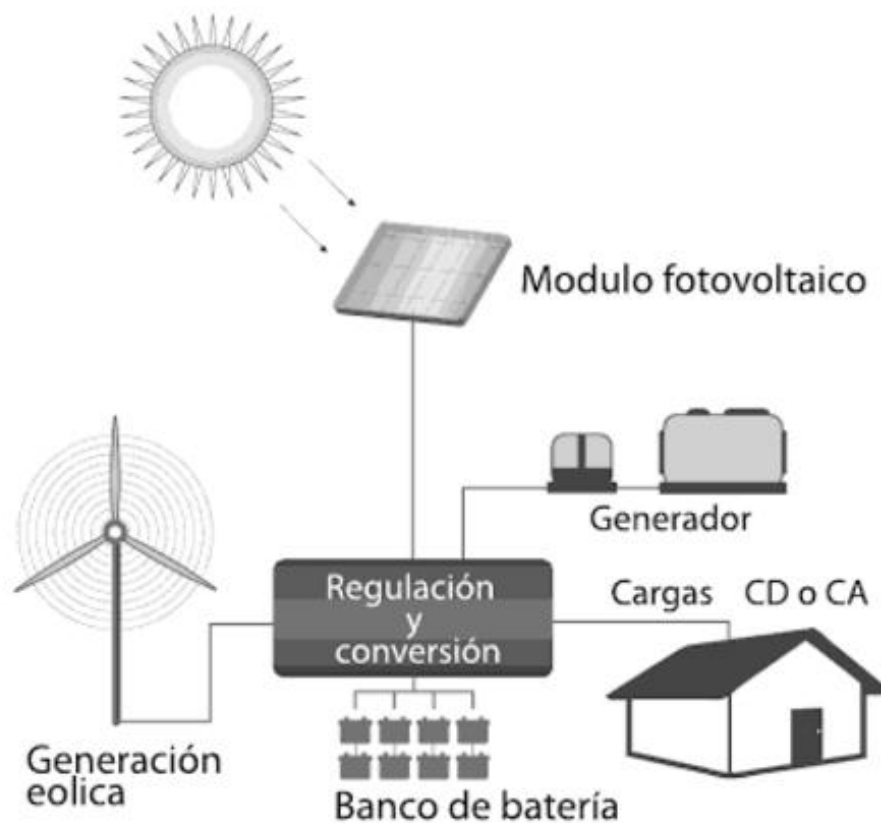


Figura 1. Sistema híbrido
(Micheloud, Vicini, 2012)

A lo largo del mundo se han desarrollado varias investigaciones respecto a los sistemas de generación eléctrica híbridos.

Entre las universidades de Afyon Kocatepe, Afyonkarahisar, Turquía, y Uşak University, Uşak, Turquía, se realizó el siguiente estudio: "Dimensionamiento, diseño e instalación de un sistema de energía híbrida aislado eólico-fotovoltaico con almacenamiento de batería para iluminación

general de laboratorio en Afyonkarahisar, Turquía”. En esta investigación se buscaba generar 400 vatios que serían usados para la iluminación de un laboratorio. Para ello, los factores más importantes fue el potencial regional de energía eólica y solar. Al final de este estudio, se llegó a la conclusión de que el sistema híbrido propuesto superaba ampliamente la demanda requerida. (Oğuz, Özsoy, 2015).

Entre las Universidades de Nigeria, Nsukka, Nigeria, y Universidad de Port Harcourt, River State, Nigeria se desarrolló: “Uso de la generación de energía híbrida solar-eólica para la electrificación de áreas remotas en el sudeste de Nigeria”. Este trabajo se lo presento como una alternativa para personas de la zona rural, que no tienen acceso a energía eléctrica. Se consideró el uso de un regulador MPPT, el cual garantiza un mejor rendimiento del sistema fotovoltaico. Este estudio llegó a la conclusión que dicha región tiene las condiciones necesarias, dado que la irradiación solar y velocidad de viento son suficientemente altas como para que un sistema híbrido tenga un buen rendimiento. Además se recalca que este tipo de generación eléctrica puede funcionar eficazmente como suministro trifásico o monofásico. (Nnadil; Odehl; Omeje, 2014).

En el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, la Habana, Cuba, se realizó el estudio: “Diseño por simulación de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico para una vaquería en Cuba”. En este artículo se diseñó un sistema eólico-fotovoltaico para una vaquería que no cuenta con servicio eléctrico. Se recalca que las variables meteorológicas usadas fueron medidas por un año. En este estudio se llegó a la conclusión de que el sistema híbrido puede satisfacer la demanda de la vaquería, de tal manera que el aporte del sistema fotovoltaico sea del 51% y que el 49% restante sea del sistema eólico. (Ortega, Cabrera, 2013).

En la Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, se realizó: “Diseño multiobjetivo de un sistema híbrido eólico-solar con baterías para zonas no interconectadas”. Este estudio se lo hizo para cubrir la demanda de 49 usuarios en el rancho Ishiruwo. Se llegó a la conclusión que dicho sistema generaría 52,2 KW. Además se menciona que: “la tecnología de los sistemas fotovoltaicos predominan unilateralmente sobre la tecnología de los sistemas eólicos”. (Castillo, Villada, Valencia, 2014).

La fundación Cambugán ubicada en Píntag tiene una casa que no cuenta con energía eléctrica. La fundación promueve la creación de granjas ecológicas que sean totalmente autosustentables para favorecer al medio ambiente. Debido a esto, no se va a usar la red nacional de energía eléctrica, por lo que se necesita un sistema de generación de energía eléctrica autónomo para la alimentación de esa casa. Esta casa de

huéspedes va a ser usada por estudiantes y voluntarios extranjeros que ayudan a la fundación en diferentes actividades.

En el presente proyecto se va a diseñar, dimensionar y seleccionar cada elemento del sistema fotovoltaico así como de un sistema eólico, los cuales en conjunto proveerán de energía eléctrica a la casa de huéspedes de la fundación. Se va simular el sistema para verificar que satisfaga la demanda de la casa. Además, la energía producida por este sistema servirá para el funcionamiento de un motor para la producción de abono en la granja.

Este proyecto tiene como objetivo el diseñar un sistema mixto para generación eléctrica mediante energías renovables en la granja agroecológica de la fundación Cambugán ubicada en Píntag. Para lograr este objetivo, se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la demanda de energía eléctrica de la casa de huéspedes de la fundación.
- Diseñar los componentes del sistema de generación eólico.
- Diseñar el sistema de generación eléctrica fotovoltaica.
- Diseñar el sistema que combine las dos formas de generación de energía eléctrica.
- Realizar el análisis económico.
- Validar el sistema.

2. METODOLOGÍA Y DISEÑO

En el presente proyecto se usará el modelo en V. Este modelo permite un desarrollo integral de un producto. La ventaja de este modelo es la retroalimentación la cual permite una mejora continua.

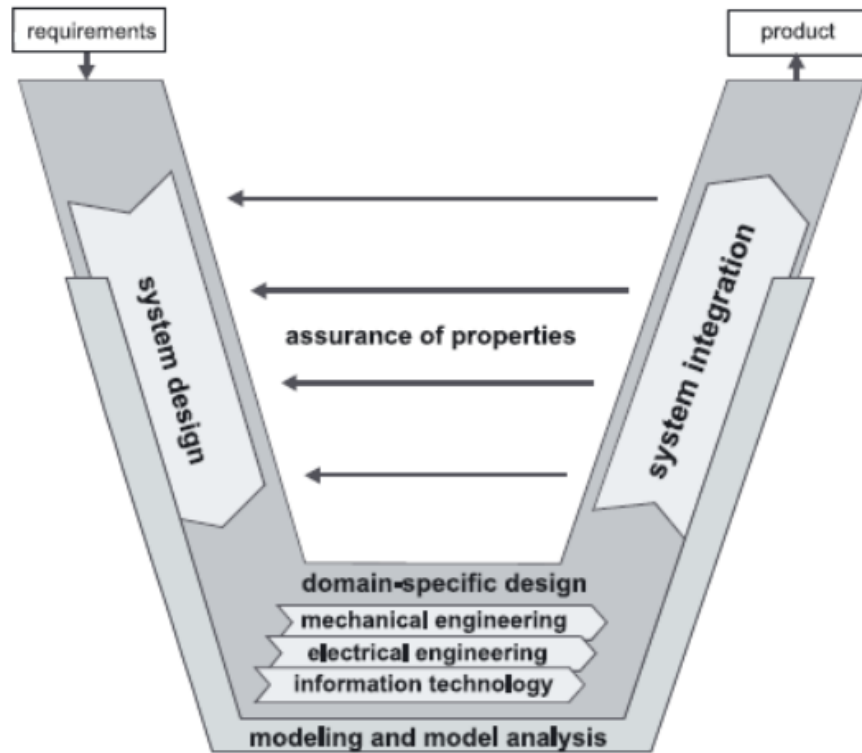


Figura 2. Modelo en V para diseño mecatrónico
(Verein Deutscher Ingenieure, 2004)

A continuación se procederá a detallar cada parte del modelo en V.

2.1. REQUERIMIENTOS

Los requerimientos necesarios para el sistema híbrido son:

- El sistema de generación híbrido deberá tener un sistema eólico y un sistema fotovoltaico.
- Debe ser autónomo dado que va a ser aislado de la red, por lo que es necesario que el sistema tenga acumuladores de energía.
- Tener un funcionamiento continuo.
- Fácil de dar mantenimiento, por lo que debe ser desmontable.
- El sistema deberá tener una salida de tensión de 110VAC.

2.1.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El presente estudio se lo realizó en la provincia de Pichincha, cantón Quito, parroquia Píntag.

Tabla 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio

| | |
|----------|--------------------------|
| Lugar | Píntag, Quito, Pichincha |
| Latitud | 0° 21' 31.31" S |
| Longitud | 78° 22' 11.50" O |
| Altitud | 2813 m.s.n.m |

(Google Earth, 2017)



Figura 3. Ubicación geográfica
(Google Earth, 2017)

2.1.2. DETERMINACIÓN DE LA CARGA Y PARÁMETROS GENERALES

Para poder dimensionar todo el sistema, el primer paso fue determinar la demanda de energía eléctrica cuando la casa esté a su máxima capacidad. En la casa pueden vivir hasta 8 voluntarios. La casa cuenta con 14 tomacorrientes, se ha decidido no instalar electrodomésticos que consumen gran cantidad de energía.

De acuerdo al Atlas Solar del Ecuador elaborado por la ARCONEL (Agencia de Regulación y Control de Electricidad), se realizó la tabla 2 en donde se especifica detalladamente la potencia y energía necesaria para todo el sistema, teniendo en cuenta los equipos a utilizar.

Tabla 2. Demanda energética de la casa de la fundación.

| Equipo | Potencia unitaria (W) | Cantidad | Potencia (W) | Tiempo (h/día) | Consumo (Wh/día) |
|----------------|-----------------------|----------|--------------|-----------------------|------------------|
| Iluminación | 20 | 8 | 160 | 5 | 800 |
| Laptop | 80 | 8 | 640 | 5 | 3200 |
| Licadora | 300 | 1 | 300 | 0,2 | 60 |
| Teléfono móvil | 15 | 7 | 105 | 1 | 105 |
| Inversor | 25 | 1 | 25 | 24 | 600 |
| Motor digestor | 372,85 | 1 | 372,85 | 0,003 | 1,12 |
| | Potencia total | | 1602,85 | Energía total | 4766,12 |
| | | | | Energía total mensual | 142983,56 |

Se estimó que el motor para el digestor se lo utilizará cada quince días, durante un minuto.

Para elaborar la tabla 3, se tomó como referencia el Atlas Solar de Ecuador en donde se definen los parámetros generales del sistema.

Tabla 3. Parámetros generales del sistema

| | | |
|----|---|-------------|
| A1 | Carga AC total diaria | 4766,12 Wh |
| A2 | Factor de rectificación | 1,2 |
| A3 | Carga DC equivalente (A1*A2) | 5719,344 Wh |
| A4 | Tensión DC del sistema | 24 V |
| A5 | Carga diaria de corriente (A3/A4) | 238,306 Ah |
| A6 | Carga pico (Potencia total) | 1602,85 W |
| A7 | Carga diaria de corriente corregida (A5*A2) | 285,97 Ah |

El factor de rectificación de 1,2 representan las pérdidas en el inversor y del sistema.

2.2. RESTRICCIONES

- La casa de huéspedes contará con 16 tomacorrientes y 8 focos.
- Se diseñará para que se conecten equipos específicos de bajo consumo (Laptops, celulares, tablets, 1 licuadora), a excepción de un motor de medio HP.
- El sistema de generación procederá a cargar solo un banco de baterías.

2.3. DISEÑO

2.3.1. DISEÑO DEL SISTEMA EÓLICO

Para la estimación eólica, se tomaron los datos de la red de monitoreo de la secretaria del medio ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. Los datos tomados son de la estación Los Chillos, los cuales se los registran cada hora, teniendo un total de 8784 en un periodo de un año (año bisiesto). Los datos tomados fueron desde el 01/09/2015 hasta el 31/08/2016.

“Dadas las características tan dispersas y aleatorias de la energía eólica, la única manera de estudiar si un emplazamiento es o no adecuado es mediante el uso de la estadística. Lo habitual es la distribución de Weibull.” INIECO (2011).

2.3.1.1. MÉTODO DE WEIBULL

La función de densidad de distribución de Weibull viene dada por la ecuación 1. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2009).

$$P(v) = \frac{k}{c} * \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} * e \left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad [1]$$

Dónde:

k : parámetro de forma

c: parámetro de escala

v: velocidad media del viento

Se utilizó la ecuación 1 para obtener la probabilidad de Weibull en función de la velocidad y se lo resumió en la tabla 4.

Tabla 4. Densidad de distribución de Weibull

| Velocidad | Promedio | Frecuencia | Frecuencia relativa | Frecuencia acumulada | Distribución Weibull |
|-----------|----------|------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 0 - 0,5 | 0,25 | 24 | 0,0027 | 0,0027 | 0,045190 |
| 0,5 - 1 | 0,75 | 2250 | 0,2561 | 0,2589 | 0,141548 |
| 1 - 1,5 | 1,25 | 2806 | 0,3194 | 0,5783 | 0,204480 |
| 1,5 - 2 | 1,75 | 1237 | 0,1408 | 0,7191 | 0,211820 |
| 2 - 2,5 | 2,25 | 720 | 0,0820 | 0,8011 | 0,172970 |
| 2,5 - 3 | 2,75 | 530 | 0,0603 | 0,8615 | 0,115197 |
| 3 - 3,5 | 3,25 | 408 | 0,0464 | 0,9079 | 0,063512 |
| 3,5 - 4 | 3,75 | 310 | 0,0353 | 0,9432 | 0,029194 |
| 4 - 4,5 | 4,25 | 216 | 0,0246 | 0,9678 | 0,011227 |
| 4,5 - 5 | 4,75 | 168 | 0,0191 | 0,9869 | 0,003617 |
| 5 - 5,5 | 5,25 | 88 | 0,0100 | 0,9969 | 0,000976 |
| 5,5 - 6 | 5,75 | 21 | 0,0024 | 0,9993 | 0,000221 |
| 6 - 6,5 | 6,25 | 4 | 0,0005 | 0,9998 | 4,18E-05 |
| 6,5 - 7 | 6,75 | 1 | 0,0001 | 0,9999 | 6,62E-06 |
| 7 - 7,5 | 7,25 | 1 | 0,0001 | 1,0000 | 8,77E-07 |

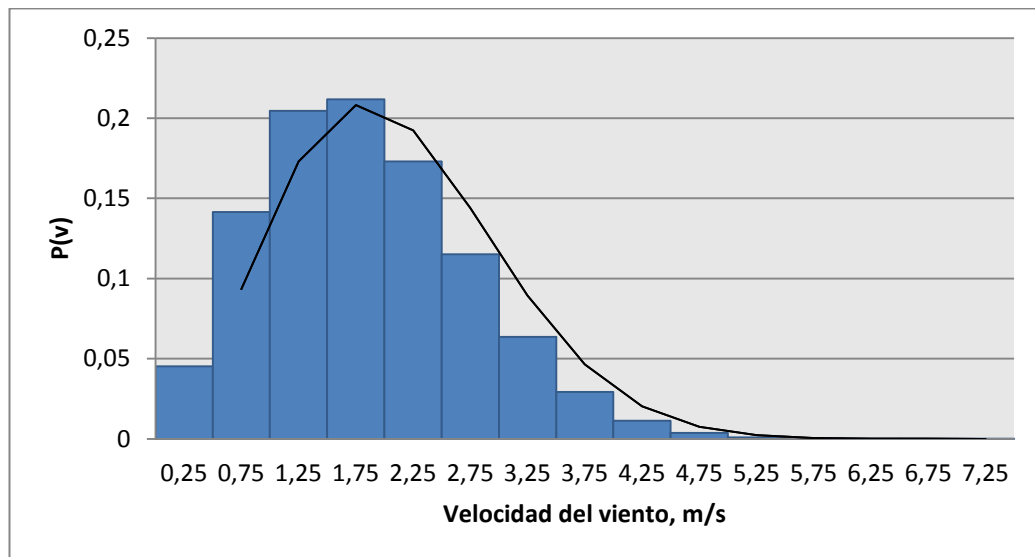


Figura 4. Densidad de probabilidad de Weibull

La velocidad media del viento calculada es de 1,75 m/s.

2.3.1.2. ENERGÍA Y DENSIDAD DE POTENCIA DEL VIENTO

La energía cinética del viento viene dada por:

$$Ec = \frac{1}{2} m * v^2$$

La masa de aire por unidad de tiempo está representada por la siguiente ecuación:

$$\frac{m}{t} = \rho * A * v$$

Reemplazando la masa en la energía cinética:

$$Ec = \frac{1}{2} * \rho * A * v^3 * t$$

La potencia extraíble del viento en vatios se la define como:

$$P_v = \frac{Ec}{t} = \frac{1}{2} * \rho * A * v^3 \quad [2]$$

Dónde

P_v : potencia extraíble del viento en w

ρ : densidad del aire en kg/m^3

A : área en m^2

v : Velocidad del viento en m/s

La densidad del viento varía en función de la altura del lugar donde se realiza el estudio. Esta se calculó de acuerdo a la ecuación 3. (Ministerio de Energía y Minas, World Wildlife Fund, Fundación Natura, 2004).

$$\rho = \rho_0 - 1.194 \times 10^{-4} * H_m [Kg/m^3] \quad [3]$$

Dónde:

ρ : Densidad del aire a la altura H_m en Kg/m^3 .

ρ_0 : Densidad del aire a nivel del mar = $1,225 kg/m^3$.

H_m : Altura sobre el nivel del mar en m.

Para este estudio se tomó la altura es de 2813 msnm, por lo que la densidad del aire será:

$$\rho = 1,225 \frac{kg}{m^3} - 1.194 \times 10^{-4} \frac{kg}{m^4} * 2813 m$$

$$\rho = 0,8891 \frac{kg}{m^3}$$

La densidad de potencia se define como la potencia por unidad de área, esta se la calcula de acuerdo a la ecuación 4. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2009).

$$\frac{P_v}{A} = \frac{1}{2} * \rho * v^3 \quad [4]$$

$$\frac{P_v}{A} = \frac{1}{2} * 0,8891 \frac{kg}{m^3} * \left(1,74 \frac{m}{s}\right)^3 = 2,3419 \frac{W}{m^2}$$

Se puede generar 2,3419 vatios por cada metro cuadrado en esa zona.

2.3.1.3. DIAGRAMA DE LA ROSA DE VIENTO

El diagrama de la rosa de vientos representa la dirección y la frecuencia con respecto a la velocidad del viento. Sirve para saber en qué dirección se debe colocar el generador eólico. Para obtener el grafico de la rosa de viento se usó el programa WRPLOT, como se puede observar en la figura 5.

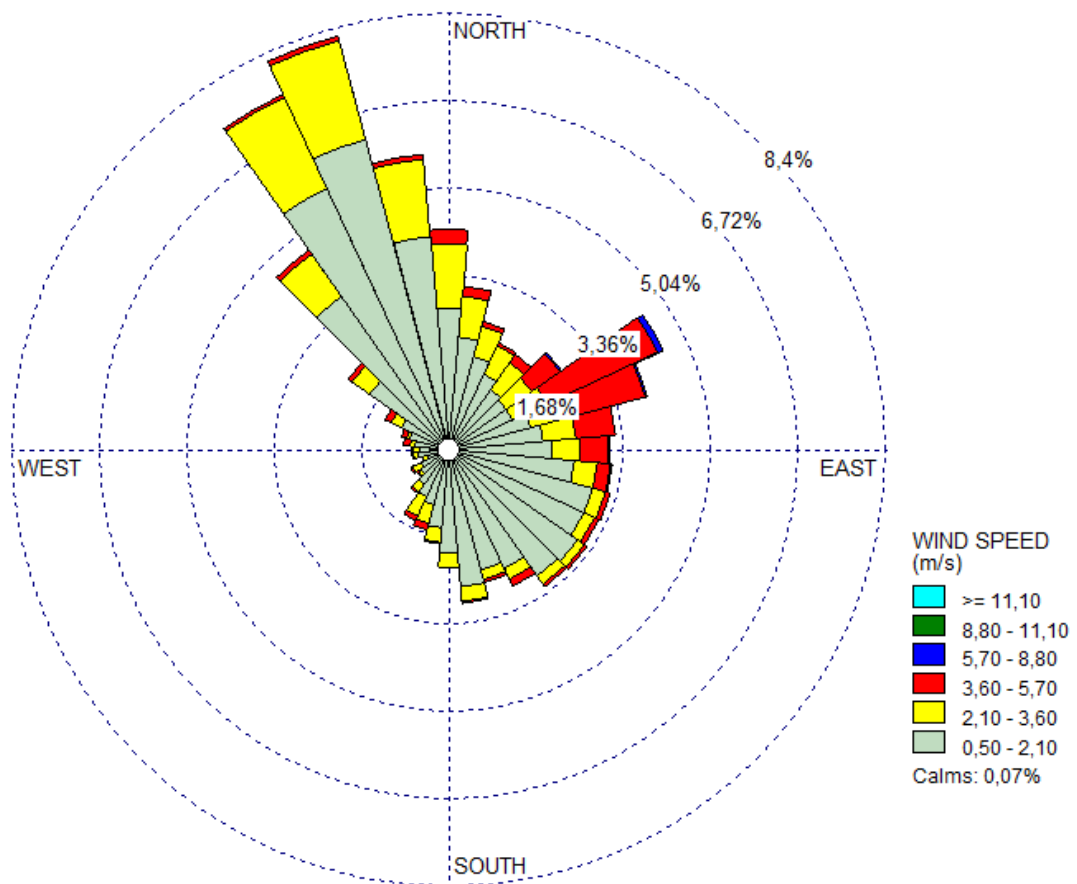


Figura 5. Rosa de viento

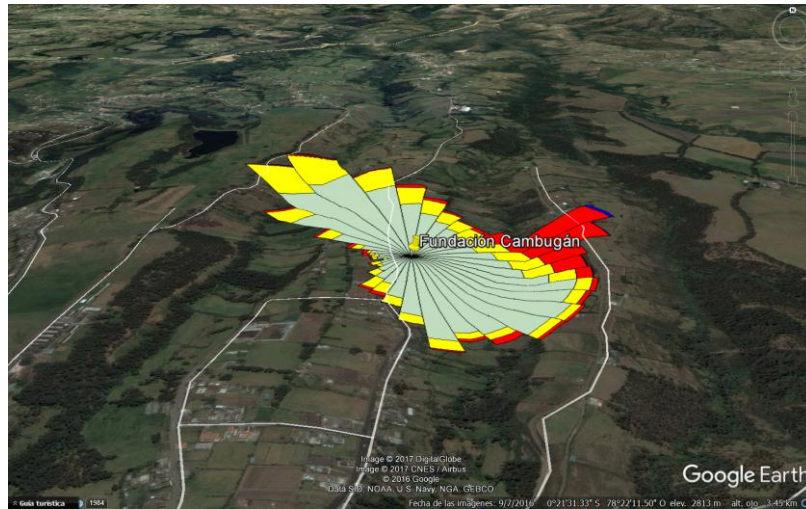


Figura 6. Rosa de viento desde su ubicación en Google Earth (Google Earth, 2017)

De acuerdo al diagrama de la rosa de viento, se pudo apreciar que los vientos más fuertes y con más probabilidad de ocurrencia se encuentran en la dirección noreste, por lo que el generador eólico se lo deberá colocar en esa dirección para aprovechar de mejor manera el recurso eólico.

2.3.1.4. ANÁLISIS DE FUNCIÓN DE CALIDAD

Existen dos tipos de generadores eólicos, de eje horizontal y de eje vertical. Por lo tanto, para la selección fue necesario el uso de la matriz de función de la calidad.

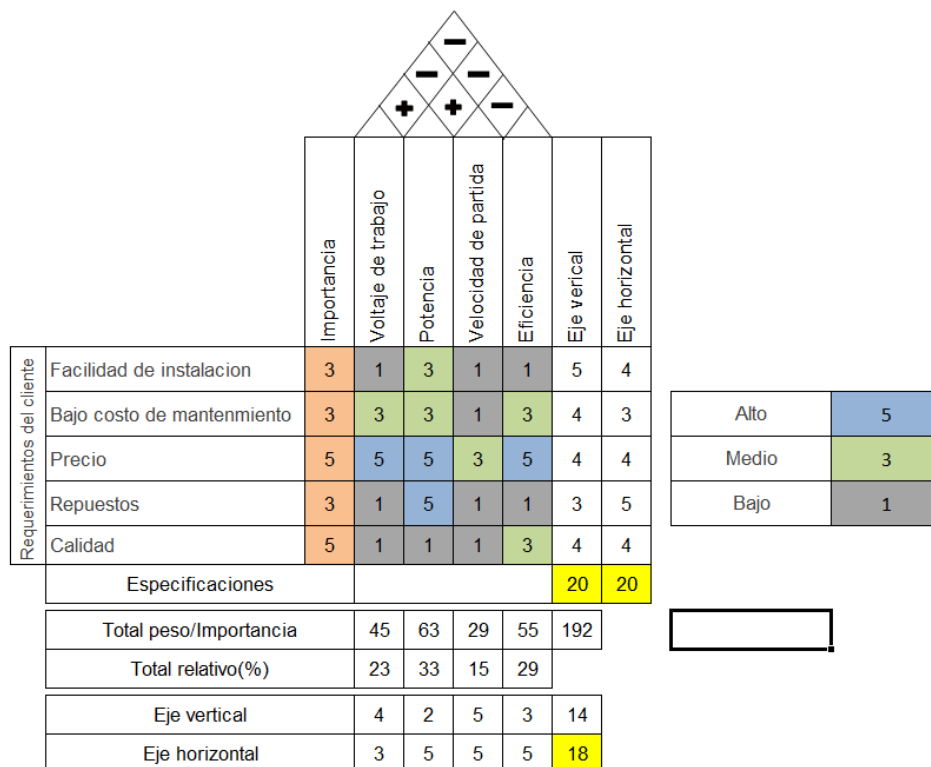


Figura 7. Matriz QFD para selección del tipo de aerogenerador

De acuerdo a la matriz QFD, en los requerimientos del cliente los dos tipos de aerogeneradores tienen la misma puntuación de 20, sin embargo de acuerdo a los requerimientos ingenieriles los generadores eólicos de eje horizontal son mejores debido a que tienen una mejor puntuación luego de evaluar sus características (18), considerando que su eficiencia es bastante superior con respecto a los generadores de eje vertical. Por esta razón se seleccionó un aerogenerador de eje horizontal. Sin embargo este tipo de aerogeneradores tienen que ubicarse a una altura mayor para aprovecharlos mejor.

2.3.1.5. SELECCIÓN DE AEROGENERADOR Y ESTABLECIMIENTO DE LA ENERGÍA GENERADA POR EL SISTEMA EÓLICO

Para el dimensionamiento del sistema eólico se tomó en consideración que la velocidad promedio en el último año fue de 1,74 m/s, el cual es bajo. Por lo tanto se seleccionó un aerogenerador de eje horizontal que tenga una velocidad de partida de 1,5 m/s. El aerogenerador seleccionado es Enertik GE-600-24. Los datos técnicos se especifican en la tabla 5.

Tabla 5. Especificaciones técnicas del aerogenerador Enertik GE-600-24

| | |
|----------------------|-----------------------|
| Modelo | GE-600-24 |
| Potencia | 600 W |
| Voltaje nominal | 24 V |
| Velocidad de partida | 1,5 m/s |
| Cantidad de aspas | 5 |
| Diámetro del rotor | 1,7 m |
| Peso | 49 kg |
| Área de barrido | 2,2698 m ² |
| Velocidad nominal | 650 rpm |

(MundoSolar, 2017)

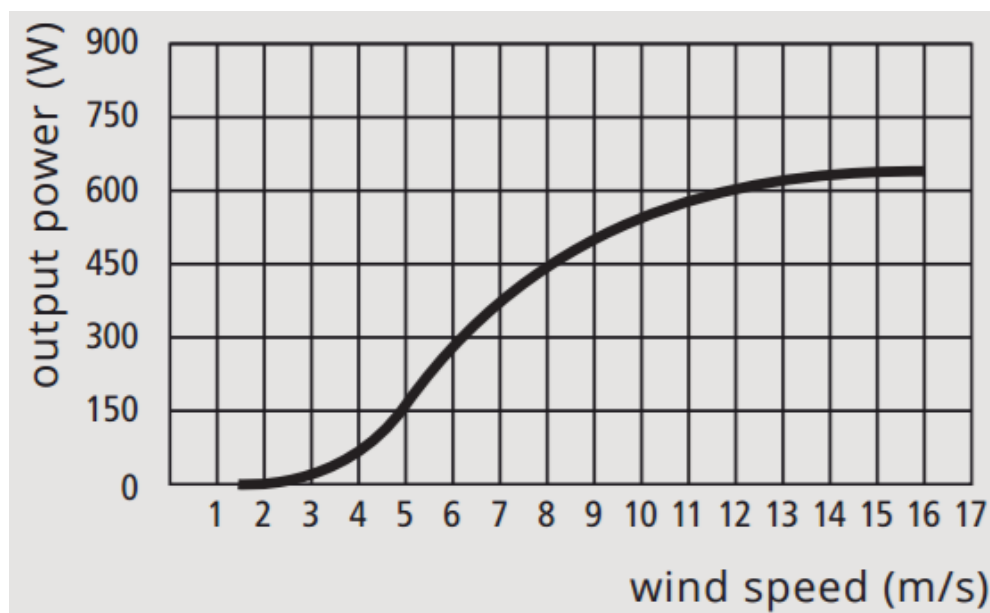


Figura 8. Curva de potencia del aerogenerador GE-600-24 (Enertik, 2017)

De acuerdo al límite de Bertz, una turbina eólica teóricamente puede convertir en energía mecánica el 59,25% de la energía que incide sobre ella. Sin embargo en la práctica solo se aprovecha el 40%.

Para el cálculo de la potencia media, se tomó como referencia el Atlas Eólico del Ecuador elaborado por el ministerio de Electricidad y Energía Renovable por lo que se elaboró la tabla 6. Se utilizó la ecuación 5. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2009).

$$P_m = P_{aerogenerador} * Distribucion_{Weibull} \quad [5]$$

Tabla 6. Estimación de la potencia media

| Velocidad | Promedio | Potencia del aerogenerador | Distribución de Weibull | Potencia media (W) |
|-----------|----------|----------------------------|-------------------------|--------------------|
| 0 - 0,5 | 0,25 | 0 | 0,045190 | 0 |
| 0,5 - 1 | 0,75 | 0 | 0,141548 | 0 |
| 1 - 1,5 | 1,25 | 0 | 0,204480 | 0 |
| 1,5 - 2 | 1,75 | 0 | 0,211820 | 0 |
| 2 - 2,5 | 2,25 | 4,6875 | 0,172970 | 0,810796875 |
| 2,5 - 3 | 2,75 | 9,3750 | 0,115197 | 1,079971875 |
| 3 - 3,5 | 3,25 | 28,125 | 0,063512 | 1,786275 |
| 3,5 - 4 | 3,75 | 46,875 | 0,029194 | 1,3684875 |
| 4 - 4,5 | 4,25 | 84,375 | 0,011227 | 0,947235938 |
| 4,5 - 5 | 4,75 | 121,875 | 0,003617 | 0,440788808 |
| 5 - 5,5 | 5,25 | 196,875 | 0,000976 | 0,192241547 |
| 5,5 - 6 | 5,75 | 253,125 | 0,000221 | 0,055907061 |
| 6 - 6,5 | 6,25 | 309,375 | 4,18E-05 | 0,012939533 |
| 6,5 - 7 | 6,75 | 356,25 | 6,62E-06 | 0,002359958 |
| 7 - 7,5 | 7,25 | 403,125 | 8,77E-07 | 0,000353379 |
| | | Sumatoria | 1 | 6,697357473 |

Se utilizó la ecuación 6 para determinar la energía anual producida por el aerogenerador. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2009).

$$Energía\ anual\ producida = Potencia_{media} * 8784\ h/año \quad [6]$$

$$Energía\ anual\ producida = 6,697357\ W * 8784\ h/año$$

$$Energía\ anual\ producida = 58829,5839\ Wh/año$$

$$Energía\ diaria\ producida = \frac{58829,5839\ Wh/año}{365\ días/año}$$

$$Energía\ diaria\ producida = 161,1769\ Wh/día$$

El generador eólico puede aportar al sistema híbrido con 161,1769 Wh/día.

2.3.2. DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

De acuerdo al análisis anterior, se determinó que el sistema eólico puede proveer 161,1769 Wh/día.

La casa de la fundación necesita 5719,34 Wh/día, por lo que restando lo que puede proveer el sistema eólico, el sistema fotovoltaico tiene que ser dimensionado para proveer 5558,1631 Wh/día.

2.3.2.1. RADIACIÓN SOLAR DISPONIBLE

Se debió cuantificar la irradiación solar disponible, por lo cual se tomó los datos de la red de monitoreo de la secretaria del medio ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. En la siguiente figura se sacó el promedio mensual de la irradiación solar del último año disponible.

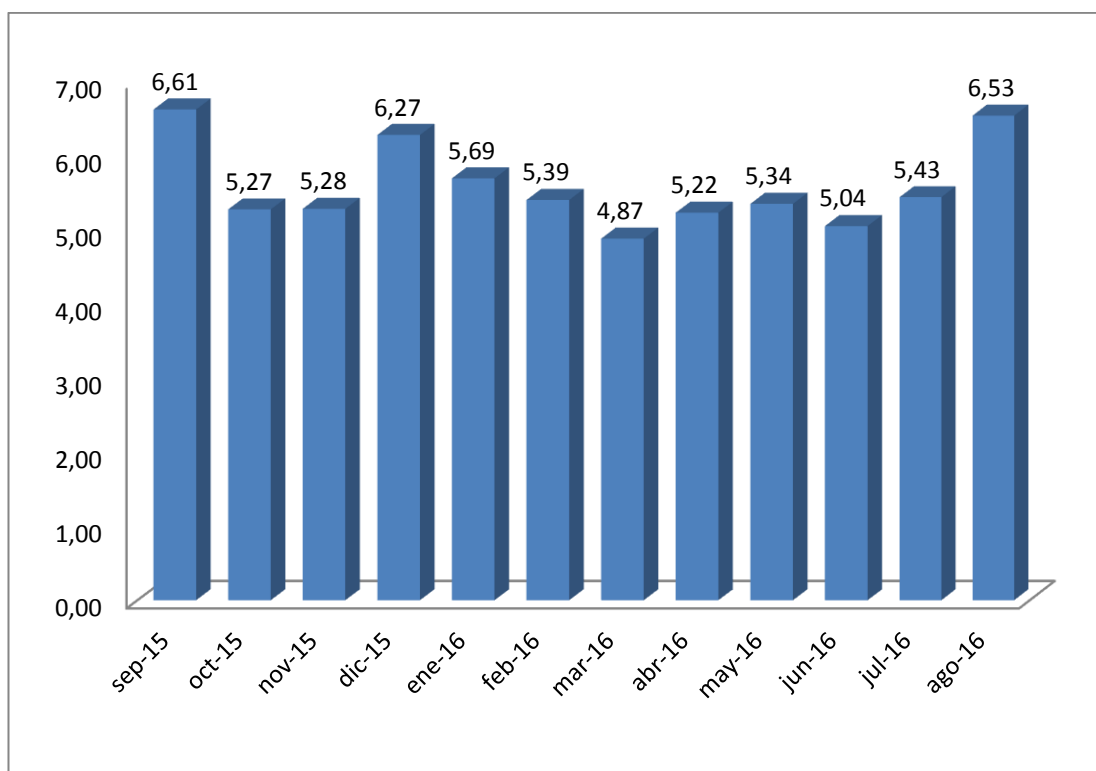


Figura 9. Radiación solar del último año (REMAAQ, 2017)

El promedio de radiación solar es de 5,58 KW/m²/día.

2.3.2.2. ANÁLISIS DE FUNCIÓN DE CALIDAD

Existen tres tipos de paneles fotovoltaicos que son: amorfos, monocristalino y policristalino. Para poder seleccionar la mejor alternativa de acuerdo a los requerimientos del usuario e ingenieriles, se recurrió al uso de la matriz de función de calidad.

| | | Importancia | Voltaje de trabajo | Potencia | Eficiencia | Amorfo | Monocristalino | Policristalino |
|----------------------------|-----------------------------|-------------|--------------------|----------|------------|--------|----------------|----------------|
| Requerimientos del cliente | Facilidad de instalacion | 4 | 1 | 1 | 1 | 5 | 4 | 4 |
| | Bajo costo de mantenimiento | 4 | 3 | 1 | 1 | 4 | 4 | 4 |
| | Precio | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 4 |
| | Vida util | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 |
| | Impacto ambiental | 5 | 1 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 |
| Especificaciones | | | | | | 20 | 20 | 22 |
| Total peso/Importancia | | 49 | 67 | 67 | 183 | | | |
| Total relativo(%) | | 27 | 37 | 37 | | | | |
| Amorfo | | 5 | 3 | 2 | 10 | | | |
| Monocristalino | | 5 | 4 | 4 | 13 | | | |
| Policristalino | | 4 | 5 | 4 | 13 | | | |

| | |
|-------|---|
| Alto | 5 |
| Medio | 3 |
| Bajo | 1 |

Figura 10. Matriz QFD para selección del tipo de panel

De acuerdo a la QFD para la selección del tipo de panel, los mejores puntuados en los requerimientos ingenieriles fueron los paneles monocristalinos y policristalinos con 13, sin embargo en los requerimientos del cliente el mejor puntuado fue el panel fotovoltaico policristalino con 22. La principal razón para usar este tipo de panel es que se los puede encontrar en el mercado con más potencia con respecto a los monocristalinos, además de tener una mayor vida útil.

2.3.2.3. DIMENSIONADO DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO

De acuerdo a las características necesarias expuestas en la casa de calidad, se decidió usar el panel fotovoltaico SIMAX 156 Solarmodule SQP672-250W el cual se lo puede encontrar en Ecuador, en la empresa Proviento. Las características técnicas de este panel se resumieron en la tabla 7.

Tabla 7. Características del módulo SIMAX 156 Solarmodule SQP672-250W

| | |
|-------------------------------|--------------------|
| Potencia | 250 W |
| Voltaje en circuito abierto | 43,5 V |
| Voltaje máximo | 36,2 V |
| Corriente en circuito abierto | 7,52 A |
| Corriente máxima | 6,91 A |
| Peso | 19,2 Kg |
| Dimensiones | 1640 x 992 x 40 mm |
| Numero de celdas | 72 |

(Proviento, 2017)

2.3.2.4. CÁLCULO DEL NÚMERO DE PANELES

De acuerdo a Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos, el número de paneles solares viene dado por la ecuación 7. (Aguilera, Hontoria, 2004).

$$\text{Número de paneles (NT)} = \frac{E.C.}{P_p * Gmb * Pg} \quad [7]$$

Dónde:

E.C.: Energía requerida del sistema fotovoltaico

P_p: Potencia pico del módulo elegido

Gmb: Radiación global sobre la superficie inclinada (KW)

Pg: Factor global de perdida

$$\text{Número de paneles(NT)} = \frac{5558,1631 \frac{Wh}{dia}}{250W * 5,58 \frac{KW}{m^2 dia} * 0,65 \frac{hm^2}{KW}}$$

$$\text{Número de paneles(NT)} = 6,13$$

Se determinó que el sistema fotovoltaico necesita 7 paneles solares.

2.3.2.5. CÁLCULO DEL NÚMERO DE PANELES FOTOVOLTAICOS EN SERIE Y PARALELO

El número de paneles solares en serie se calculó de acuerdo a la ecuación 8. (Aguilera, Hontoria, 2004).

$$\text{Numero de paneles en serie (NS)} = \frac{V_{bat}}{V_m} \quad [8]$$

Dónde:

V_{bat}: Tensión nominal de la batería

V_m: Tensión nominal de los módulos

$$\text{Número de modulos en serie(NS)} = \frac{24V}{24V}$$

$$\text{Número de modulos en serie(NS)} = 1$$

Se estableció que se tiene que instalar los 7 paneles en paralelo.

2.3.2.6. ÁNGULO DE INCIDENCIA Y ORIENTACIÓN DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

El ángulo de incidencia de los paneles fotovoltaicos busca que el panel este expuesto a los rayos solares en 90 grados la mayor cantidad de tiempo, dado que en esa condición el panel recibe más energía. Los paneles solares deben estar orientados hacia la línea equinoccial.

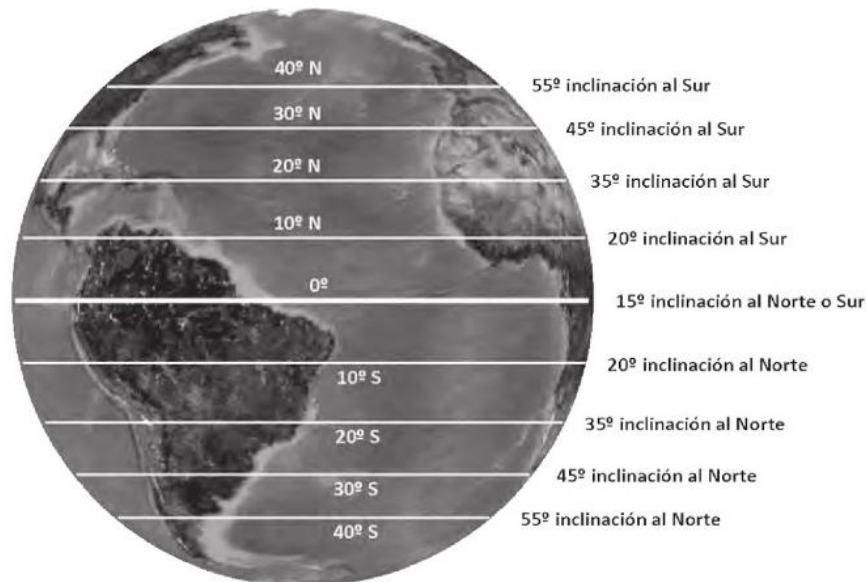


Figura 11. Ángulo de incidencia del panel fotovoltaico (Style, 2012)

La ubicación del sistema fotovoltaico está en la parroquia de Pintag, provincia de Pichincha a 0° 22.44" de la línea equinoccial. Teniendo en cuenta la cercanía del lugar a la línea equinoccial, el ángulo de incidencia de los paneles fotovoltaicos es de 15 grados. Se toma ese ángulo de inclinación para que el agua de la lluvia pueda fluir.

2.3.3. DISEÑO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA HIBRIDO

Para que el sistema sea híbrido se debió integrar los dos sistemas anteriores ya diseñados y seleccionados. Para esto es necesario seleccionar un regulador de carga que pueda soportar ambos sistemas para luego proceder a la carga de las baterías. Además fue necesario la selección de un inversor, con el cual se pondrá a disposición de la casa corriente alterna a 110VAC.

2.3.3.1. DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DEL REGULADOR DE CARGA.

El regulador de carga es el encargado de controlar que las baterías se carguen, así como verificar el correcto funcionamiento del generador eólico y fotovoltaico. El regulador debe tener la capacidad de soportar las corrientes que ingresan de los generadores así como la intensidad que consume la carga.

2.3.3.2. Corriente producida por el generador

Para el cálculo de la corriente producida por el generador se utilizó la ecuación 9. (Aguilera, Hontoria, 2004).

$$I_g = I_r * N_r \quad [9]$$

Dónde:

I_g : Corriente producida por el generador (A)

I_r : Corriente producida por cada rama en paralelo del generador (A)

N_r : Numero de ramas en paralelo del generador

$$I_g = 6,91 A * 7$$

$$I_g = 48,37 A$$

El generador produce 48,37 amperios.

2.3.3.3. Corriente consumida por la carga

La corriente consumida por la carga fue calculada utilizando la ecuación 10. (Aguilera, Hontoria, 2004).

$$I_c = \frac{P_{DC}}{V_{bat}} + \frac{P_{AC}}{110} \quad [10]$$

Donde

I_c : Corriente consumida por la carga.

P_{DC} : Potencia de las cargas en DC

V_{bat} : Voltaje de la batería

P_{AC} : Potencia de las cargas en AC

$$I_c = \frac{0}{24} + \frac{5719,34 W}{110 V}$$

$$I_c = 51,99 A$$

Por lo tanto el regulador debe ser capaz de soportar la corriente mayor entre la corriente consumida por la carga y la corriente producida por el generador, la cual es 51,99 A.

Es necesario que el regulador de carga sea híbrido para conectar los dos sistemas. Además debe trabajar al voltaje DC del sistema que es de 24V.

De acuerdo a esto, el regulador seleccionado fue Wind Solar Charge Controller WS3.9KW24V, las características técnicas están en la tabla 8.

Tabla 8. Características técnicas del regulador WS3.9KW24V

| | |
|-----------------------------------|--------------------|
| Entrada nominal del aerogenerador | 3000 W |
| Entrada solar (bajo pedido) | 2000 W |
| Corriente máxima | 125 A |
| Voltaje nominal | 24 V |
| Dimensiones | 655 x 480 x 320 mm |
| Peso | 27 Kg |

(Wind Solar, 2017)

El regulador seleccionado es apto para la conexión de ambos sistemas como se puede observar en la figura 12.

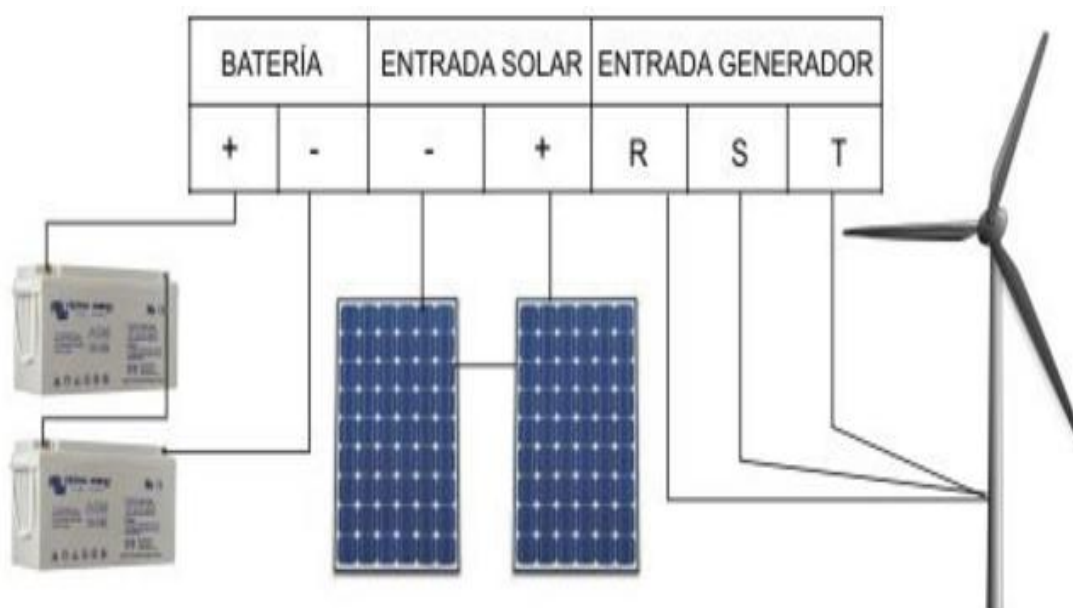


Figura 12. Conexión con el controlador híbrido

(Wind Solar, 2017)

2.3.3.4. DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE BATERÍAS

El sistema necesita de un banco de baterías para ser totalmente autónomo. Debido a que en la ubicación en donde se instalará el sistema se tiene poca nubosidad y se puede obtener hasta 12 horas continuas de radiación solar, se decidió que el sistema tenga un día de autonomía.

2.3.3.5. Casa de calidad para la selección de las baterías

Existen muchos tipos de baterías las cuales para el uso en instalaciones fotovoltaicas y eólicas, por lo que fue necesario usar la matriz de función de la calidad para poder seleccionar la batería el tipo de batería que este tipo de sistema necesita.

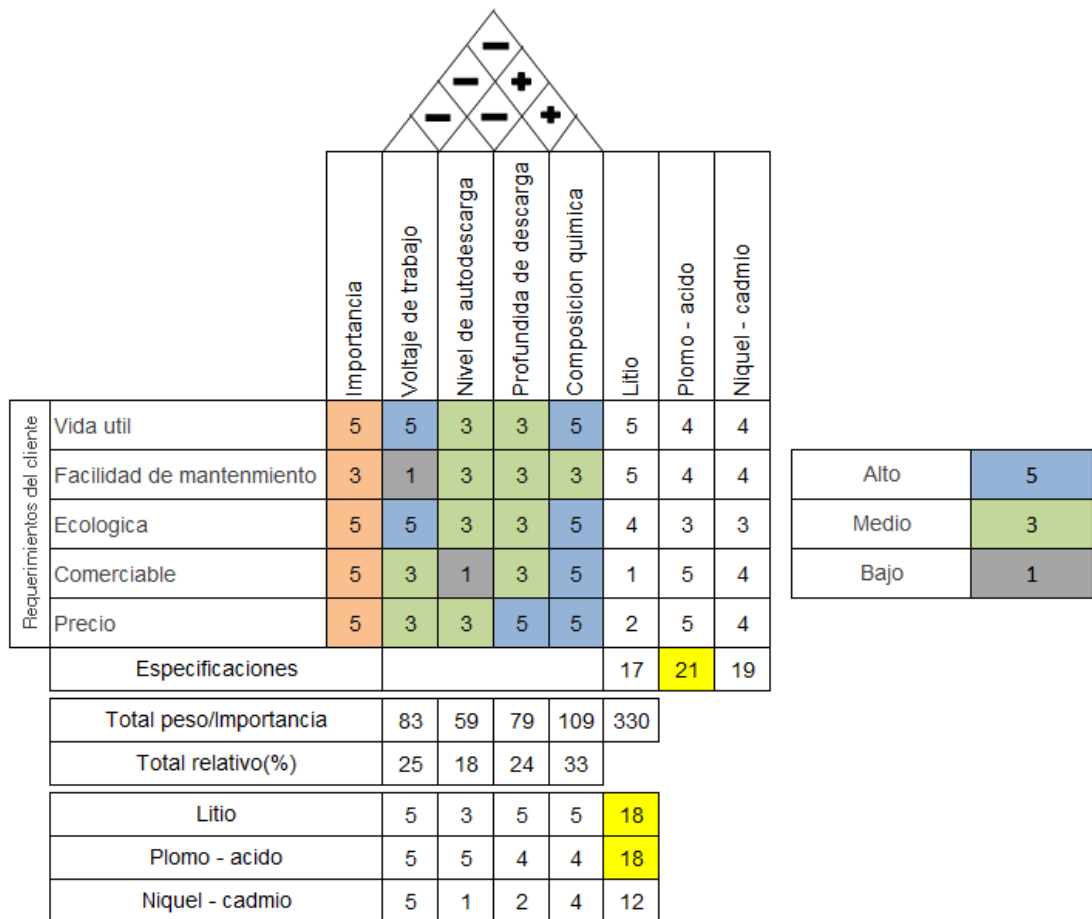


Figura 13. Matriz QFD para selección del tipo de batería

De acuerdo a la matriz QFD para la selección del tipo de batería, las baterías de litio y plomo-acido tienen la misma puntuación (18) en los requerimientos ingenieriles, por lo que, a pesar de ser diferentes pueden cumplir de forma similar con el sistema. Sin embargo las baterías de plomo-acido tienen una mayor puntuación de acuerdo a los requerimientos del cliente (21), por lo que se decidió usar este tipo de baterías. Una de las ventajas de usar baterías de plomo-acido es que se las puede encontrar fácilmente en el país.

2.3.3.6. Cálculo del número de baterías necesarias.

Para que el sistema hibrido sea totalmente autónomo, debe tener un banco de baterías donde se acumule la energía para poder usar cuando los sistemas no generen nada. Las baterías seleccionadas fueron Formula Star 24V 260Ah, cuyos datos técnicos se resumieron en la tabla 9.

Tabla 9. Datos técnicos de las baterías Formula Solar 24V 260Ah

| | |
|-----------------------------|--------|
| Voltaje | 24 V |
| Corriente | 260 Ah |
| Profundidad de descarga (%) | 30 |
| Ciclos | 1200 |

(AutoSolar, 2017)

La capacidad nominal de la batería en Wh fue calculada con la ecuación 11. (Aguilera, Hontoria, 2004).

$$C_n(Wh) = E_T * \frac{N}{P_d} \quad [11]$$

Dónde:

C_n : Capacidad nominal de la batería

E_T : Energía real requerida (Wh)

P_d : Profundidad máxima de descarga de la batería

N : días de autonomía

$$C_n(Wh) = 5719,34 \frac{Wh}{día} * \frac{1 día}{0,3}$$

$$C_n(Wh) = 19064,467 Wh$$

Para el cálculo de la capacidad nominal de la batería en Ah se usó la ecuación 12. (Aguilera, Hontoria, 2004).

$$C_n(Ah) = \frac{C_n(Wh)}{V_{bat}} \quad [12]$$

Dónde:

C_n : Capacidad nominal de la batería

V_{bat} : Tensión nominal de la batería (V)

$$C_n(Ah) = \frac{19064,467 Wh}{24 V}$$

$$C_n(Ah) = 794,35 Ah$$

El número total de baterías se determinó de acuerdo a la ecuación 13. (Aguilera, Hontoria, 2004).

$$\text{Número de baterías} = \frac{C_n(Ah)}{\text{Corriente de la batería}} \quad [13]$$

$$\text{Número de baterías} = \frac{794,35 Ah}{260 Ah}$$

$$\text{Número de baterías} = 3,055$$

Para que el sistema tenga la energía para la autonomía deseada, se necesitan 4 baterías.

2.3.3.7. DIMENSIONAMIENTO DEL INVERSOR

El inversor debe tener la capacidad de soportar la carga pico instalada en la casa.

$$\text{Carga instalada en AC} = 1602,85 \text{ W}$$

$$\text{Eficiencia del inversor} = 85\%$$

$$\text{Capacidad del inversor} = 1602,85 \text{ W} * 1,15$$

$$\text{Capacidad del inversor} = 1843,28 \text{ W}$$

La capacidad del inversor debe ser de 1843,28 W, sin embargo en el mercado no se consiguen inversores de ese valor, por lo que se seleccionó un inversor de mayor capacidad que trabaje a 24V, cuyos datos técnicos se resumieron en la tabla 10.

Tabla 10. Datos técnicos del inversor Exmork

| | |
|----------------------|---------|
| Potencia de salida | 2000 W |
| Voltaje nominal | 24 V |
| Eficiencia | 0,85 |
| Frecuencia de salida | 60 Hz |
| Voltaje de salida | 110 VAC |

(Proviento, 2017)

2.3.3.8. DIMENSIONAMIENTO DEL CABLEADO

En toda instalación eléctrica se tiene cableado el cual debe ser dimensionado debido a que generalmente hay variaciones de corriente y voltaje. Se debe intentar aprovechar al máximo la energía generada, por lo que la selección del cable es importante para que la caída de tensión sea mínima. Para el cálculo del cableado necesario en cada tramo del sistema se aplicó la ecuación 14. (Ministerio de Energía y Minas, World Wildlife Fund, Fundación Natura, 2004).

$$S = \frac{2 * L * \rho * I * 1.25}{\Delta V\% * V} \quad [14]$$

Dónde:

S: Sección del conductor (mm²)

L: Longitud del alimentado (m)

ρ : Resistividad del cobre igual a 0.01678 Ω mm

I: Corriente (A)

$\Delta V\%$: Caída de tensión en porcentaje

V: Voltaje

Para la selección del tipo de cable, se usó una tabla de cables AWG en la cual se especifica el área que debe tener el cable, la corriente que soporta el mismo y la medida del cable.

2.3.3.9. Generador fotovoltaico - controlador de carga

➤ Calibre por corriente

La corriente I_{sc} es un dato del fabricante de cada panel fotovoltaico. El factor de 1,25 representa una recomendación en la que se debe aumentar a la corriente el 25% de su valor.

$$I_{sc} \text{ paneles} = 7,52 A * 7 = 52,64 A$$

$$\text{Corriente } I_{sc} \text{ corregida} = 52,64 A * 1,25$$

$$\text{Corriente } I_{sc} \text{ corregida} = 65,8 A$$

Calibre AWG por amperaje: 4.

➤ Calibre por área

Aplicando la fórmula para elegir la sección del conductor, se obtiene:

$$L = 9m$$

$$\rho = 0,01678$$

$$I = 52,64A$$

$$\Delta V = 2V$$

$$V = 24V$$

$$S = \frac{2 * 9 * 0,01678 * 52,64 * 1,25}{0,02 * 24}$$

$$S = 41,4046 \text{ mm}^2$$

Calibre AWG por sección: 1/0

Luego de haber sacado los calibres por sección y por corriente, se debe elegir el mayor calibre de entre los dos. Por lo tanto el calibre seleccionado para este tramo es AWG 1/0.

2.3.3.10. Generador eólico – controlador de carga

Para el cálculo del cable necesario para el generador eólico se tomó en cuenta la potencia entregada que fue de 161,1769 W.

➤ **Calibre por corriente**

$$Potencia = 161,1769 W$$

$$Corriente = 6,7157 A$$

$$Corriente corregida = 8,3946 A$$

Calibre AWG por corriente: 18.

➤ **Calibre por área**

Aplicando la fórmula para elegir la sección del conductor, se obtiene:

$$L = 20m$$

$$\rho = 0,01678$$

$$I = 6,7157 A$$

$$\Delta V = 2V$$

$$V = 24V$$

$$S = \frac{2 * 20 * 0,01678 * 6,7157 * 1,25}{0,02 * 24}$$

$$S = 11,7385 mm^2$$

Calibre AWG por sección: 6.

Calibre seleccionado para este tramo: 6.

2.3.3.11. Controlador de carga – batería – inversor

➤ **Calibre por corriente**

Se tomó en consideración la corriente de las baterías.

$$Corriente de batería = 260 A$$

$$Corriente corregida = 260 A * 1.25$$

$$Corriente Isc corregida = 325 A$$

➤ **Calibre por área**

$$L = 1,8m$$

$$\rho = 0,01678$$

$$I = 325A$$

$$\Delta V = 2V$$

$$V = 24V$$

$$S = \frac{2 * 1,8 * 0,01678 * 325 * 1,25}{0,02 * 24}$$

$$S = 51,1266 \text{ mm}^2$$

Calibre AWG por sección: 1/0.

2.3.3.12. Inversor – carga AC

➤ Calibre por corriente

Se tomó la potencia pico, sin embargo, para obtener la corriente se dividió esta potencia para los 110V.

$$\text{Carga AC} = 1602,85 \text{ W}$$

$$\text{Corriente} = 14,57 \text{ A}$$

$$\text{Corriente corregida} = 18,21 \text{ A}$$

Calibre AWG por amperaje: 12.

➤ Calibre por área

Para el cálculo del cable inversor-carga, se tomó en consideración una caída de tensión del 5%.

$$L = 10 \text{ m}$$

$$\rho = 0,01678$$

$$I = 14,57 \text{ A}$$

$$\Delta V = 0,05$$

$$V = 120 \text{ V}$$

$$S = \frac{2 * 5 * 0,01678 * 14,57 * 1,25}{0,05 * 120}$$

$$S = 0,509 \text{ mm}^2$$

Calibre AWG por sección: 18.

Calibre seleccionado: 12.

En la tabla 12 se resume la distancia de cada tramo con la sección y su calibre. El cable 1/0 se pudo encontrar en la empresa CEBA comercializadora ubicada en la ciudad de Quito.

Tabla 11. Resumen del cálculo del cableado

| Tramo | Distancia (m) | Calibre AWG |
|---|---------------|-------------|
| Generador fotovoltaico – controlador de carga | 9 | 1/0 |
| Generador eólica – controlador de carga | 20 | 6 |
| Controlador de carga – batería | 1,8 | 1/0 |
| Controlador de carga – inversor | 1,8 | 1/0 |
| Inversor – carga AC | 10 | 12 |

2.3.4. DISEÑO MECÁNICO

2.3.4.1. DISEÑO DE LOS SOPORTES PARA PANELES FOTOVOLTAICOS.

Los paneles fotovoltaicos deben tener un soporte para su protección, además como ya se estableció, el soporte debe tener una inclinación de 15° para que el agua lluvia fluya y limpie los paneles. Cada panel tiene un peso de 19,2Kg. Teniendo en cuenta que se necesitan 7 paneles, se deberá diseñar un soporte para 134,4Kg. En el siguiente grafico se especifican las dimensiones de un panel.

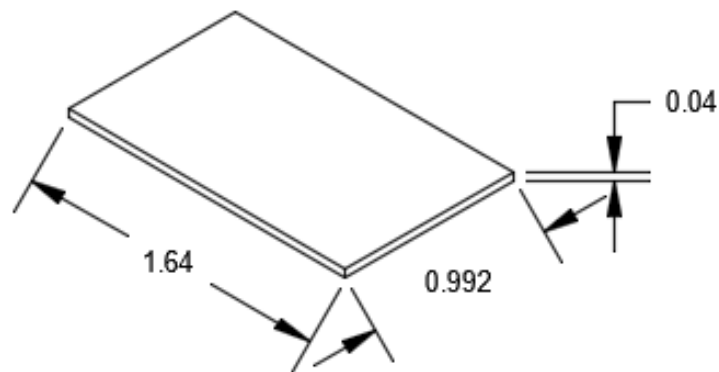


Figura 14. Dimensiones del panel fotovoltaico seleccionado en m.

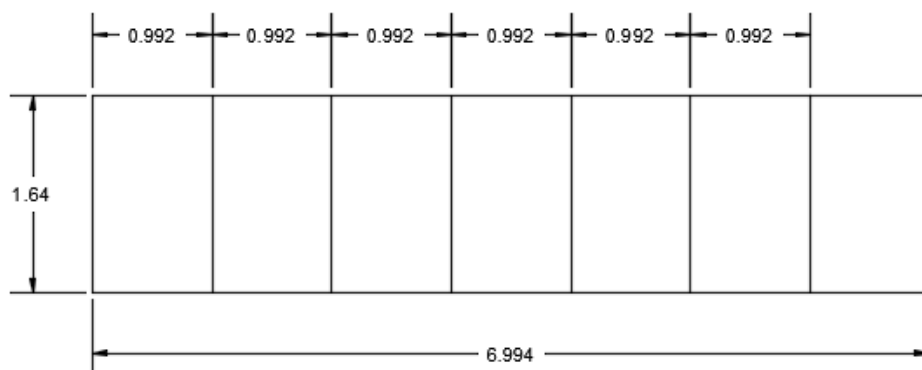


Figura 15. Área ocupada por los paneles fotovoltaicos en m.

2.3.4.2. Diseño de las vigas del soporte

De acuerdo a la figura 16, el soporte para paneles tiene 2 vigas.

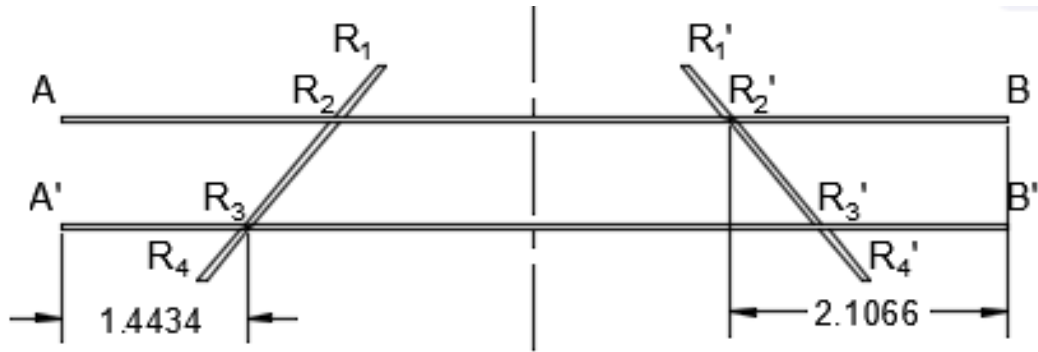


Figura 16. Estructura soporte para los paneles fotovoltaicos y distancias en m.

Las vigas AB y A'B' están sometidas a carga distribuida.

$$W = \frac{\text{carga total}}{\text{Area}} = \frac{134,4Kg}{6,944m * 1,64m} = 11,8017 \text{ Kg/m}^2$$

Para el análisis de cargas se utilizó el método de áreas tributarias. En este método se toma en cuenta el área de los paneles que va a soportar la viga. En la figura 17 se observa el área tributaria de la viga.

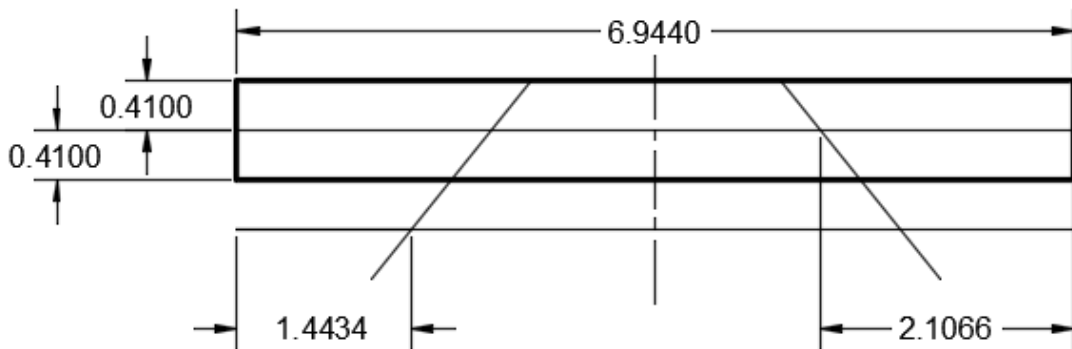


Figura 17. Área tributaria de la viga en m.

$$W_L = w * d_{tributaria}$$

$$W_L = 11,8017 \frac{Kg}{m^2} * (0,41m + 0,41m)$$

$$W_L = 9,6774 \frac{kg}{m}$$

$$W = 9,6774 \text{ kg / m}$$

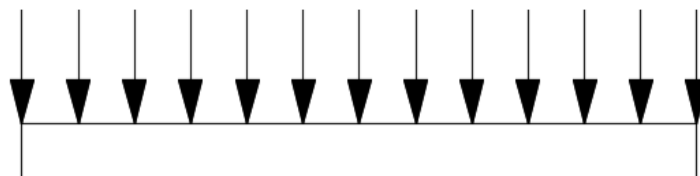


Figura 18. Carga distribuida sobre la viga

Se transformó la carga distribuida en una fuerza concentrada:

$$P = w * l$$

$$P = 9,6774 \frac{Kg}{m} * 6,944 m$$

$$P = 67,1999 Kg$$

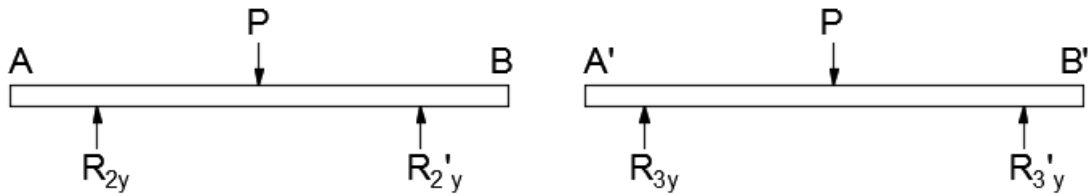


Figura 19. Cargas concentradas de las vigas AB y A'B' y sus reacciones.

➤ **Diseño de la viga AB**

Se encontraron las reacciones en Y de los puntos A y B, de acuerdo al software MDSolids:

$$R_{2y} = 33,6 Kg$$

$$R_{2y}' = 33,6 Kg$$

Se elaboró los diagramas de fuerza cortante y momento flector para encontrar los puntos críticos y sus valores. Para esto se usó el software MDSolids:

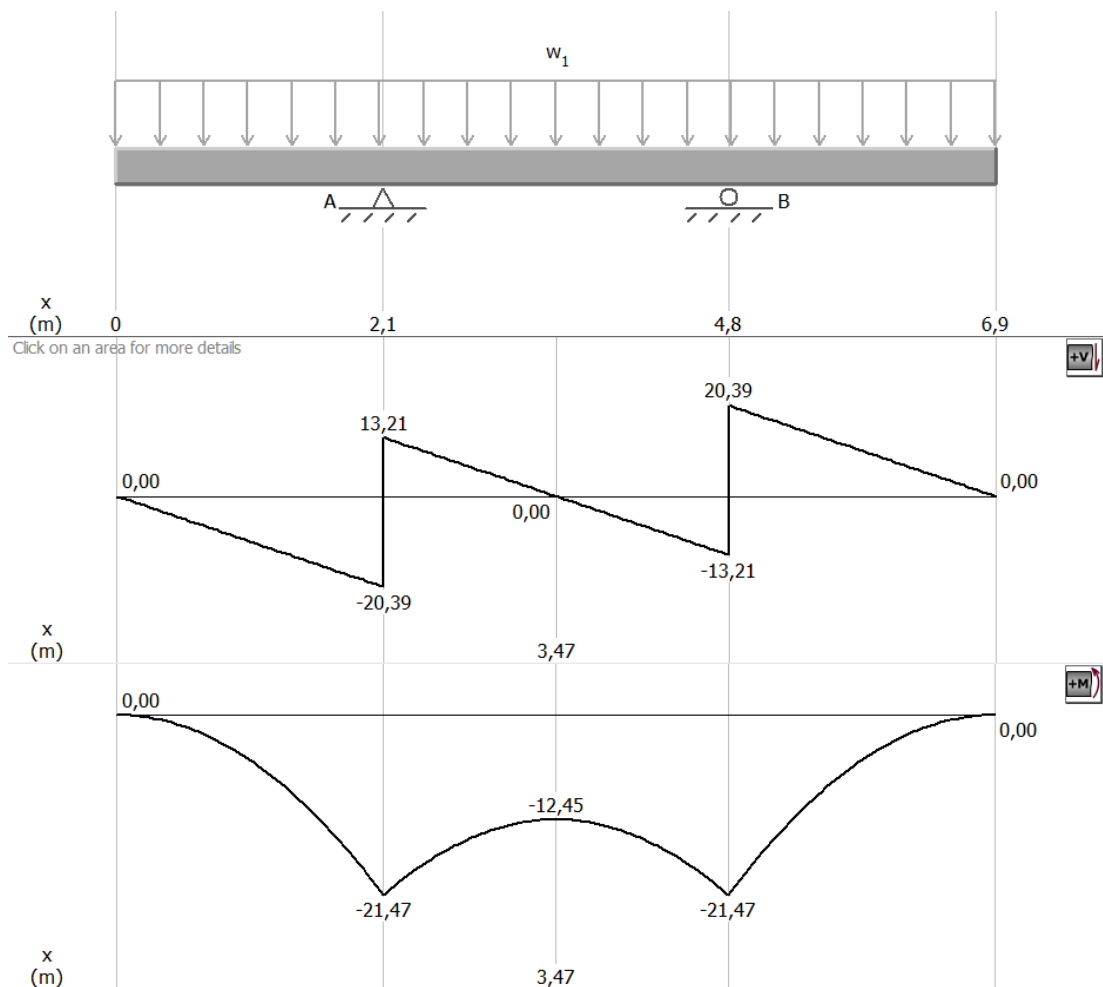


Figura 20. Diagramas de fuerza cortante y momento flector de la viga AB.

Se decidió usar acero con norma de calidad ASTM A 500. Este acero se lo puede encontrar en la ciudad de Quito, en la empresa IPAC. Tiene un esfuerzo a la fluencia $S_y = 3522 \text{Kg/cm}^2$ para tubos cuadrados y rectangulares. Se usará un factor de seguridad de 2,5. Para el cálculo del módulo de sección se usó la ecuación 15. (Mott, 2006)

$$\sigma = \frac{M}{S}$$

$$\sigma \leq \frac{S_y}{N} \quad [15]$$

$$\frac{M}{S} \leq \frac{S_y}{N}$$

Dónde:

M: Momento máximo

S: Módulo de sección

S_y : Limite a la fluencia

N: Factor de seguridad

El momento máximo se lo sacó del diagrama de momento flector de la figura 21 ($M_{\max}=21,47 \text{ Kgm}$).

$$\frac{M}{S} \leq \frac{S_y}{N}$$

$$\frac{21,47 \text{ Kgm}}{S} * \frac{100 \text{cm}}{1 \text{m}} \leq \frac{3522 \text{ Kg/cm}^2}{2,5}$$

$$S \geq 1,5239 \text{ cm}^3$$

Tabla 12. Tabla de acero A500 para tubería estructural cuadrada y sus características

| Designaciones | | Área | Peso | Propiedades Estáticas | | |
|---------------|------|-----------------|------|-----------------------|-----------------------|---------------|
| | | | | Eje x-x = y-y | | |
| | | | | Momento de inercia | Módulo de resistencia | Radio de giro |
| B | e | A | P | I | W | i |
| mm | mm | cm ² | kg/m | cm ⁴ | cm ³ | cm |
| 20 | 1,40 | 0,99 | 0,78 | 0,56 | 0,56 | 0,75 |
| | 1,50 | 1,05 | 0,83 | 0,58 | 0,58 | 0,75 |
| | 1,80 | 1,23 | 0,96 | 0,66 | 0,66 | 0,73 |
| | 2,00 | 1,34 | 1,05 | 0,70 | 0,70 | 0,72 |
| 25 | 1,40 | 1,27 | 1,00 | 1,16 | 0,93 | 0,95 |
| | 1,50 | 1,35 | 1,06 | 1,22 | 0,97 | 0,95 |
| | 1,80 | 1,59 | 1,25 | 1,39 | 1,11 | 0,94 |
| | 2,00 | 1,74 | 1,36 | 1,49 | 1,19 | 0,93 |
| 30 | 1,40 | 1,55 | 1,22 | 2,08 | 1,39 | 1,16 |
| | 1,50 | 1,65 | 1,30 | 2,20 | 1,47 | 1,15 |
| | 1,80 | 1,95 | 1,53 | 2,53 | 1,68 | 1,14 |
| | 2,00 | 2,14 | 1,68 | 2,73 | 1,82 | 1,13 |

(IPAC, 2017)

De acuerdo a la tabla 13 y con el modulo sacado, se determinó que el tubo cuadrado con un lado de 30 mm y un espesor de 1,8 mm tiene un módulo de

1,68 cm³ el cual es mayor que 1,5239 cm³ calculado. Por lo tanto cumple con la condición.

➤ **Diseño de la viga A'B'**

Para el diseño de la viga A'B' se procedio de igual manera que con la viga AB. Las reacciones son las mismas que en la viga AB. Se utilizo el programa MDSolids para obtener las graficas de esfuerzo cortante y momento flector para el cálculo de la viga apropiada.

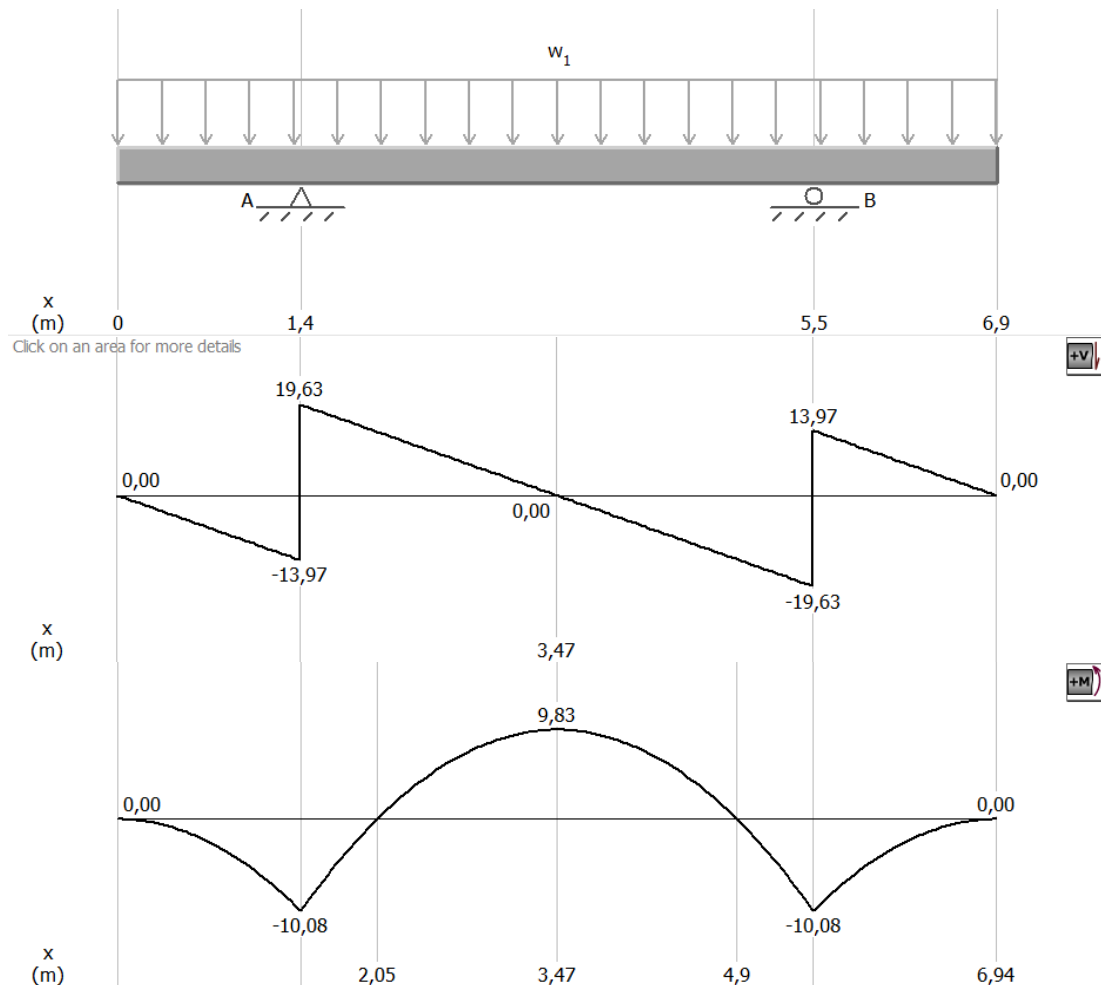


Figura 21. Diagramas de fuerza cortante y momento flector de la viga A'B'.

Utilizando la ecuación 15 se obtuvo el módulo de sección utilizando como momento máximo $M_{max} = 10,08$ Kgm que se obtuvo en la figura 22.

$$\frac{M}{S} \leq \frac{S_y}{N}$$

$$\frac{10,08 \text{ Kgm}}{S} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} \leq \frac{3522 \text{ Kg/cm}^2}{2,5}$$

$$S \geq 0,7155 \text{ cm}^3$$

De acuerdo a la tabla 13 y con el modulo sacado, se determinó que el tubo cuadrado con un lado de 25 mm y un espesor de 1,4 mm tiene un módulo de $0,93 \text{ cm}^3$ el cual es mayor que $0,7155 \text{ cm}^3$ calculado. Por lo tanto cumple con la condición.

➤ **Soportes laterales.**

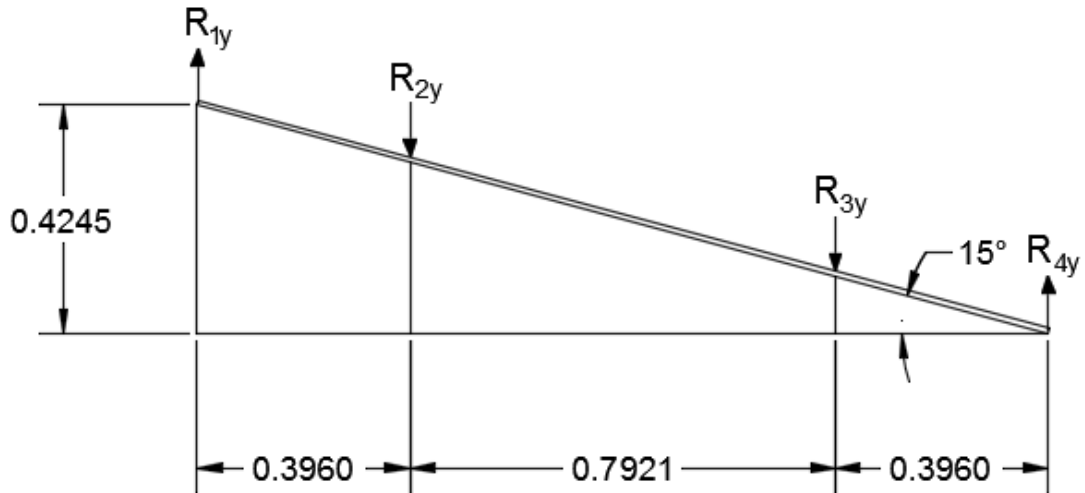


Figura 22. Diagrama de cuerpo libre de la viga en m

Para el diseño de esta viga se tomó en consideración que R_2 y R_3 son iguales en magnitud a A_y y B_y respectivamente.

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ R_1 + R_4 &= R_3 + R_2 \\ R_1 + R_4 &= 67,2 \text{ Kg} \\ \sum M_4 &= 0 \\ -R_3 * 0,396m - R_2 * (0,396 + 0,7921)m + R_1 * 1,584m &= 0 \\ R_1 &= \frac{13,3056 \text{ kgm} + 39,9168 \text{ kgm}}{1,584m} \\ R_1 &= 33,6 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Reemplazando para calcular R_4 :

$$R_4 = 33,6 \text{ Kg}$$

Se calculó el momento máximo:

$$\begin{aligned} M_{max} &= R_3 * 0,3960m \\ M_{max} &= 13,3056 \text{ Kg m} \end{aligned}$$

Se sacó la sección mínima necesaria para el diseño de esta viga:

$$\frac{M}{S} \leq \frac{S_y}{N}$$

$$\frac{13,3056 \text{ Kg}m}{S} * \frac{100cm}{1m} \leq \frac{3522 \text{ Kg}/cm^2}{2,5}$$

$$S \geq 0,9445 \text{ cm}^3$$

De acuerdo a la tabla 13 y con el modulo sacado, se determinó que el tubo cuadrado con un lado de 25mm y un espesor de 1,5mm tiene un módulo de $0,97\text{cm}^3$ el cual es mayor que $0,9445\text{cm}^3$ calculado. Por lo tanto cumple con la condición.

2.3.4.3. Diseño de las columnas del soporte

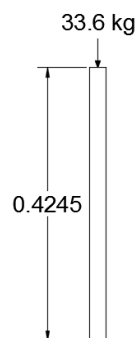


Figura 23. Diagrama de cuerpo libre de la columna

Para el cálculo de la columna se debe definir primero si es columna larga o columna corta en donde se compara la relación de esbeltez con la constante de columna.

➤ Cálculo de la relación de esbeltez

La relación de esbeltez se calculó de acuerdo a la ecuación 16. (Mott, 2006).

$$RE = \frac{K * L}{r_{min}} \quad [16]$$

Dónde:

K: Constante de acuerdo al tipo de columna.

L: Longitud de la columna.

R_{min} : Radio de giro mínimo de la sección.

La constante es $K=1$ debido a que la columna es articulada – articulada, el radio de giro es $0,95\text{cm}$ de acuerdo a la tabla 13.

$$RE = \frac{1 * 42,45cm}{0,95cm}$$

$$RE = 44,68$$

➤ Cálculo de la constante de columna

Para la constante de columna se usó la ecuación 17. (Mott, 2006).

$$CC = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} \quad [17]$$

Dónde:

E: Modulo de elasticidad (2100000 Kg/cm²)

S_y: Resistencia a la fluencia (3522 Kg/cm²)

$$CC = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * 2100000 \text{ Kg/cm}^2}{3522 \text{ Kg/cm}^2}}$$
$$CC = 108,4875$$

Para determinar si es columna larga o corta se utiliza la siguiente inecuación:

$$RE < CC$$

$$44,68 < 108,4875$$

De acuerdo a la inecuación, se la puede definir como columna corta. Se debió calcular la carga crítica mediante la ecuación 18. (Mott, 2006)

$$P_{crit} = A * S_y \left[1 - \frac{S_y * \left(\frac{K * L}{r_{min}} \right)^2}{4\pi^2 E} \right] \quad [18]$$

Dónde:

P_{crit}: Carga critica de la columna.

A: Área del perfil de acuerdo al catálogo.

S_y: Resistencia a la fluencia del acero A500 (3522 Kg/cm²).

K: Constante de acuerdo al tipo de columna.

L: Longitud de la columna.

r_{min}: Radio de giro mínimo de acuerdo al catálogo.

E: Modulo de elasticidad (2100000 Kg/cm²).

El área de acuerdo a la tabla 13 del perfil mínimo es 1,35cm². La constante K es igual a 1 debido a que la columna es articulada – articulada. La longitud de la columna es L=0,4245m. El r_{min} de acuerdo a la tabla 13 es 0,95cm.

$$P_{crit} = 1,35\text{cm}^2 * 3522 \text{ Kg/cm}^2 \left[1 - \frac{3522 \text{ Kg/cm}^2 * \left(\frac{1 * 42,45\text{cm}}{0,95\text{cm}} \right)^2}{4\pi^2 * 2100000 \text{ Kg/cm}^2} \right]$$
$$P_{crit} = 4351,3876 \text{ Kg}$$

La carga que debe soportar la columna es 33,6kg, sin embargo la carga crítica es de 4351,3876 Kg por lo que la columna seleccionada cumple con los requisitos de diseño.

2.3.4.4. DISEÑO DEL SOPORTE PARA EL AEROGENERADOR.

Para el soporte del aerogenerador se tomó en consideración el tamaño necesario. La empresa Codensa fabrica postes cónicos de diferentes dimensiones, los cuales pueden ser utilizados para aplicaciones eléctricas. El poste necesario de acuerdo a la altura es de 10m. De acuerdo al catálogo, este poste tiene las siguientes características:

Tabla 13. Datos técnicos del poste metálico

| Descripción | Longitud (mm) | Diámetro de la cima (mm) | Diámetro de la base (mm) | Espesor de lámina (mm) | Placa de la Base | | | Diámetro de los huecos (mm) |
|-------------------|---------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|------------------|---------------|---------------------------------|-----------------------------|
| | | | | | Espesor (mm) "C" | Lado (mm) "B" | Distancia entre huecos (mm) "A" | |
| Poste metálico 10 | 10 000 | 127 | 190 | 3 | 12 | 400 | 300 | 22 |

(Codensa, 2011)

2.3.4.5. Cálculo de la fuerza del viento en el rotor

Para calcular la fuerza que ejerce el viento sobre el rotor del generador eólico se utilizó la siguiente formula:

$$F_R = \frac{1}{2} * \rho_{aire} * \pi * v_{viento}^2 * R_{rotor}^2 * C_T \quad [19]$$

Dónde:

F_R : Fuerza del viento ejercida sobre el rotor (N)

ρ : Densidad del aire (1,225 Kg/m³)

v_{viento} : Velocidad del viento (1,75 m/s)

R_{rotor} : Radio del rotor (1,7m)

C_T : Coeficiente de empuje (4,5576)

$$F_R = \frac{1}{2} * 1,225 \frac{Kg}{m^3} * \pi * \left(1,75 \frac{m}{s}\right)^2 * (1,7m)^2 * 4,5576$$

$$F_R = 77,6186 N = 7,9203 Kg$$

2.3.4.6. Cálculo de la fuerza del viento en el poste

Para el cálculo de la fuerza del viento que ejerce sobre el poste se utilizó la siguiente formula:

$$F_P = \frac{1}{2} * \rho_{aire} * d_c * v_{viento}^2 * C_e \quad [20]$$

Dónde:

F : Fuerza del viento ejercida sobre el poste(N/m)

ρ : Densidad del aire (1,225 Kg/m³)

d_c : Diámetro del poste (158,5 mm)

v_{viento} : Velocidad del viento (1,75 m/s)

C_e : Coeficiente de forma (1,2 por ser cilíndrica)

$$F_P = \frac{1}{2} * 1,225 \frac{Kg}{m^3} * 158,5 \text{ mm} * \frac{1m}{1000mm} * \left(1,75 \frac{m}{s}\right)^2 * 1,2$$

$$F_P = 0,3568 \frac{N}{m} = 0,0364 \frac{Kg}{m}$$

La fuerza total ejercida es:

$$F_T = F_R + F_P$$

$$F_T = 7,9203Kg + 0,364Kg$$

$$F_T = 8,2843 \text{ Kg}$$

El momento ejercido sobre el poste es:

$$M = F * h$$

$$M = 8,2843Kg * 10m$$

$$M = 82,843 \text{ Kg m}$$

Tabla 14. Características mecánicas del poste

| | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| Carga de rotura | | 252 Kg |
| | Carga aplicada | 168 Kg |
| Deflexión máxima | Deflexión máxima a 200mm de la cima | 440 mm |
| Límite mínimo de fluencia del acero | S_v | 18,4 Kg/mm ² (180 MN/m ²) |
| Resistencia a la tracción | | 34,7 Kg/mm ² (340 MN/m ²) |
| Elongación | | 30% en 50 mm (2 pulgadas) |

(Condesa, 2011)

2.3.4.7. Resistencia del poste

Peso del poste = 144 Kg

Peso del aerogenerador = 29 Kg

$$P_T = 144Kg + 29Kg = 173Kg$$



Figura 24. Diagrama de cuerpo libre del poste metálico
(Codensa, 2011)

El poste metálico es cónico hueco, por lo tanto tiene un diámetro mayor y un menor. Por lo que el poste tiene dos puntos para analizar (A, B), debido a que en estos puntos están las reacciones. Para poder realizar el análisis a compresión y tensión es necesario calcular el área y el momento de inercia del poste.

$$A = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$$

$$A = \frac{\pi((0,190 \text{ m})^2 - (0,184 \text{ m})^2)}{4}$$

$$A = 1,7624 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

El área transversal del tubo en la base es igual a 0,00176m².

Para el cálculo del módulo de sección del poste se usó la ecuación 21. (Mott, 2006)

$$S = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32 * D} \quad [21]$$

$$S = \frac{\pi((0,190\text{m})^4 - (0,184\text{m})^4)}{32 * 0,190\text{m}}$$

$$S = 8,1114 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

EL módulo de sección del poste es 8,1114 x 10⁻⁵ m³.

2.3.4.8. Análisis a compresión del poste.

Para el análisis a compresión del poste se utilizó la ecuación 22. (Shigley, Mischke, 2002).

$$\sigma_c = \frac{M}{S} - \frac{P_T}{A} \leq \frac{S_y}{N} \quad [22]$$

$$\frac{82,843 \text{ Kg m}}{8,1114 \times 10^{-5} \text{ m}^3} - \frac{173 \text{ Kg}}{1,7624 \times 10^{-3} \text{ m}^2} \leq \frac{18,4 \text{ Kg/mm}^2}{2,5}$$

$$923154,0812 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} * \left(\frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}}\right)^2 \leq 7,36 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$0,923154 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \leq 7,36 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

En el caso de una compresión máxima bajo las condiciones dadas, el poste no sufrirá deformación.

2.3.4.9. Análisis a tensión del poste.

Para el análisis a tensión del poste se utilizó la siguiente fórmula:

$$\sigma_c = -\frac{M}{S} - \frac{P_T}{A} \leq \frac{S_y}{N}$$

$$-\frac{82,843 \text{ Kg m}}{8,1114 \times 10^{-5} \text{ m}^3} - \frac{173 \text{ Kg}}{1,7624 \times 10^{-3} \text{ m}^2} \leq \frac{18,4 \text{ Kg/mm}^2}{2,5}$$

$$-1119477,276 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} * \left(\frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}}\right)^2 \leq 7,36 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$-1,119477 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \leq 7,36 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

De acuerdo a estos cálculos los esfuerzos se encuentran dentro de los rangos permitidos por lo que el poste cumple con las condiciones requeridas.

2.3.4.10. Cimentación para el soporte del aerogenerador

El poste del aerogenerador debe tener una cimentación la cual asegure una distribución pareja de las cargas y fuerzas. De acuerdo a la empresa Codensa, se recomienda usar específicamente para este tipo de poste las siguientes cimentación y perno de anclaje resumidas en la tabla 16.

Tabla 15. Anclaje del poste a la base

| Descripción | PERNO DE ANCLAJE | | | | BASE DE CONCRETO | |
|-------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------|-------------|
| | Diámetro del perno mm(pulg.) | Distancia entre pernos (mm) "A" | Longitud del perno (mm) "L1" | Longitud doblada (mm) | Profundidad H1(mm) | Lado D (mm) |
| Poste 10 m | 19 (3/4") | 300 | 1200 | 100 | 1100 | 450 |

(Codensa, 2011)

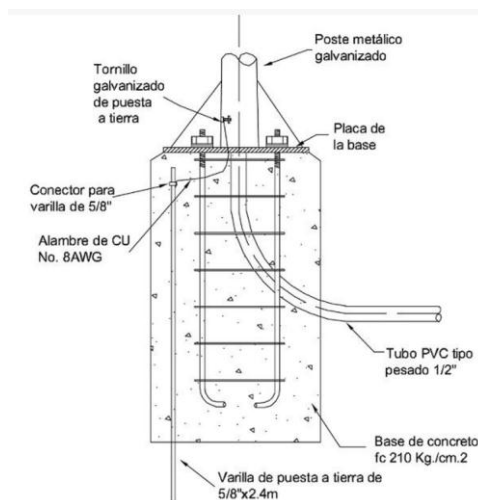


Figura 25. Características generales de cimentación para el anclaje del poste metálico. (Codensa, 2011)

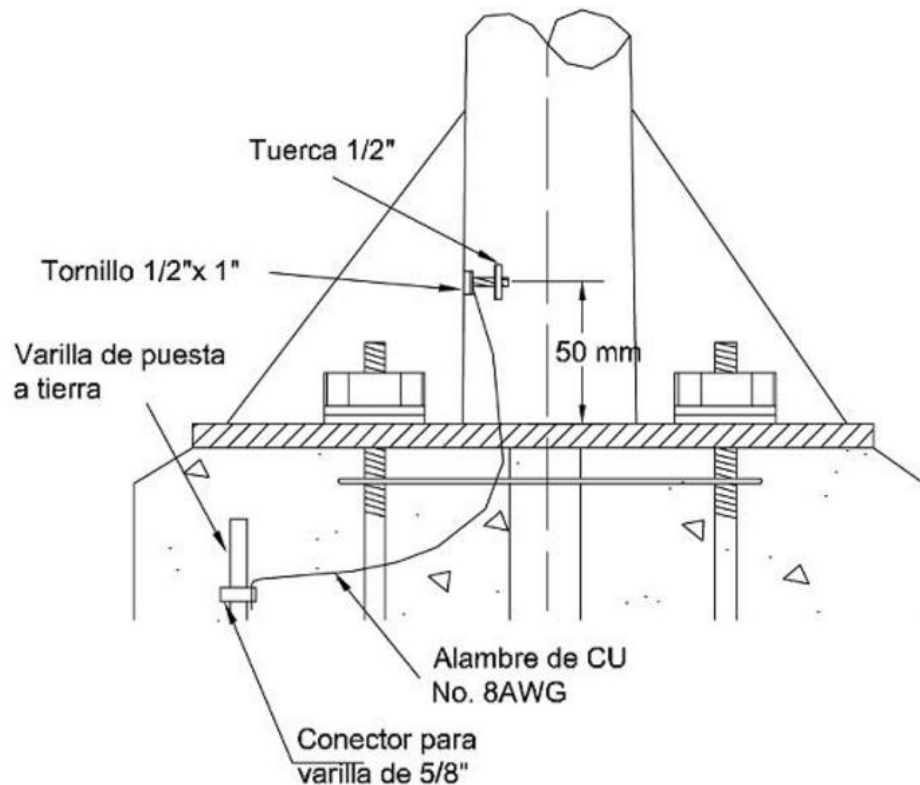


Figura 26. Detalle de la ubicación de pernos para el anclaje
(Codensa, 2011)

En las figuras 25 y 26 se detallan como realizar la cimentación y como colocar los pernos de anclaje para el poste eólico.

2.4. ALTERNATIVA AL SISTEMA HIBRIDO UTILIZANDO SOLO EL RECURSO SOLAR

Para el diseño del sistema solo fotovoltaico, se decidió usar el panel fotovoltaico SIMAX SM636W-150 el cual se lo puede encontrar en Ecuador, en la empresa Proviento. Las características técnicas de este panel se resumieron en la siguiente tabla.

Tabla 16. Características del módulo SIMAX SIMAX SM636W-150

| | |
|-------------------------------|--------------------|
| Potencia | 150 W |
| Voltaje en circuito abierto | 22,6 V |
| Voltaje máximo | 18,01 V |
| Corriente en circuito abierto | 8,88 A |
| Corriente máxima | 8,42 A |
| Peso | 12, Kg |
| Dimensiones | 1482 x 676 x 35 mm |
| Numero de celdas | 36 |

(Proviento, 2017)

- **Cálculo del número de paneles.**

Para el cálculo del número de paneles se usó la ecuación 7.

$$\text{Número de paneles (NT)} = \frac{E.C.}{P_p * Gmb * Pg} = \frac{5558,1631 \frac{Wh}{día}}{150W * 5,58 \frac{KW}{m^2 día} * 0,65 \frac{hm^2}{KW}}$$

$$\text{Número de paneles(NT)} = 10,22$$

Se determinó que el sistema fotovoltaico necesita 11 paneles solares.

- **Cálculo del número de paneles fotovoltaicos en serie y paralelo.**

El número de paneles solares en serie se calculó de acuerdo a la ecuación 8.

$$\text{Numero de paneles en serie (NS)} = \frac{V_{bat}}{V_m} = \frac{12V}{12V}$$

$$\text{Número de modulos en serie(NS)} = 1$$

Se estableció que se tiene que instalar los 11 paneles en paralelo.

- **Dimensionamiento y selección del regulador de carga.**

- **Corriente producida por el generador**

Para el cálculo de la corriente producida por el generador se utilizó la ecuación 9.

$$I_g = I_r * N_r = 8,42 A * 11$$

$$I_g = 92,62 A$$

El generador produce 92,62 amperios.

- **Corriente consumida por la carga**

La corriente consumida por la carga fue calculada utilizando la ecuación 10.

$$I_c = \frac{P_{DC}}{V_{bat}} + \frac{P_{AC}}{110} = \frac{0}{12 V} + \frac{5719.34 W}{110 V}$$

$$I_c = 51,99 A$$

El regulador debe ser capaz de soportar la corriente mayor entre la corriente consumida por la carga y la corriente producida por el generador, la cual es 92,62 A.

El regulador debe trabajar al voltaje DC del sistema que es de 12V.

El regulador seleccionado fue MPPT Smart Solar VICTRON, las características técnicas están en la siguiente tabla.

Tabla 17. Características técnicas del regulador

| | |
|-----------------------|-------|
| Corriente máxima | 100 A |
| Tensión máxima | 150 V |
| Voltaje nominal | 12 V |
| Consumo del regulador | 1 W |

(AutoSolar, 2017)

- **Dimensionamiento del banco de baterías**
 - **Cálculo del número de baterías necesarias.**

Para que el sistema sea totalmente autónomo, debe tener un banco de baterías donde se acumule la energía. Las baterías seleccionadas fueron Solarbatt Monoblock, cuyos datos técnicos se resumieron en la siguiente tabla.

Tabla 18. Datos técnicos de las baterías Solarbatt Monoblock

| | |
|-----------------------------|--------|
| Voltaje | 12 V |
| Corriente | 250 Ah |
| Profundidad de descarga (%) | 60 |
| Ciclos | 1200 |

(AutoSolar, 2017)

La capacidad nominal de la batería en Wh fue calculada con la ecuación 11.

$$Cn(Wh) = E_T * \frac{N}{P_d} = 5719,34 \frac{Wh}{día} * \frac{1 día}{0,6}$$

$$Cn(Wh) = 9532,23 Wh$$

Para el cálculo de la capacidad nominal de la batería en Ah se usó la ecuación 12.

$$Cn(Ah) = \frac{Cn(Wh)}{V_{bat}} = \frac{9532,23 Wh}{12 V}$$

$$Cn(Ah) = 794,35 Ah$$

El número total de baterías se determinó de acuerdo a la ecuación 13.

$$\text{Número de baterías} = \frac{Cn(Ah)}{\text{Corriente de la batería}} = \frac{794,35 Ah}{250 Ah}$$

$$\text{Número de baterías} = 3,18$$

El sistema necesita 4 baterías para tener la autonomía deseada.

- **Dimensionamiento del inversor**

El inversor debe tener la capacidad de soportar la carga pico instalada en la casa.

$$\text{Carga instalada en AC} = 1602,85 \text{ W}$$

$$\text{Eficiencia del inversor} = 85\%$$

$$\text{Capacidad del inversor} = 1602,85 \text{ W} * 1,15$$

$$\text{Capacidad del inversor} = 1843,28 \text{ W}$$

La capacidad del inversor debe ser de 1843,28 W, sin embargo en el mercado no se consiguen inversores de ese valor, por lo que se seleccionó un inversor de mayor capacidad que trabaje a 12V, cuyos datos técnicos se resumieron en la siguiente tabla.

Tabla 19. Datos técnicos del inversor Exmork

| | |
|----------------------|---------|
| Potencia de salida | 2000 W |
| Voltaje nominal | 12 V |
| Eficiencia | 0,85 |
| Frecuencia de salida | 60 Hz |
| Voltaje de salida | 110 VAC |

(Proviento, 2017)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. SIMULACIÓN

3.1.1. SISTEMA HIBRIDO

Para la simulación se usó el programa Homer Pro en el cual se pueden simular diferentes tipos de sistemas de generación de energía eléctrica.

Luego del diseño se determinó lo que cada parte (eólico-fotovoltaico) puede aportar al sistema. De acuerdo a esto, se elaboró la tabla 21.

Tabla 20. Energía producida por el sistema

| Sistema | Energía producida |
|--------------|-------------------|
| Eólico | 161,1769 Wh/día |
| Fotovoltaico | 5558,1631 Wh/día |
| Total | 5719,344 Wh/día |

De acuerdo a la tabla anterior, el sistema precisa 5,719 KWh/día por lo que en un año el sistema necesitaría 2087,56 KWh/año.

- **Parámetros de entrada para la simulación.**

El programa Homer Pro necesita la localización del lugar donde se realiza el estudio debido a que puede bajar datos desde internet del recurso eólico y solar.



Figura 27. Localización geográfica en el software Homer Pro

Se debió poner los componentes del sistema híbrido, especificando en detalle cada parte del sistema. En esta especificación se incluyó la carga del sistema, la potencia de los paneles fotovoltaicos, el número de baterías y el tipo de inversor.

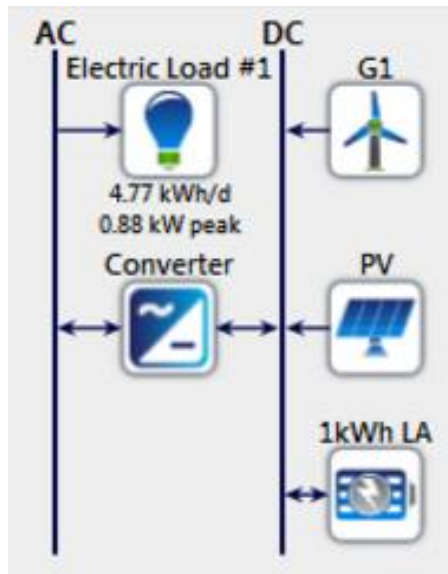


Figura 28. Sistema híbrido en el software Homer Pro

En Electric Load se debió especificar la carga máxima del sistema y el tipo de carga que se tiene en la casa, como se observa en la figura 29.

| Métrica | Escalado |
|------------------|----------|
| Promedio (kWh/d) | 4,77 |
| Promedio (kW) | ,2 |
| Pico (kW) | ,88 |
| Factor de carga | ,22 |

Tipo de carga: CA CD

Promedio anual escalado (kWh/d):

Figura 29. Configuración de carga en el software Homer Pro

En PV se debió poner la capacidad del sistema en KW, el costo y el tiempo de vida útil de los paneles fotovoltaicos como se detalla en la figura 30.

PV

| Capacity (kW) | Inversión (€) | Reemplazo (€) |
|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| <input type="text" value="1,75"/> | <input type="text" value="2.508,80"/> | <input type="text" value="2.508,80"/> |

Lifetime

time (years):

Figura 30. Potencia de los paneles fotovoltaicos en el software Homer Pro

Se debió poner la cantidad de baterías y el tiempo de vida útil de las baterías como se observa en la figura 31.

Batteries

| Cantidad | Inversión (€) | Reemplazo (€) |
|----------|---------------|---------------|
| 4 | 1.035,00 | 1.035,00 |

Lifetime

time (years): 15,00

throughput (kWh): 3.000,00

Figura 31. Características de las baterías en el software Homer Pro

En Converter se especificó la capacidad del inversor, la vida útil y la eficiencia del mismo como se muestra en la figura 32.

Costs

| Capacidad (kW) | Inversión (€) | Reemplazo (€) | O&M (\$/año) |
|----------------|---------------|---------------|--------------|
| 2 | \$ 300,00 | \$ 300,00 | \$ 0,0 |

Click here to add new item

Multiplicador:

Capacity Optimization

- HOMER Optimizer™
- Search Space
- Advanced

Entrada del inversor

Vida útil (años): 15,00

Eficiencia (%): 95,00

¿Paralelo con el generador de CA?

Entrada del rectificador

Capacidad relativa (%): 100,00

Eficiencia (%): 90,00

Figura 32. Características del inversor en el software Homer Pro

En G1 se definieron los parámetros del generador eólico. Como se puede apreciar en la figura 33, se ingresaron la cantidad y el costo. Además se debió introducir los valores de potencia con respecto a la velocidad del viento del generador para tener la curva característica como se puede observar en la figura 34.

Costs

| Cantidad | Inversión (€) | Reemplazo (€) | O&M (\$/año) |
|----------|---------------|---------------|--------------|
| 1 | \$ 1.882,00 | \$ 1.882,00 | \$ 1,00 |

Click here to add new item

Multiplicador:

Figura 33. Cantidad y costo del generador eólico en el software Homer Pro

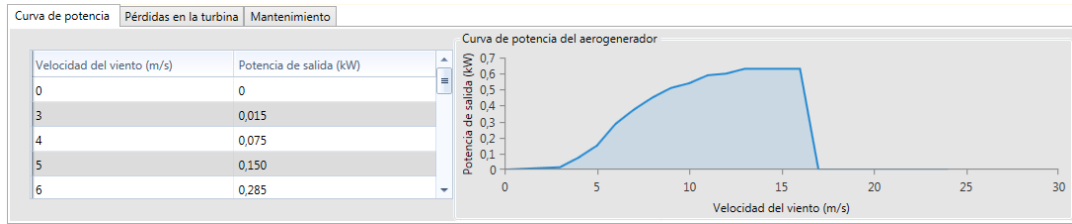


Figura 34. Grafico característico del generador eólico en el software Homer Pro

Posteriormente se debió descargar los recursos eólicos disponibles así como el recurso solar. Este software tomó los datos de la NASA para esta región.



Figura 35. Recurso solar disponible para la simulación en el software Homer Pro.

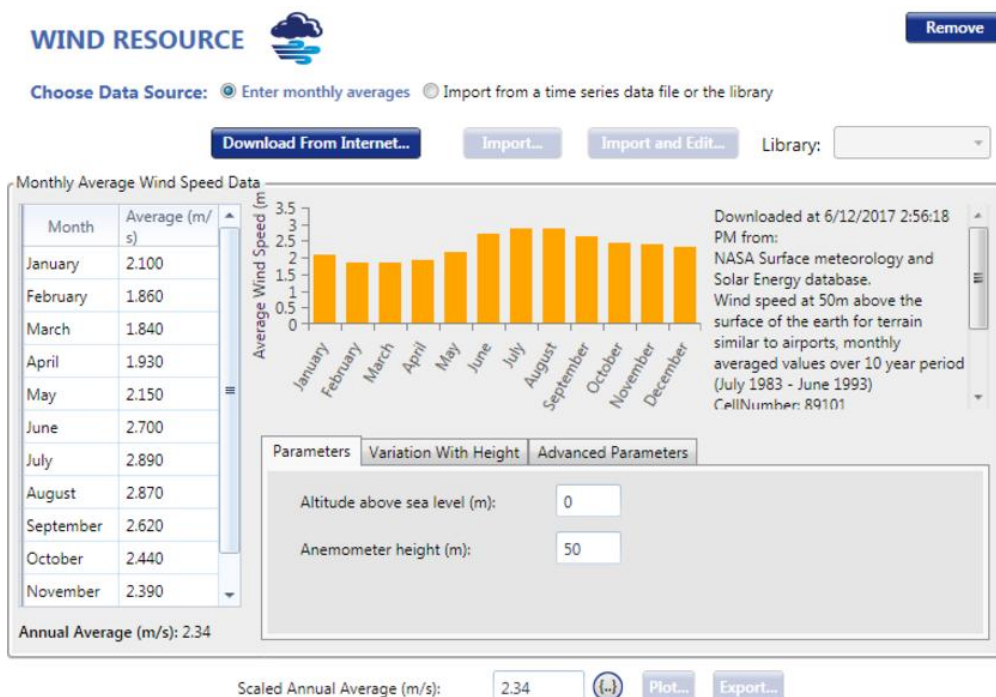


Figura 36. Recurso eólico disponible para la simulación en el software Homer Pro

Se pudo observar que el recurso solar es muy inferior con respecto a los datos tomados de la red de monitoreo del distrito metropolitano de Quito. Sin embargo los datos del recurso eólico son superiores con respecto a los datos tomados en la misma estación.

- **Resultados de la simulación.**

Una vez ingresados estos datos, se realizó la simulación del sistema híbrido con lo que se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 21. Resultados de la simulación del sistema híbrido en el software Homer Pro

| Componentes | Arquitectura | | PV | | GE | | Baterías |
|-------------|--------------|---------|------------|------------------|------------|------------------|---------------|
| | PV (KW) | GE (KW) | Costo (\$) | Producción (KWh) | Costo (\$) | Producción (KWh) | Autonomía (h) |
| | 1,75 | 0,6 | 2508 | 2170 | 1882 | 172 | 43 |

| Production | kWh/yr | % |
|-----------------------|--------|--------|
| Generic flat plate PV | 2,170 | 92.64 |
| Generic 1 kW | 172 | 7.36 |
| Total | 2,342 | 100.00 |

| Consumption | kWh/yr | % |
|-----------------|--------|--------|
| AC Primary Load | 1,687 | 100.00 |
| DC Primary Load | 0 | 0.00 |
| Total | 1,687 | 100.00 |

| Quantity | kWh/yr | % |
|---------------------|--------|------|
| Excess Electricity | 494.2 | 21.1 |
| Unmet Electric Load | 52.6 | 3.0 |
| Capacity Shortage | 78.0 | 4.5 |

| Quantity | Value |
|-------------------------|---------|
| Renewable Fraction | 100.0 |
| Max. Renew. Penetration | 1,729.8 |

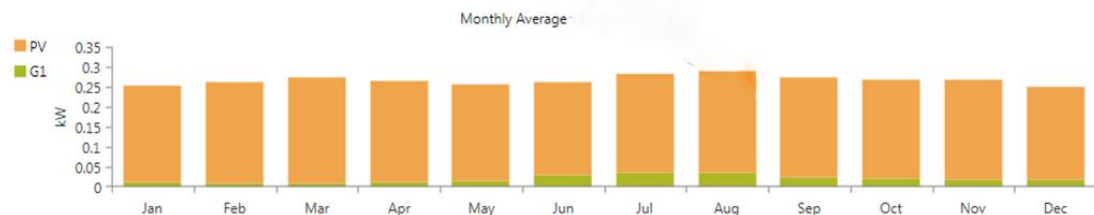


Figura 37. Resultados de la simulación del software Homer Pro

De acuerdo a estos resultados, el sistema híbrido es viable por que cubre la demanda de la casa para todo el año. El sistema genera un total de 2342 KWh/año, mientras que la carga consume 2087,56 KWh/año. De acuerdo a la simulación el sistema de generación eólico aporta con 172 KWh/año lo cual representa el 7,36% de la energía total producida, mientras el sistema fotovoltaico genera 2170 KWh/año que representa el 92,64%.

3.1.2. SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para la simulación del sistema fotovoltaico se utilizó el software Homer Pro de forma similar a la simulación del sistema híbrido.

Se debió poner los componentes de sistema fotovoltaico autónomo en donde se especifica la carga del sistema, la potencia de los paneles fotovoltaicos, la capacidad de las baterías e inversor. En la figura 38 se muestra la distribución del sistema fotovoltaico.

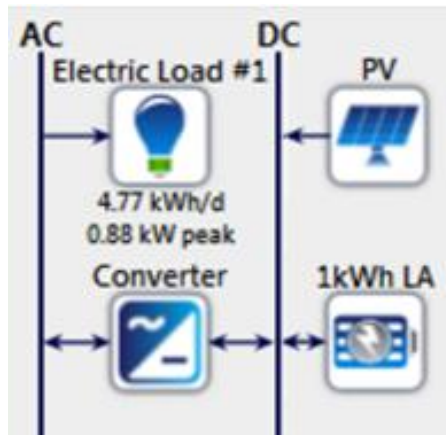


Figura 38. Sistema fotovoltaico en el software Homer Pro

Una vez ingresado los valores requeridos se simuló el sistema, los resultados se resumieron en la tabla 23.

Tabla 22. Resultados de la simulación del sistema fotovoltaico en el software Homer Pro

| Componentes | Arquitectura | | PV | Baterías |
|-------------|--------------|------------|------------------|---------------|
| | PV (KW) | Costo (\$) | Producción (KWh) | Autonomía (h) |
| | 1,65 | 2217,6 | 2108 | 72 |

| Producción | kWh/año | % |
|-----------------------|---------|-----|
| Generic flat plate PV | 2.108 | 100 |
| Total | 2.108 | 100 |

| Consumo | kWh/año | % |
|----------------------|---------|-----|
| Carga primaria de CA | 1.679 | 100 |
| Carga primaria de CD | 0 | 0 |
| Total | 1.679 | 100 |

| Cantidad | kWh/año | % |
|------------------------------|---------|------|
| Exceso de electricidad | 110 | 5,20 |
| Carga eléctrica insatisfecha | 61,8 | 3,55 |
| Falta de capacidad | 87,3 | 5,01 |

| Cantidad | Valor |
|------------------------------|-------|
| Fracción renovable | 100 |
| Penetración renovable máxima | 1.654 |



Figura 39. Resultados de la simulación del sistema fotovoltaico

De acuerdo a la figura 39, el sistema fotovoltaico cubre la demanda de la casa para todo el año. El sistema genera un total de 2108 KWh/año, mientras que la carga consume 2087,56 KWh/año.

3.2. ANÁLISIS ECONÓMICO

3.2.1. SISTEMA HIBRIDO

3.2.1.1. COSTO TOTAL DEL SISTEMA DISEÑADO

De acuerdo al diseño y selección de los componentes del sistema híbrido, se elaboró la tabla 24 en la cual se especifica los precios de cada elemento:

Tabla 23. Detalle de los costos para la implementación del proyecto

| Cantidad | Elemento | Valor unitario (USD) | Valor total (USD) |
|----------|--|----------------------|-------------------|
| 7 | Panel solar SIMAX 250W | 358,4 | 2508,8 |
| 1 | Aerogenerador Enertik | 2079,43 | 2079,43 |
| 1 | Regulador de carga WS3.9KW24V | 1526,73 | 1526,73 |
| 4 | Baterías Formula Star 24V/260Ah | 1035 | 4140 |
| 1 | Inversor Exmork 2000W/24V | 336 | 336 |
| 1 | Poste metálico cónico 10m | 650 | 650 |
| 2 | Tubería estructural cuadrada 25mm x 1,40mm | 7 | 14 |
| 3 | Tubería estructural cuadrada 25mm x 1,50mm | 8 | 24 |
| 3 | Tubería estructural cuadrada 25mm x 1,80mm | 9 | 27 |
| 2 | Tubería estructural cuadrada 30mm x 1,80mm | 15 | 30 |
| 4 | Repuestos | 6002,73 | 6002,73 |
| | Cimentación | 60 | 60 |
| | Cableado y otros | 200 | 200 |
| | Total | | 17598,69 |

De acuerdo a las características de los componentes del sistema, se estima que la vida útil de la misma sea de 25 años por los paneles, sin embargo se deberá cambiar el banco de baterías, el regulador de carga y el inversor luego 13 años, valor que está incluido en repuestos. En el valor unitario del aerogenerador, regulador de carga y baterías se incluye el costo de aduanas y el valor de importación de dichos equipos al Ecuador.

En el supuesto de que se deseara que la casa cuente con la energía eléctrica de la red, primero se debería instalar un medidor. El valor de la instalación del medidor es de \$45, dicho valor viene incluido en la planilla del primer mes. Aparte de pagar el consumo energético, se deben pagar ciertos rubros que vienen incluidos en la carta de pago de la luz. Para la elaboración de la tabla 25 se tomó como referencia el pliego tarifario de la Empresa Eléctrica Quito (EEQ). Estos rubros son:

Tabla 24. Valores adicionales a pagar en una planilla de luz

| | |
|-------------------------------|--------------------------------|
| Comercialización | \$1,415 |
| Tributo al cuerpo de bomberos | \$1,88 |
| Tasa de recolección de basura | \$4,15 |
| Alumbrado publico | 6,94% del valor de la planilla |

El costo del KWh está de acuerdo al consumo que se tiene mensualmente. El sistema híbrido genera en un día 5,719 KWh, por lo que mensualmente será de 171,58 KWh. De acuerdo al pliego tarifario de la Empresa Eléctrica Quito, entre 150 a 200 KWh de consumo mensual equivale a \$0,0904 el KWh. De acuerdo a estos valores se elaboró la tabla 26 donde se detalla el valor a pagar el primer mes.

Tabla 25. Planilla a pagar el primer mes.

| | |
|----------------------------|-----------------|
| Cargo medidor | \$ 45 |
| Valor consumo (171,58 KWh) | \$ 15,511 |
| Tributo Cuerpo de Bomberos | \$ 1,88 |
| Tasa recolección de basura | \$ 4,15 |
| Comercialización | \$ 1,414 |
| Alumbrado publico | \$ 4,716 |
| Total | \$ 72,67 |

El cargo al medidor solo se cobra el primer mes, por lo que el resto de meses se tendrá otro valor en la planilla como se detalla en la tabla 27.

Tabla 26. Planilla a pagar el resto de meses

| | |
|----------------------------|-----------------|
| Valor consumo (171,58 KWh) | \$ 15,511 |
| Tributo Cuerpo de Bomberos | \$ 1,88 |
| Tasa recolección de basura | \$ 4,15 |
| Comercialización | \$ 1,414 |
| Alumbrado publico | \$ 1,59 |
| Total | \$ 24,55 |

De acuerdo a estos valores el primer año correspondería pagar \$342,72 mientras que el resto de los años \$294,60. Se calculó que el tiempo necesario para recuperar los \$17598,69 gastados en este sistema es de 59 años aproximadamente. Uno de los factores más importantes para que esto suceda es que el gobierno subsidia la energía eléctrica por lo que se paga menos por cada KW/h consumido.

3.2.2. SISTEMA FOTOVOLTAICO

En la tabla 28 se especificó los componentes y precios del sistema fotovoltaico

Tabla 27. Detalle de costos del sistema fotovoltaico

| Cantidad | Elemento | Valor unitario (USD) | Valor total (USD) |
|----------|--------------------------------------|----------------------|-------------------|
| 11 | Panel simax SM636-150 12V 150W | 201,6 | 2217,6 |
| 4 | Batería 250Ah 12V Solarbatt Monobloc | 264 | 1056 |
| 1 | Regulador de carga | 923 | 923 |
| 1 | Inversor | 336 | 336 |
| 1 | Estructura metalica para paneles | 95 | 95 |
| 1 | cableado y otros | 200 | 200 |
| | Repuestos | | 2315 |
| | Total | | 7142,6 |

Se estima que la vida útil del sistema sea de 25 años por los paneles, sin embargo se deberá cambiar el banco de baterías, el regulador de carga y el inversor luego 13 años, valores que están incluidos en respuestos.

Se calculó que el tiempo necesario para recuperar el monto gastado es de 24 años aproximadamente.

3.2.3. VENTAJAS AMBIENTALES DEL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES

De acuerdo a la ARCONEL, en el año 2016 del total de la energía bruta distribuida, el 60% proviene de fuentes renovables mientras que el 40% corresponde a fuentes no renovables como se puede apreciar en la figura 40.

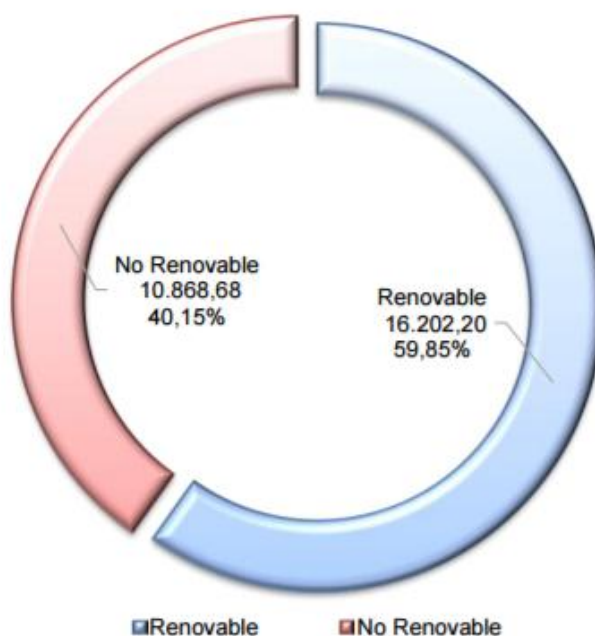


Figura 40. Producción por tipo de energía (ARCONEL, 2017)

La fundación Cambugán tiene una filosofía de conservación ambiental por lo que se desea que la casa de huéspedes tenga energía eléctrica por medio de energías renovables.

Este tipo de sistemas tienen ciertas ventajas con respecto a los sistemas convencionales.

Ventajas de los sistemas de generación eléctrica solar y eólico:

- Las plantas de energía solar no contaminan comparadas con los generadores a diesel y no hacen ruido.
- Los sistemas solares pueden ser instaladas en cualquier parte del planeta.

- No hay dependencia energética de la red, por lo que si hay cortes, en la casa se podría seguir ocupando aparatos eléctricos con normalidad.
- El sol y el viento son una fuente inagotable de energía.
- Reduce el uso de combustibles fósiles por lo que ayuda a que la contaminación por CO₂ disminuya.
- Reduce las importaciones de energía.
- Contribuye al desarrollo sostenible.
- Genera riqueza y empleo local.
- No generan residuos.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La demanda energética depende directamente del tipo de equipos o electrodomésticos que se conecten. De acuerdo a la ARCONEL el consumo de una casa en Pichincha es 340,6 KWh, mientras que la casa de la fundación necesita 171,58 KWh, lo cual representa solo el 50% del consumo de un hogar convencional debido a que no se va a usar equipos con gran demanda energética.
- Para el dimensionamiento del generador eólico se tomó en consideración la velocidad baja del viento (1,75 m/s) en el lugar de instalación, con la cual se puede obtener solamente 6,72 Wh, aprovechándose solo el 1,12% de su capacidad, debido a que el aerogenerador a una velocidad nominal de 11 m/s puede generar 600 Wh. Sin embargo en el lugar de estudio la velocidad máxima registrada fue de 7,5 m/s con una probabilidad muy baja de ocurrencia. Por lo que no es recomendable usar este tipo de sistemas en esa ubicación.
- Para la selección de los paneles solares se tomó en consideración el voltaje nominal del sistema (24V), además de la facilidad de encontrarlos en el mercado. No se consideró conveniente utilizar paneles de menor voltaje debido a que se duplicaría en número paneles así como el costo del generador fotovoltaico. El generador fotovoltaico produciría anualmente 2170 KWh lo cual representaría el 92,64% de la generación del sistema. Teniendo en cuenta que el consumo del sistema es de 2087,56 KWh/año, el generador fotovoltaico podría cubrir toda la demanda de la casa.
- El regulador de carga seleccionado es híbrido y tiene un funcionamiento PWM, el cual fuerza a los dos sistemas de generación a cargar las baterías a la tensión de las mismas, además este tipo de regulador tiene la capacidad de modular el ancho de pulso para evitar que las baterías se sobrecarguen y así tengan una vida útil más larga (10-13 años). Cuando las baterías se encuentren totalmente cargadas, el regulador desconecta el contacto generador – baterías.
- El tiempo necesario para recuperar la inversión del sistema híbrido es de 59 años aproximadamente mientras que su vida útil es de 25, por lo que este tipo de sistema no es viable en el aspecto económico (en este caso es más barato conectarse a la red eléctrica del Ecuador), pero sí en el aspecto ambiental. Sin embargo de acuerdo al análisis económico, con un sistema fotovoltaico se recuperaría la inversión en 24 años aproximadamente, con una vida útil de 25 años, por lo que sería viable.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda considerar el uso de paneles híbridos. Este tipo de paneles son térmicos y fotovoltaicos por lo que pueden generar energía eléctrica y al mismo tiempo calientan agua. Además tienen una mejor eficiencia y reducen la superficie de captación.
- Se recomienda analizar el uso de un regulador de carga con tecnología MPPT debido a que se podría tener más eficiencia en el sistema de generación de energía.
- Se recomienda la implementación del sistema de inmediato, debido a que la energía eléctrica es una necesidad básica.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2008). Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica.
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2016). Consumo Anual Per Cápita 2015.
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2017). Estadística anual y multianual del sector eléctrico ecuatoriano 2016.
- Aguilera, J., Hontoria, L. (2004). Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos.
- Autosolar. (Julio de 2017). Batería 24V 260Ah Formula Star. Obtenido de: <https://autosolar.es/bateria-24v/bateria-24v-260ah-formula-star>.
- Castillo, A., Villada, F., Valencia, J. (2014). Diseño multiobjetivo de un sistema híbrido eólico-solar con baterías para zonas no interconectadas. Bogotá.
- CODENSA. (2011). ET204 Postes metálicos para alumbrado público.
- Consorcio metalúrgico nacional. (2011). Perfil estructural tubular negro y galvanizado ASTM A500. Bogotá.
- Duran, M. (2013). Montaje mecánico en instalaciones solares fotovoltaicas.
- Energy. (Julio de 2017). Hybrid Wind and Solar Electric Systems, Department of Energy. Obtenido de: <https://energy.gov/energysaver/hybrid-wind-and-solar-electric-systems>
- ENERTIK. (2017). User manual GE-600-24.
- INIECO. (2011). Desarrollo de proyectos de instalaciones de energía mini-eólica aislada.
- IPAC. (Julio de 2017). Tubería estructural cuadrada. Obtenido de <http://www.ipac-acero.com/>
- Mars Rock Science Technology Co. (2017). Wind Solar Controller WS3.9KW24V.
- Micheloud, O., Vicini, R. (2012). Smart Grids: Fundamentos, Tecnologías y Aplicaciones
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2009). Atlas eólico del Ecuador con fines de generación eléctrica.
- Ministerio de Energía y Minas, World Wildlife Fund, Fundación Natura. (2004). Energías Renovables: Conceptos y Aplicaciones.
- Mott, R. (2006). Diseño de elementos de máquinas.
- Mundosolar. (Junio de 2017). Aerogenerador - turbina eólica 24V 600W. Obtenido de: <http://www.mundosolar.com.ar/index.php/8-kits-solares-para-viviendas-aislados/80-aerogenerador-turbina-eolica-24v-600w-2>.
- Nnadil, D., Odehl, C., Crescent, O. (2014). Use of hybrid solar-wind energy generation for remote area electrification in south-eastern Nigeria.

- Oğuz, Y., Özsoy, F. (2015). Sizing, design, and installation of an isolated wind-photovoltaic hybrid power system with battery storage for laboratory general illumination in Afyonkarahisar, Turkey.
- Ortega, A., Cabrera, M. (2013). Diseño por simulación de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico para una vaquería en Cuba
- Proviento. (2017). Manual de instrucciones para inversores de onda sinusoidal EXMORK.
- Proviento. (2017). Specification | Photovoltaic Module SIMAX 156 Solarmodule SQP672-250W.
- Shigley, J., Mischke, C. (2002). Diseño en ingeniería mecánica.
- Style, O. (2012). Energía solar autónoma: planificación, dimensionado e instalación de un sistema fotovoltaico autónomo.
- Verein Deutscher Ingenieure. (2004). Design methodology for Mechatronic systems.
- Villarubia, M. (2012). Ingeniería de la energía eólica. Barcelona.
- Wind Solar. (Julio de 2017). Regulador híbrido. Obtenido de <http://www.revosolar.com>

ANEXOS

ANEXO 1
FORMATO PRESENTADO A LA FUNDACIÓN

*Apoyando a la conservación y recuperación
de ecosistemas naturales*



OFICIO-034-GI-FC-2017

Quito, 8 de agosto del 2017

Ingeniero Msc

Luis Hidalgo

DOCENTE FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

Reciban un atento saludo de la Fundación Cambugán, organización no gubernamental, sin fines de lucro que procura la conservación y restauración de ecosistemas, especialmente de bosques naturales, mediante la investigación científica y el trabajo comunitario encaminados a aportar a la construcción de modelos viables de desarrollo sostenible que combinen la preservación del entorno natural y una vida digna de las comunidades vinculadas a él.


Tengo el agrado de dirigirme a Ud. para poner en su conocimiento que:

- CAMPAÑA NENGER DIEGO ALEXANDER

Realizó la entrega del informe técnico sobre Diseño de un sistema mixto para generación eléctrica mediante energías renovables en la Granja Agroecológica de la Fundación Cambugán, Píntag

Sin otro particular me suscribo de usted augurándole éxito en sus funciones.

Atentamente,


Fundación Cambugán
18001

Msc. Carmen Mariscal
DIRECTORA EJECUTIVA
FUNDACIÓN CAMBUGÁN

ANEXO 2

PLANOS

Plano 1. Plano de la casa.

Plano 2. Ubicación del sistema eólico y fotovoltaico.

Plano 3. Esquema de conexión.

Plano 4. Soporte de paneles fotovoltaicos.

