

“CON LUZ PROPIA”

DESARROLLO DE UN SISTEMA AUTOSOSTENIBLE DE GENERACIÓN DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA, A PARTIR DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS, ORIENTADO AL  
SUMINISTRO DE ILUMINACIÓN PÚBLICA Y DE SERVICIOS ALTERNOS PARA  
POBLACIONES NO INTERCONECTADAS

Autor:

Ramiro Isaza Escobar

Tutor - Coautor:

Gilberto Osorio Gómez

Escuela De Ingeniería

Grupo de Investigación en Ingeniería de Diseño - GRID

Universidad EAFIT

2017.

## TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCION .....	7
2	IMPACTO ESPERADO .....	8
3	ENTORNO COMPETITIVO.....	9
4	MERCADO OBJETIVO .....	11
5	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	13
6	OBJETIVOS.....	14
6.1	OBJETIVO GENERAL.....	14
6.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	14
7	METODOLOGIA .....	15
7.1	FASE 1. INVESTIGACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN.....	15
7.2	FASE 2. DISEÑO CONCEPTUAL .....	15
7.3	FASE 3. DESARROLLO DE ALTERNATIVAS.....	16
7.4	FASE 4. DISEÑO DE DETALLE .....	16
8	FASE 1: INVESTIGACION Y CONTEXTUALIZACION.....	18
8.1	ESTADO DEL ARTE .....	18
8.1.1	Análisis Estado Del Arte y Vigilancia Tecnológica .....	18
8.1.2	Tendencias En I+D.....	19
8.2	DESARROLLO DE SOLUCION AL PROBLEMA .....	20
8.3	SELECCIÓN TECNOLOGIA DE GENERACIÓN HIBRIDA (FOTOVOLTAICA-EOLICA).....	24
8.4	CÁLCULO CONSUMO ENERGÉTICO DEL SISTEMA .....	27
8.4.1	Requerimientos Y Parámetros Energéticos Del Sistema .....	27
8.4.2	Cálculo De Equipos .....	31
8.5	NECESIDADES Y DESEOS.....	37
8.6	CONCLUSIONES PDS Y QFD.....	37
9	FAS 2: DISEÑO CONCEPTUAL .....	41
9.1	ANALISIS FUNCIONAL.....	41
9.1.1	Caja Negra .....	41
9.1.2	Caja Transparente.....	41
9.1.3	Árbol De Funciones .....	43
9.1.4	Atributos .....	43
9.1.5	Planchas De Tendencia.....	45
9.1.6	Mapa Perceptual .....	48

9.1.7	Referentes.....	50
10	FASE 3: DESARROLLO DE ALTERNATIVAS.....	52
10.1	GENERACION DE ALTERNATIVAS.....	52
10.1.1	Matriz Morfológica .....	52
10.1.2	Configuración Funcional.....	53
10.1.3	Alternativas Generadas .....	59
10.2	SELECCIÓN DE ALTERNATIVA FINAL .....	61
10.2.1	Preselección Alternativas.....	61
10.2.2	Matriz Selección Alternativas.....	64
10.2.3	Alternativa Final Seleccionada.....	66
11	FASE 4: DISEÑO DE DETALLE .....	68
11.1	CONFIGURACIONES FUNCIONALES.....	68
11.2	PARTES.....	69
11.2.1	Componentes Eléctricos Estándar.....	69
11.2.2	Componentes Mecánicos Estándar .....	71
11.2.3	Componentes Manufacturados.....	72
11.2.4	Diagrama De Ensamble Y Procesos.....	75
11.3	CÁLCULOS ESTRUCTURALES.....	77
11.3.1	Diagrama Cuerpo Libre .....	77
11.3.2	Cálculo Presión Aire En Panel Solar.....	79
11.3.3	Cálculo Poste Panel Solar .....	81
11.3.4	Cálculo Poste Turbina .....	85
11.3.5	Cálculo Estructural Acople Medio Panel Solar Y Eólica .....	87
11.3.6	Cálculo Estructural Poste Principal .....	89
11.3.7	Cálculo Estructural Base .....	91
11.4	COSTOS.....	93
11.5	AMORTIZACION DEL SISTEMA ELECTRICO .....	94
12	CONCLUSIONES .....	100
13	RECOMENDACIONES .....	103
14	BIBLIOGRAFIA.....	104

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Instalación Sistema Fotovoltaico.....	22
Figura 2. Instalación Sistema Híbrido.....	23
Figura 3. Mapa de Radiación Solar Global (promedio mensual) .....	30
Figura 4. Mapa de Velocidad del Viento en Superficie (promedio mensual).....	31
Figura 5. Generación Eléctrica Turbina Eólica seleccionada Vs Velocidad del Viento. ....	34
Figura 6. Caja Negra del Sistema .....	41
Figura 7. Caja Transparente del Sistema.....	43
Figura 8. Árbol de Funciones del Sistema.....	43
Figura 9. Conceptos Globales.....	44
Figura 10. Plancha Biomorfo .....	46
Figura 11. Plancha Entrelazado .....	47
Figura 12. Plancha Bambú.....	48
Figura 13. Mapa Perceptual.....	49
Figura 14. Grupo 8, Mapa Perceptual .....	50
Figura 15. Referentes Banco de Imágenes.....	51
Figura 16. Símbolos Funciones .....	53
Figura 17. Alternativas Generadas (Bocetos) .....	60
Figura 18. Alternativas Generadas (Modelaciones CAD) .....	61
Figura 19. Alternativa Final Seleccionada.....	67
Figura 20. Diagrama de Ensamble y Procesos Total del Sistema.....	76
Figura 21. Diagrama de cuerpo libre.....	78
Figura 22. Condiciones Cálculo Presión Aire en Panel Solar .....	79
Figura 23. Resultados Cálculo Presión Aire en Panel Solar.....	80
Figura 24. Condiciones de Cálculo Poste Panel Solar (Carga Frontal Presión Aire) .....	81
Figura 25. Resultados Cálculo Poste Panel Solar (Carga Frontal Presión Aire).....	82
Figura 26. Condiciones Cálculo Poste Panel Solar (Carga Lateral Presión Aire) .....	83
Figura 27. Resultados Cálculo Poste Panel Solar (Carga Lateral Presión Aire) .....	84
Figura 28. Condiciones Cálculo Poste Turbina .....	85
Figura 29. Resultados Cálculo Poste Turbina .....	86
Figura 30. Condiciones Cálculo Estructural Acople Medio. ....	87
Figura 31. Resultados Cálculo Estructural Acople Medio.....	88
Figura 32. Condiciones Cálculo Estructural Poste Principal.....	89
Figura 33. Resultados Cálculo Estructural Poste Principal.....	90
Figura 34. Condiciones Cálculo Estructural Base .....	91
Figura 35. Resultados Cálculo Estructural Base. ....	92

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Selección de Tecnologías de Generación Híbrida (Fotovoltaica-eólica) .....	25
Tabla 2. Consumo Promedio Equipos Eléctricos .....	27
Tabla 3, Requerimientos y Parámetros Energéticos del Sistema.....	32
Tabla 4. Consumo Energético y Potencia Total del Sistema .....	32
Tabla 5. Matriz Morfológica.....	52
Tabla 6. Configuraciones Funcionales. ....	59
Tabla 7. Alternativas de Diseño Finales.....	64
Tabla 8. Matriz Selección Alternativas .....	66
Tabla 9. Tipos de Configuraciones Funcionales Posibles. ....	69
Tabla 10. Componentes Eléctricos Estándar Seleccionados. ....	70
Tabla 11. Componentes Mecánicos Estándar.....	71
Tabla 12. Lista de Partes Componentes Manufacturados.....	75
Tabla 13. Tabla de nomenclatura de Procesos.....	75
Tabla 14. Descripción Variable y Condiciones de Cálculo. ....	79
Tabla 15. Resultados Cálculo Presión Aire en Panel Solar .....	80
Tabla 16. Resultados Cálculo Poste Panel Solar (Carga Frontal Presión Aire) .....	82
Tabla 17. Resultados Cálculo Poste Panel Solar (Carga Lateral Presión Aire) .....	84
Tabla 18. Resultados Cálculo Poste Turbina .....	86
Tabla 19. Resultados Cálculo Estructural Acople Medio. ....	88
Tabla 20. Resultados Cálculo estructural poste principal. ....	90
Tabla 21. Resultados Cálculo estructural base. ....	92
Tabla 22. Proyección de Costos Modelo Funcional. ....	93
Tabla 23. Tiempo Amortización Configuraciones Sistema Generación Eléctrica.....	97
Tabla 24. Proyección Costo Deseado Sistema Generación Eléctrica. ....	99

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo Potencia Banco Baterías .....	32
Ecuación 2. Capacidad Banco Baterías. ....	33
Ecuación 3. Potencia Total del Arreglo de Paneles.....	34
Ecuación 4. Potencia de Trabajo del Sistema. ....	35
Ecuación 5. Amperaje de trabajo Controlador MPPT .....	36
Ecuación 6. Amortización del Sistema Eléctrico.....	94
Ecuación 7. Calculo Costo Sistema Generación Eléctrica .....	98

## 1 INTRODUCCION

Una problemática, que aún se vive en el país, especialmente en zonas apartadas de los cascos urbanos, es la carencia en la prestación de servicios públicos básicos, debido a diversos factores económicos, geográficos y sociales.

El proyecto propuesto busca satisfacer de alguna manera estas necesidades enfocados principalmente en dar solución a estas comunidades en el servicio de alumbrado público y mitigar la ausencia de energía eléctrica, permitiendo el uso de aparatos y equipos eléctricos y electrónicos de bajo consumo.

Para lograr esto, se propone diseñar y construir un sistema autosostenible de iluminación pública, con la capacidad de proveer de este servicio a comunidades en zonas rurales, que no estén interconectadas a la red eléctrica del país, además, de aprovechar los excedentes energéticos alcanzados durante la captación de energías alternativas, como la solar y eólica, para el suministro eléctrico de equipos de bajo consumo, como computadores portátiles, tabletas, televisores, etc.

Para el desarrollo de este proyecto, se unen la empresa privada y la academia, con la intención de unir esfuerzos y experiencias para la ejecución y puesta en marcha del sistema, a nivel técnico y comercial, logrando así, mejores resultados y mayor impacto.

Por un lado, se cuenta con la participación de la universidad EAFIT, específicamente del grupo de investigación en ingeniería de diseño (GRID), el cual por su reconocida experiencia en el desarrollo de proyectos en el área de energías renovables, será el encargado del desarrollo técnico del proyecto, desde el punto de vista de diseño, construcción, monitoreo y puesta en marcha del sistema.

Por otro lado la empresa Prójimo se unirá con su experiencia en la ejecución de proyectos de impacto social, para dar apoyo, tanto en la ejecución administrativa, como comercial del proyecto. También, en la identificación de futuros clientes y el apoyo financiero y de recurso humano del mismo.

Gracias a la experiencia obtenida por Prójimo, en el desarrollo de proyectos de este tipo, se identifica no sólo la problemática antes descrita, sino también el mercado que invertiría en este tipo de solución. Así, el cliente, a diferencia del usuario final, que serían los directamente beneficiados en la implementación de este proyecto, estará enfocado a grandes empresas y entidades gubernamentales, las cuales dentro de sus políticas de responsabilidad social, invierten en este tipo de proyectos, donde los dineros, realmente si impacten positivamente a comunidades menos favorecidas.

Luego del resultado final del desarrollo de este proyecto, cuyo alcance considera el diseño de detalle, la propuesta es continuar con el desarrollo del proyecto en fases posteriores de fabricación de un prototipo funcional a escala real, una vez se disponga de recursos económicos, ya sea por recursos de convocatorias o de la empresa interesada en el proyecto, para la prueba piloto in situ de este y evaluación y monitoreo de desempeño, así como estudiar la viabilidad comercial y técnica que permita una comercialización con los clientes potenciales.

## 2 IMPACTO ESPERADO

El uso y explotación de energías alternativas en el país, ha ido creciendo en los últimos años como alternativa energética, para suplir la generación de energía por métodos tradicionales, que tienen mayor impacto con el medio ambiente.

La innovación en este proyecto, está enfocada en cómo integrar este tipo de tecnologías que ya están disponibles en el país, para beneficiar comunidades en las cuales, los medios tradicionales de transmisión energética no han podido llegar, debido a condiciones geográficas o dificultades técnicas y económicas en la interconectividad de la red eléctrica del país.

El carácter innovador desde el aspecto técnico, busca concebir un sistema modular híbrido de captación de energía solar y eólica a través de paneles solares y turbinas eólicas de baja generación, la cual generará la suficiente energía eléctrica, tanto para proveer a estas comunidades del servicio de alumbrado público, como también, lograr un aprovechamiento de los excedentes de energía alcanzados para alimentar otro tipo de sistemas eléctricos de bajo consumo y satisfacer otras necesidades alternas, como por ejemplo; acceso a internet, uso de dispositivos electrónicos o elementos vitales para la conservación de alimentos o medicinas.

Otro aspecto importante es la modularidad del sistema, que permitirá configurarse de diferentes formas, según las condiciones de infraestructura y climáticas de cada región y los requerimientos energéticos deseados, según las necesidades de cada comunidad.

Aunque este tipo de proyectos, se han empezado a ejecutar en el país y están enfocados solamente a la generación de iluminación de espacios, son desarrollados por empresas privadas con fines de lucro e instalados en contextos diferentes, como zonas urbanas, a diferencia de lo que se pretende con esta propuesta, la cual busca integrar empresas privadas que requieran ejecutar dineros destinados a impacto social, y a entidades del estado que requiera dar solución a esta problemática, donde el beneficio final, no Sólo sea la integración, inclusión y apropiación en el uso de este tipo de tecnologías en comunidades rurales, sino también dar el debido reconocimiento a las empresas y entidades públicas que hacen esfuerzos en inversión social.

### 3 ENTORNO COMPETITIVO

Aunque el concepto productivo del proyecto es ser integradores de tecnologías de fabricación extranjera, para configurar un producto en un mercado específico, es importante aclarar que en Colombia, ya hay empresas que se valen de este mismo concepto para su desarrollo comercial, pero la diferencia que se busca como valor agregado tecnológico y comercial en este proyecto, es la integración de sistemas híbridos, que no han sido explorados ni explotados en el mercado nacional.

Aunque los sistemas fotovoltaicos ya son difundidos en el medio, la explotación de energía eólica por medio de turbinas de baja generación, aun no es comercializada para este tipo de sistemas de iluminación.

En estos sistemas híbridos, se busca que trabajen en conjunto dos tipos de energías alternativas, en este caso, energía solar y eólica, a través de paneles solares y turbinas eólicas, buscando así, configurar sistemas de iluminación pública más eficientes y que puedan ser instalados en diferentes zonas, dependiendo del potencial de energía solar y eólica que se identifique en cada región del país.

No obstante, esta configuración tecnológica, requiere de un proceso de investigación y desarrollo para que el sistema pueda cumplir con los requerimientos técnicos y las necesidades de los usuarios finales, según diferentes factores involucrados, como es el caso del costo final del producto, los requerimientos energéticos y normativos, las condiciones finales del sitio a instalar el producto, etc.

En Colombia la difusión de tecnologías de captación de energías alternativas, ya son de fácil adquisición. En este caso, empresas proveedoras de este tipo de tecnologías como; Hybrytec, GIE SAS, Orquidea Solar y Sensstech, no son una amenaza para el desarrollo comercial del proyecto, ya que estos mismos serán nuestros proveedores.

Nuestros competidores serán empresas como; Erco, APROTEC, SAEC S.A, Alta Ingeniería y Ecogroup. Estas empresas adquieren estas tecnologías de energías alternativas y las implementan en proyectos funcionales para su uso y explotación final.

El tipo de empresas antes descrito, serán nuestros competidores, pero nuestra diferencia estará enfocada en el cliente. Nuestro Target, inicialmente, estará enfocado en buscar grandes empresas y entidades gubernamentales donde se requiera hacer inversión social en proyectos que impacten positivamente a la comunidad, donde estos clientes intermedios vean realmente un Costo-beneficio en el dinero que invierten.

Entre nuestras fortalezas para el desarrollo de este proyecto, tanto desde el aspecto técnico como de mercado encontramos:

- El sistema de iluminación propuesto, integra dos fuentes de energías alternativas (eólica y solar), lo cual todavía no ha sido difundido en el país. lo que permite, no sólo ser más eficiente en la generación de energía eléctrica, sino también de ofrecer la posibilidad de adaptarse a las condiciones ambientales características de cada zona del país donde se implemente esta solución.

- Tener un sistema dimensionado que permite el uso de los excedentes de energía eléctrica alcanzados, para alimentar otros aparatos eléctricos de bajo consumo en estas zonas no interconectadas a la red eléctrica del país, satisfaciendo otras necesidades de la comunidad, como por ejemplo la posibilidad de conexión a internet, el uso de dispositivos electrónicos de entretenimiento y de telecomunicaciones.
- La concepción de un sistema que cumple la norma vigente de RETILAP.
- Poseer un sistema modular, que permite instalarse en diferentes configuraciones, que puedan adaptarse a las condiciones de infraestructura y de locación del sitio a intervenir, para que este pueda ser instalado de diferentes formas, según las necesidades de la comunidad y de demanda energética.
- Poseer un diseño estéticamente agradable a la percepción del usuario final, donde este se apropie e identifique con el sistema, no sólo por el servicio que este prestaran, sino también por como este modificará positivamente su entorno.
- Ofrecer un producto con la posibilidad de enseñar mensajes publicitarios de las empresas involucradas que invirtieron en la ejecución del Proyecto.

Como debilidad se encuentra:

- El costo final del sistema No se espera que sea el más bajo con respecto a proyectos similares, ya que el proyecto apunta más hacia el desempeño, el cumplimiento de la normativa, la satisfacción de las diferentes necesidades, la estética y la vida útil, por lo que se espera que este valor agregado sea perceptible, tanto por el cliente como por el usuario final.
- Debido a que actualmente, Colombia no es fabricante de sistemas de recolección de energía solar y eólica, estos tienen que ser importados, por lo cual, es de suma importancia, establecer contactos con proveedores nacionales que importen este tipo de tecnología al país. Para así tener insumos de calidad y a buen costo, para la fabricación del sistema.

## 4 MERCADO OBJETIVO

Hay dos clientes objetivos potenciales.

El primero es el cliente inversionista; la empresa privada y empresas públicas o entes gubernamentales que tienen la necesidad de ejecutar dineros destinados a cumplir sus estrategias de Inclusión y responsabilidad social empresarial y/o Branding.

El segundo, es el usuario final, conformado por comunidades de poblaciones rurales de nuestro país que no tienen la posibilidad de interconexión eléctrica, suministro energético ni iluminación pública, lo que las impacta negativamente en su desarrollo psicosocial.

Los beneficios que tendrán, tanto los inversionistas como el usuario final son:

Para la empresa privada:

- Alta exposición por el patrocinio del sistema de iluminación, a través de la utilización de la imagen de sus marcas.
- Mejoramiento de su reputación por ayudar a comunidades vulneradas y ser vistas como empresas sociales conscientes por el bienestar y desarrollo de las mismas.
- Free Press y difusión a nivel nacional.
- Indicadores sociales reales que pueden integrar a su gestión social.
- Acercamiento y creación de vínculos emocionales con comunidades, proyectadas al resto del país.

Para la empresa pública y entes gubernamentales:

- La posibilidad de invertir recursos en proyectos de rápida ejecución, a diferencia de proyectos de mayor complejidad, que requieren de mayor inversión en infraestructura.
- Hacer presencia como estado en un periodo de tiempo más corto, donde se mitiguen estas necesidades y realmente si se incluya a toda la población en el desarrollo territorial, con proyectos de carácter de innovación tecnológica y social.
- Mejoramiento de la imagen frente a la comunidad.
- Indicadores reales de buena gestión.

Para las comunidades:

- Satisfacer las necesidades y carencias de servicio eléctrico e iluminación pública.
- Mejoramiento de las zonas públicas de los municipios.
- Mejoramiento en los índices de seguridad.

- Mejoramiento del desarrollo psicosocial de las comunidades.
- Refuerzo en los lazos de confianza entre las comunidades y los entes municipales.
- Utilización de los excedentes de energía generados por el sistema en tecnologías de la información y la comunicación (TIC) o Tele medicina.

## **5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Como problemática, se plantea la siguiente pregunta a resolver: ¿Se puede satisfacer las necesidades de servicios de iluminación pública y aprovechar la energía eléctrica excedente captada en zonas rurales no interconectadas a la red eléctrica, por medio de la integración de sistemas de energías alternativas (solar y eólica)?

## 6 OBJETIVOS

### 6.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema autosostenible de generación de energía eléctrica, a partir de energías alternativas, orientado al suministro de iluminación pública y de servicios alternos de bajo consumo energético, para poblaciones no interconectadas a la red eléctrica.

### 6.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estudiar las diferentes tecnologías de captación de energías renovables en la literatura, proyectos relacionados y ofertas comerciales, para seleccionar e implementar las de mayor potencial de explotación, por su disponibilidad y aplicabilidad en el país.
- Definir los requerimientos técnicos en sistemas de iluminación pública y suministro energético de bajo consumo, a partir de la normativa vigente descrita en RETILAP y RETIE, requerimientos comerciales y aspectos identificados del estado del arte y vigilancia tecnológica.
- Definir un concepto de producto, por medio de un análisis funcional y formal, que oriente al desarrollo de un sistema estético, de buen desempeño y con una alta relación costo/beneficio, que sea apreciable por el usuario final y cliente inversionista.
- Configurar un sistema, a través de la generación de diferentes alternativas de solución, que integre tecnologías existentes de captación, control, iluminación y almacenaje de energía, para el funcionamiento del sistema y refleje los conceptos formales y estéticos identificados.
- Realizar el diseño de detalle, que permita en futuras etapas de desarrollo del proyecto, la posterior fabricación de un modelo funcional, de forma precisa y confiable.
- Presupuestar la fabricación de un modelo funcional a escala real, para su evaluación, con posibles pruebas de monitoreo y desempeño.

## 7 METODOLOGIA

Para lograr los objetivos propuestos, se desarrolló el proyecto en 4 fases. La primera comprendida por la fase de investigación y contextualización, la segunda de diseño conceptual, la tercera para el desarrollo de alternativas y por último el diseño del detalle.

La metodología desarrollada, fue abstraída de los autores George E .Dieter y Linda C. Schmidt en su libro ENGINEERING DESIGN, donde se plantea las secuencias o fases que se requieren en el desarrollo de cualquier producto, desde la idea y la investigación, hasta el desarrollo técnico del mismo (George E Dieter, 2007).

Las herramientas o técnicas que se aplicaron específicamente en cada una de estas fases, reúne los diferentes conocimientos y habilidades adquiridos durante las asignaturas estudiadas en el pregrado en Ingeniería mecánica y la especialización en diseño mecánico, tales como diseño conceptual, diseño metódico, diseño para el ensamble y diseño para la manufactura.

Cada una de estas herramientas, no siguen una sola metodología de diseño en específico, si no que toma técnicas particulares de diferentes metodologías según el grado de utilidad y pertinencia identificado y los resultados que estas aportan al desarrollo del proyecto.

Específicamente, las herramientas utilizadas en cada una de estas fases se explican a continuación.

### 7.1 FASE 1. INVESTIGACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN.

En esta fase se recolecto toda la información referente al tema de estudio, desde un punto de vista conceptual, tecnológico, técnico, comercial, del contexto y el usuario, por medio del desarrollo del marco teórico, estado del arte, vigilancia tecnológica y estudio de la normativa relacionada.

Para la adquisición de información, se buscó en fuentes primarias y secundarias. Fuentes primarias a través de entrevistas y constante retroalimentación con la empresa interesada en el proyecto y el contacto con personas que trabajan en proyectos de razón social.

Como fuente secundaria, se buscó en páginas web y base de datos académicas, siguiendo los parámetros establecidos de vigilancia tecnológica que se emplea en el SENA- Red Tecnoparque, cuya metodología INNOVITECH, permitió la identificación de las tendencias en I+D+i y de mercado relacionados a los sistemas de iluminación pública autosostenible.

Como resultado de esta fase, se levantó las especificaciones de diseño del producto o PDS, las necesidades y deseos del producto y el proyecto y el despliegue de la función de la calidad o QFD, las cuales dieron las bases de los requerimientos técnicos, de mercado y competitivos que debían cumplirse y estar reflejados en el producto final.

### 7.2 FASE 2. DISEÑO CONCEPTUAL

Una vez se recolectó, analizó y filtró la información pertinente obtenida en la fase de investigación y contextualización, se comenzó con el diseño conceptual del sistema,

donde se realizó un análisis funcional y formal de los requerimientos planteados y un análisis de tendencias y referentes conceptuales, para así entender mejor el producto y comenzar con el desarrollo de alternativas de solución en una posterior fase.

Para el desarrollo técnico conceptual referente al análisis funcional, se tomó principalmente herramientas establecidas por las metodologías de Pahl y Beitz, Hubka y Eder y la norma VDI 2221, con el uso de técnicas como; Caja Negra, caja transparente y Árbol de funciones (GUTIÉRREZ, 2009).

Por otro lado para entender el comportamiento del mercado y el entorno competitivo relacionado al producto, se realizaron diferentes planchas de tendencias y mapas perceptuales, que dictaron el camino a tomar, estética y formalmente.

### **7.3 FASE 3. DESARROLLO DE ALTERNATIVAS**

A partir de los referentes identificados en las planchas de tendencias, mapas perceptuales, PDS, QFD y el análisis funcional de la fase de diseño conceptual, se comenzó con la generación de alternativas.

Inicialmente se realizó la matriz morfológica y diferentes propuestas de configuraciones funcionales para tener diferentes puntos de vista de posibles alternativas de solución del sistema que enriquecieran el trabajo de diseño.

Luego, se utilizó diferentes técnicas para la generación de ideas de diseño, obtenidas del libro ENGINEERING DESIGN, trabajo que compila diferentes herramientas a lo largo del proceso de diseño, especialmente en el capítulo 6, Concept Generation. Aquí se exploró herramientas para la generación de alternativas como; analogías, lluvia de ideas, SCAMPER, 5W's entre otras.

Finalmente, una vez obtenida una buena cantidad de propuestas de diseño, se comenzó con el proceso de selección y filtro para obtener una alternativa final y ser desarrollada posteriormente en la fase de diseño de detalle. El primer paso que se realizó para filtrar las propuestas más pertinentes, se hizo a través de sesiones de trabajo con las personas involucradas en el proyecto, tanto del Grupo de Investigación en Ingeniería de Diseño (GRID), como de la empresa interesada en implementar el proyecto, Prójimo. De este paso se redujo el número de propuestas que funcionaban según los parámetros identificados en el PDS, QFD, Planchas de tendencias y Mapas perceptuales, las cuales fueron evaluadas y confrontadas con los requerimientos técnicos y estéticos levantados en el PDS y QFD por medio de la tabla de selección de alternativas, de la cual se eligió una alternativa final para ser desarrollada técnicamente.

### **7.4 FASE 4. DISEÑO DE DETALLE**

La alternativa final seleccionada en la fase de desarrollo de alternativas, aun no estaba detallada en aspectos estéticos y técnicos, no daba información sobre las proporciones del producto, tamaños, ensambles, materiales, componentes, resistencias mecánicas, cargas, procesos de manufactura y todos aquellos elementos que involucran el diseño de un producto. Por ello el primer paso en esta fase fue comenzar a detallar esta propuesta en los aspectos anteriormente dichos con dibujos a mano alzada y modelaciones virtuales.

A partir de varias retroalimentaciones de diseño en diferentes sesiones de trabajo, se estableció una alternativa más depurada, la cual sirvió de base para comenzar a detallar técnicamente el producto. Por un lado la aplicación de herramientas de diseño asistido por computador (CAD) y de análisis de elementos finitos (FEA), ayudó a obtener las diferentes partes, ensambles y planos de construcción del sistema y ser validados según las cargas, esfuerzos mecánicos y condiciones de viento a las que estaría sometido el sistema, confrontando y validando los materiales seleccionados, procesos de manufactura identificados y secuencias de ensamble especificadas.

Paralelamente, los cálculos de ingeniería, permitieron elegir los diferentes componentes a integrar en el sistema, tales como paneles solares, baterías, turbinas eólicas, fuentes lumínicas, controladores y demás elementos a ser empleados según los requerimientos de desempeño establecidos.

Finalmente, buscando la implementación del proyecto, se hizo un costeo de este, teniendo en cuanto, materiales, procesos de manufactura, procesos de ensamble, componentes eléctricos, instalación y demás que comprenden el sistema, para que este estudio sirviera de base para una inversión a futuro por parte de la empresa interesada o para obtener recursos de las diferentes convocatorias en las que este proyecto tenga potencial para participar. Igualmente, se realizó un análisis de amortización para las diferentes configuraciones posibles del producto teniendo el costo del prototipo y luego se definió un costo aproximado de los componentes diferenciadores que permitiría una amortización relacionada a este tipo de tecnologías.

## 8 FASE 1: INVESTIGACION Y CONTEXTUALIZACION

### 8.1 ESTADO DEL ARTE

#### 8.1.1 Análisis Estado Del Arte y Vigilancia Tecnológica

Luego de analizar los diferentes artículos, citas, conferencias y patentes relacionadas con el tema (Anexo 1 y Anexo 2), se identifica las siguientes pautas en el desarrollo de alumbrado público autosostenible:

- Existen dos tipos de proyectos, los primeros, orientados a la prestación del servicio, con un carácter más funcional y económico, los segundos, orientados más al ejercicio de diseño, la mejora del hábitat humano, la calidad de vida, y la creación de conciencia ecológica, por ello, al inicio de un proyecto de este tipo, se debe identificar cual es la verdadera razón del proyecto, para así obtener resultados, que si satisfagan las verdaderas necesidades que se tienen como objetivo.
- En el país, ya se instalan proyectos de este tipo, por ello, los proyectos que se desarrollen como solución a este tipo de alternativa, deben tener un alto componente de valor agregado, para poder entrar a competir con empresas ya establecidas de este tipo, así, se debe determinar, si se competirá en precio, calidad, instalación o algún otro componente o modelo de negocio.
- En el país, somos integradores de este tipo de tecnología, ya que todos los subsistemas son fabricados en el exterior, por ello, aunque estos componentes no se fabriquen en el país, se debe buscar un alto grado de innovación en las configuraciones y/o elementos que se utilicen, para tener más impacto en el mercado.
- A nivel de investigación y desarrollo, se debe explorar y generar más conocimiento referente al tema, ya que se identifica poca generación de información en este tema en específico.
- Una buena oportunidad de desarrollo, pensando en que somos integradores de esta tecnología, es explorar nuevas alternativas de materiales para la configuración e instalación de estos sistemas, como por ejemplo, materiales más amigables con el ambiente, de fácil transporte, de larga vida útil y bajo costo.
- Aunque las energías alternativas más utilizadas para este tipo de sistemas, son la energía solar y Eólica (o la combinación de estas dos), se debe tener en cuenta las verdaderas condiciones del sitio a instalar este tipo de solución, ya que no siempre pueden llegar a ser las más adecuadas, así se sugiere no descartar otros tipos de energía alternativa en proyectos futuros.
- Otra oportunidad de desarrollo, está en explorar otras alternativas de uso de este tipo de tecnología, como por ejemplo en señalización, alimentación de suministro eléctrico, publicidad, etc.

### 8.1.2 Tendencias En I+D

Las tendencias I+D, son el resultado de la identificación y análisis de la información recolectada en el sector de interés, que orientan hacia dónde va o apunta el desarrollo de este tipo de sistemas a futuro, no sólo en aspectos técnicos y de manufactura, sino también conceptuales y de negocio.

Entre las tendencias identificadas luego del análisis del sector productivo y académico, se rescata:

- Las energías renovables más utilizadas para este tipo de proyectos son la energía solar, eólica y la combinación de estas dos (“Híbridas”).
- La fuente de iluminación más utilizada es la LED, debido a su alta eficiencia lumínica y su bajo consumo energético. Aunque esta tecnología en la actualidad está en divulgación en este tipo de sistemas, con una buena aceptación, aún hay mucho trabajo de desarrollo en hacerlas más eficientes, no sólo en su consumo, intensidad lumínica y costo, sino también en los dispositivos complementarios, como es el caso del cerramiento que las contiene, haciéndolas más eficiente en la luz que refleja y en su grado de protección.
- Aunque se identifica que uno de los grandes valores agregados de este tipo de tecnología es la no dependencia de una red eléctrica instalada y que cada lámpara es autónoma en su propio desempeño, no se debe descartar que estas pueden funcionar desde una pequeña central eléctrica que se alimente de energías alternativas, para posteriormente alimentar el conjunto de postes. Esto con el fin, de hacer sistemas más eficientes en la distribución de la energía, y controles automáticos que monitoreen la red de iluminación y esta se pueda controlar de mejor manera.
- Se identifican varios casos de éxito y de estudio, donde este tipo de iluminación se ha instalado en zonas rurales, no sólo en países desarrollados, sino también en países en vía de desarrollo o zonas de pobreza. El éxito radica en la no dependencia de una red eléctrica instalada con anterioridad, el bajo mantenimiento de estos y el ahorro económico en su funcionamiento, al emplear energías alternativas.
- Es claro que en las grandes ciudades, uno de los mayores consumos energéticos y por consiguiente de mayor costo, es la iluminación pública, por eso, este tipo de sistema a futuro tendrá grandes beneficios en la disminución de estos, teniendo en cuenta que estos deben trabajar en paralelo con la red eléctrica, para garantizar la continuidad del servicio.
- Otro foco de desarrollo importante, son los controles automáticos de estos sistemas, no sólo los que están relacionados con el funcionamiento del sistema, (encendido, apagado, recarga de baterías) sino también los que hacen que el sistema trabaje más eficientemente, extendiendo la continuidad del servicio, con el menor recurso energético.

- El control automático más utilizado para el encendido y apagado de este tipo de iluminación durante las horas de la noche, son las fotoceldas, pero se ha comenzado a introducir otro tipo de controles y sensores que optimizan aún más el consumo energético, como es el caso de la utilización de sensores de presencia, que garantizan su encendido Sólo cuando es necesario.
- Referente a la utilización de nuevos materiales, no se identifica una tendencia en el desarrollo y aplicación de estos, tradicionalmente se utilizan los mismos que con la iluminación pública tradicional (acero galvanizado, acero inoxidable).
- El concepto de iluminación pública autosostenible, se extiende más allá de Sólo iluminar vías y aceras, hay una tendencia de explotar esta tecnología en otras locaciones públicas, como por ejemplo en la iluminación de señalización, paraderos de buses, publicidad y parques.
- Una oportunidad de desarrollo, es explorar más allá de la función de iluminar y encontrar otras funciones secundarias, como es el caso del aprovechamiento de la energía extra que se alcance a obtener a partir de estas energías limpias, por eso, es importante conceptualizar sistemas que puedan suministrar la demanda energética de hogares u otras locaciones, o explorar otros usos como la asistencia vehicular en caso de emergencia por avería o accidente.
- Para obtener la energía eléctrica a partir de la energía eólica, hay un alto desarrollo en el diseño de las turbinas que transforman la presión del viento en movimiento de rotación, la turbina que se identifica que más se explora en su forma, son las turbinas verticales o de columna, ya que estas pueden funcionar, independientemente de la dirección del viento.
- A nivel nacional, ya se han instalado diferentes tipos de soluciones a partir de esta tecnología y aunque no somos desarrolladores, ya que todos los subsistemas son importados de fabricantes extranjeros, la ejecución, transformación final e instalación, se hace con gran facilidad con los recursos y tecnología nacional.
- A nivel regional, no se identifica documentación de patentes u artículos relacionados con el tema, lo que sugiere, que hay poca investigación y desarrollo en este tema.

## **8.2 DESARROLLO DE SOLUCION AL PROBLEMA**

La problemática planteada busca satisfacer las necesidades de regiones no interconectadas a la red eléctrica del país, Integrando tecnologías de captación de energías alternativas como la solar y eólica, para prestar un servicio de iluminación pública y que además permita el uso de la energía excedente captada, para su aprovechamiento en equipos, aparatos u otros de bajo consumo energético, para ser implementado en estas regiones a través de recursos de responsabilidad social de entidades gubernamentales y empresas privadas.

Así identificando este servicio público entre todos los existentes (Anexo 5), este proyecto busca dar solución a la prestación de un servicio público no esencial, que será prestado al público general de forma permanente, ya sea por parte del estado o por entidades privadas para la satisfacción de requerimientos de alumbrado público y de bajas demandas de energía eléctrica en el mejoramiento de comunidades rurales no interconectadas a la red eléctrica del país.

Desde el aspecto técnico, esto se logrará con el diseño de un sistema Autosostenible o autosustentable (conceptos que suelen usarse como sinónimos), que desde un contexto ecológico, se entiende como un proceso capaz de mantenerse por sí mismo, sin ayuda exterior y sin que se produzca escases de los recursos existentes, este por tanto, satisface las necesidades, sin comprometer a las generaciones futuras. (Robles, 2013). Para lograr este concepto, se propone utilizar energías alternativas para la captación y aprovechamiento de energía del sistema.

Entre todas las energías alternativas que actualmente se explotan (Anexo 6), la energía solar y eólica son las de más fácil aprovechamiento en el país ya que el costo- Beneficio hace más rentable el uso de estas en este tipo de proyectos, por su disponibilidad y abundancia en el país.

En específico, se propone el uso de paneles solares policristalinos para la captación de energía solar, Ya que a diferencia de las demás tecnologías disponibles de celdas fotovoltaicas (Anexo 7), estas son las de menor costo, mayor disponibilidad en el mercado y con una eficiencia aceptable para los requerimientos establecidos.

La instalación de estas celdas fotovoltaicas, se hace según el esquema general presentado en la Figura 1, en la que sus componentes principales están compuestos por el arreglo de paneles solares, el controlador del sistema (MPPT o PWM), el sistema de almacenamiento de energía conformado por las baterías y cuando se requiere el consumo de elementos que funcionen con corriente alterna, se debe sumar un inversor.

El inversor es el encargado de transformar la corriente directa de salida del controlador a corriente alterna y esta puede ser también utilizada para integrarse a los sistemas de la red eléctrica tradicional y trabajar en conjunto con esta. Aunque hoy en día los controladores y los inversores se pueden conseguir en un componente, la tendencia actual es hacer funcionar algunos electrodomésticos básicos como televisores, neveras y lavadoras con corriente directa, esto con el fin de hacer sistemas más eficientes, debido a la disminución de pérdidas y el uso innecesario de transformar el tipo de corriente (AC/DC) varias veces, como se da en el caso en la alimentación de equipos como portátiles, tabletas y teléfonos.



**Figura 1. Diagrama de Instalación Sistema Fotovoltaico.**

Otro aspecto importante en la instalación de los paneles solares es la posición de orientación en la que deben ir, estas consideraciones (Anexo 8), indican que la posición ideal para Colombia es orientar estos según la posición geográfica. Colombia específicamente se encuentra entre las latitudes de  $-4^{\circ}\text{S}$  (Amazonas) a  $12^{\circ}\text{N}$  (Guajira), el centro del país, se localiza en una latitud de  $5^{\circ}\text{N}$  aproximadamente, por lo que todos los proyectos de instalaciones fotovoltaicas en esta zona del país, se instalan con  $5^{\circ}$  de inclinación orientados hacia el sur. Este ángulo puede cambiar en zonas más al sur o al norte, como por ejemplo en la guajira, donde este ángulo puede variar hasta los  $12^{\circ}$  de inclinación orientados hacia el sur. (Energías Renovables y eficiencia energética, 2008)

Para el aprovechamiento de energía eólica, entre los sistemas existentes (Anexo 9). Se hace uso de turbinas de eje horizontales, ya que estas son más eficientes en comparación con las turbinas de eje vertical, además las turbinas de eje horizontal tienen mayor oferta y disponibilidad comercial en el país. (Barrazueta, 2015)

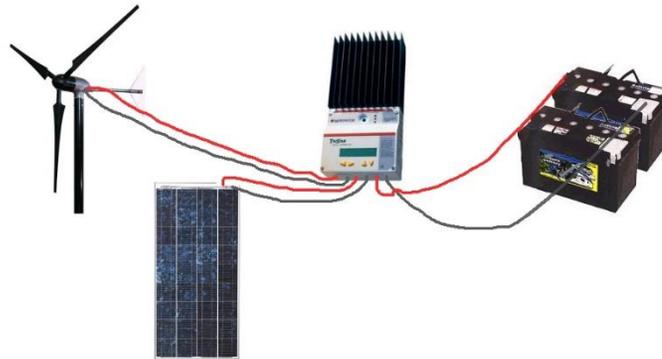
La instalación de una turbina eólica es la misma que la de un sistema fotovoltaico, con la diferencia en que en lugar del panel solar, va la turbina eólica y el controlador debe ser diseñado para este fin (controlador híbrido), ya que las variables a manejar no son las mismas que las de un sistema fotovoltaico.

El controlador de un sistema eólico, no sólo tiene la función de proteger las baterías de sobrecargas y descargas excesivas, sino además se encarga de aislar el sistema eléctricamente en condiciones de viento altas o en ocasiones para enviar la señal de activación a los frenos del eje del rotor.

La selección de este sistema de control, depende de la potencia máxima de la turbina, el voltaje de trabajo y la corriente máxima permitida. (The Renewable Energy Website, 2015)

En cuanto a la configuración o instalación de un sistema híbrido (Sistema fotovoltaico y sistema eólico trabajando en paralelo) (Figura 2), la diferencia radica en el controlador seleccionado.

El controlador para este tipo de sistemas híbridos debe ser diseñado para tal fin y recibir tanto la energía generada por el panel solar como por la turbina eólica y cumplir con los parámetros y especificaciones requeridas por los dos, en cuanto a voltaje de trabajo, potencias de entrada, corrientes máximas y cargas y sobrecargas permitidas de las baterías.



**Figura 2. Instalación Sistema Híbrido.**

Tomada de: <http://midsummerenergy.co.uk/solar-panel-information/SolarPanelWiringDiagrams/WiringSolarPanelsAndWindTurbinesSingleRegulator>

Independiente del sistema de captación de energía con el que se esté trabajando, ya sea solar, eólico o híbrido, estos sistemas siempre requieren de componentes eléctricos y de control para su operación. Estos principalmente son (Anexo 11); un controlador de carga, baterías para el almacenamiento de energía y un inversor si se requiere alimentar un suministro eléctrico a 120V/220V-AC.

Para el control de carga o regulación del sistema, se utiliza un regulador MPPT (maximum power point tracker). Estos reguladores están encargados de controlar la máxima potencia instalada, además de transforman la corriente continua de alta tensión a una corriente continua de baja tensión para cargar las baterías.

A diferencia de los reguladores PWM, que trabajan a la tensión de las baterías, los MPPT lo hacen a la tensión más adecuada, así la tensión en algunos momentos trabajará a la máxima potencia, para aprovechar la mayor cantidad de energía, o limitará la potencia durante la carga de las baterías evitando sobrecargas. Al instalar este tipo de regulador, se obtiene mejor eficiencia en los sistemas y permite el uso de paneles y turbinas que no se pueden emplear con reguladores tipo PWM por problemas de compatibilidad de tensiones de los colectores de energía con las baterías. (Mustieles, 2013).

Para el almacenaje y posterior suministro de energía eléctrica del sistema, entre los tipos de baterías disponibles en el mercado (Anexo 11), se integra al sistema baterías Plomo-Acido libres de mantenimiento o sellada. Este tipo de batería son las más utilizadas en sistemas de energías alternativas porque su diseño permite que estas no requieran de

ventilación, además de poder instalarse en cualquier posición y con poco mantenimiento para su operación.

Otras ventajas de las baterías de Plomo-Ácido son; su bajo costo en comparación a otras baterías, su vida útil, el no uso de agua para su operación y su buen comportamiento a descargas de ciclo profundo. Este tipo de batería pueden tener alrededor de 2500 ciclos de vida, cuando la profundidad de descarga es de un 20% (80% de la carga) y unos 1200 ciclos cuando la profundidad de descarga es de 50% (50% de la carga), por lo que en condiciones ideales de carga y descarga, una batería puede tener una vida útil de 5 a 10 años. (Energía Solar Fotovoltaica, 2006)

Otro sistema necesario para el aprovechamiento de la energía eléctrica, es el inversor, este sistema es fundamental cuando se requiere convertir la corriente directa (DC) generada y almacenada, a corriente alterna (AC), a una frecuencia y voltaje adecuado, que pueda alimentar equipos eléctricos que funcionen a AC, o para trabajar en conjunto con sistemas conectados a la red. Este dispositivo electrónico, toma la corriente directa enviada desde el controlador (MPPT o PWM) y la convierte en corriente alterna según las características de la red de la zona, en el caso de Colombia esta trabaja a 120V con una frecuencia de 60Hz. (Navas, 2015).

La normatividad relacionada a los criterios de diseño, seguridad, desempeño, instalación entre otras, está regida principalmente para este tipo de sistemas por el RETILAP (Reglamento Técnico De Iluminación y Alumbrado Público) y otras normas relacionadas a esta tales como el RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) y IEC 60529 (Grados de protección proporcionados por las envolventes (Código IP)).

En el Anexo 12, Se hace una abstracción de los principales criterios a cumplir de las normas antes dichas, las cuales sirven como criterios o especificaciones de diseño para el PDS.

### 8.3 SELECCIÓN TECNOLOGIA DE GENERACIÓN HIBRIDA (FOTOVOLTAICA-EOLICA)

A continuación se hace diferentes tipos de selección de componentes para la generación de energía eléctrica, comprendiendo las tecnologías fotovoltaicas y eólicas identificadas, con la intención de encontrar diferentes tipos de configuraciones, bajo los criterios de costos y eficiencia.

Es importante aclarar que Sólo se seleccionó las tecnologías más implementadas y disponibles en el mercado.

Alternativa	Costo	Disponibilidad en el mercado	Eficiencia	Tipo Celda Fotovoltaica	Tipo turbina Eólica
A1	Medio/Bajo	Alta	Media	Celdas de silicio (policristalinas)	Turbina de eje horizontal

Alternativa	Costo	Disponibilidad en el mercado	Eficiencia	Tipo Celda Fotovoltaica	Tipo turbina Eólica
A2	Bajo	Bajo	Bajo	Placas solares de capa fina (amorfas)	Savonius
A3	Alto	Bajo	alta	Celdas de concentración	Turbina de eje horizontal
A4	Bajo	Medio/Bajo	Medio/Bajo	Celdas de silicio (policristalinas)	Savonius helicoidal
A5	Alto	Medio/Bajo	Medio	Celdas de silicio (monocristalinas)	Gorlov
A6	Bajo	Medio/Bajo	Media/Bajo	Celdas de silicio (policristalinas)	Híbridas (Savonius-Darrieus)

**Tabla 1. Selección de Tecnologías de Generación Híbrida (Fotovoltaica-eólica)**

Para las características de este tipo de proyecto, se busca desarrollar un sistema económico y con aceptables prestaciones de eficiencia.

Como alternativa a desarrollar, se elige la alternativa A1, ya que es la más fácil de adquirir comercialmente y con costo aceptable y aunque la eficiencia no se la mayor, el sistema se dimensionará de forma que se cumplan con las especificaciones de suministro energético requerido.

Las alternativas más eficientes, como lo son la alternativa A2 y A4, no se seleccionan, ya que representan mayor costo de implementación, sistemas más complejos para su funcionamiento y aún la disponibilidad en el mercado es baja.

Para la integración de tecnologías y de captación de energía para el sistema propuesto, se propone aprovechar la energía solar y eólica para la generación del suministro eléctrico, a través de un sistema híbrido en que las dos funcionen en paralelo y dimensionadas según las necesidades y demandas identificadas en los requerimientos técnicos (PDS).

Estos requerimientos, están basados en restricciones funcionales, como es el caso de las especificaciones del sistema de iluminación y de suministro eléctrico alterno, como en especificaciones del contexto y del usuario, como por ejemplo; el peso del conjunto, el sitio a instalar y las condiciones climáticas.

Para cumplir con los requerimientos técnicos especificados, la selección de las tecnologías de captación solar y eólica se basó en seleccionar el tipo de panel fotovoltaico y de turbina que mejor se adaptara a las especificaciones, seleccionadas bajo criterios de costos, disponibilidad comercial, eficiencia, mantenimiento e instalación, y

dimensionadas según las posibilidades climáticas del país, que están definidas por la radiación solar y velocidades del viento específicas de cada región del territorio nacional.

Para la captación de energía solar, se propone trabajar con paneles de celdas de silicio policristalinas, que aunque no son los más eficientes, si son los de menor costo en el mercado nacional. Esta ineficiencia de este tipo de tecnología será suplida con la disponibilidad de mayor área de captación, ya que este no es una restricción del sistema, en comparación del costo que si lo es.

El uso de energía solar en el país, es factible, ya que estamos próximos a la línea ecuatorial y al ser este un país tropical, el índice de radiación solar anual es bueno, por lo que el uso de este tipo de tecnología presenta buenas oportunidades y posibilidades de implementación.

Actualmente para el aprovechamiento de energía eólica a baja escala, existen dos tipos de tecnologías; turbinas horizontales y verticales. Internacionalmente, las turbinas horizontales son más eficientes en comparación a las turbinas verticales, pero con un costo mayor, nacionalmente, la importación de este tipo de sistemas hace costosa la implementación de estas últimas, ya que por impuestos y costos de transporte, hacen que estos sean más caros que la misma turbina, por ello las turbinas verticales, llegan a tener costos muy similares a turbinas horizontales que se venden en el país. Por ello es mejor utilizar turbinas horizontales que se vendan en el país y que tengan estos costos implícitos y que garantizan mejores eficiencias, por otro lado se ve la oportunidad de fabricar este tipo de tecnología nacionalmente o hacer relaciones comerciales donde los costos de importación no sean tan altos, para hacer más factible el uso de este tipo de tecnología a un costo beneficio aceptable y poder ver la posibilidad de su uso, tanto en sistemas verticales como horizontales.

Para la selección del sistema eólico, se propone la integración de aerogeneradores horizontales, pero se debe aclarar que se debe estudiar el costo beneficio de esta tecnología, en el caso en que se resuelva con proveedores costos competitivos que realmente si hagan factible el uso de este tipo de energía.

Además de los altos costos de los sistemas eólicos en el país, otro problema son las velocidades de viento, debido a que son muy bajas en gran parte del territorio, principalmente en las zonas de cordillera, a excepción de las zonas que están alejadas de estos sistemas montañosos, como el norte de la zona atlántica y algunas zonas de los llanos orientales.

Con los costos actuales de las turbinas en el país, este tipo de sistema comienza a ser factible cuando las velocidades promedio del viento sean mayores a 6mt/seg, donde la energía eléctrica generada a través del viento, comienza a competir en costos con los sistemas fotovoltaicos.

El diseño de un sistema modular configurable, que permita adaptarse a las condiciones específicas de radiación solar y de velocidad del viento en cada región donde se instale el producto, permitirá alcanzar mayores niveles de eficiencia y en consecuencia de costo beneficio, así en lugares donde la radiación solar sea alta y la velocidad del viento sea baja, se dará prioridad al uso de sistemas fotovoltaicos, en comparación de lugares donde

la velocidad del viento sea alta, donde el uso de turbinas eólicas serán más eficientes y a un menor costo en comparación con paneles solares.

## 8.4 CÁLCULO CONSUMO ENERGÉTICO DEL SISTEMA

### 8.4.1 Requerimientos Y Parámetros Energéticos Del Sistema

Para el funcionamiento completo del sistema, respecto a los requerimientos energéticos, están establecidas las siguientes especificaciones, tanto de consumo eléctrico, como en tiempo de autonomía del sistema:

#### Potencia Fuente Lumínica

Según los requerimientos lumínicos establecidos en el PDS, para las características de la normativa nacional y para una instalación del sistema en una vía clasificada como tipo P2 (Empresa de Energía de Boyaca, 2010). Se estableció, una potencia lumínica de 30W para el sistema de iluminación, según referencias comerciales disponibles en el mercado nacional.

#### Potencia Suministro Complementario

Como suministro eléctrico complementario del sistema, se requiere que este pueda alimentar equipos eléctricos que necesiten de unos 100W de potencia para su funcionamiento. Ya que esta potencia. Tiene la capacidad de mover equipos de bajo consumo como computadores, Televisores, equipos de sonido, Tablet, etc. (Tabla 2)

Aparato	Consumo [Wh]
Purificador de Aire	110
Lámpara Incandescente 100w	100
Reproductor de Video	100
Máquina de coser	100
Computador portátil	60-100
Ventilador	90
Televisor Color 20"	70
Minicomponente	60
Ventilador de Techo	60
Televisor Color 14"	50
Tubo Fluorescente	30
Extractor de Aire	25
Tablet	10-30
Teléfono Inteligente	10-15

**Tabla 2. Consumo Promedio Equipos Eléctricos**

(Secretaria de energia, 2015)

#### Autonomía Del Sistema De Iluminación

El sistema de iluminación, debe funcionar al menos 1 noche durante 12 horas

#### Horas De Funcionamiento Por Día

Además de la autonomía del sistema de iluminación antes establecido, también es necesario que pueda mantener en funcionamiento un equipo eléctrico de 100W durante 12 horas al día.

### **El Voltaje Del Sistema: 24v**

Comercialmente los voltajes de trabajo de este tipo de sistemas, suelen ser de 12V, 24V y 48V. En este caso se define trabajar a 24V, por facilidad de instalación y costos asociados, ya que los sistemas que trabajan a mayor voltaje, requieren de menor cantidad de corriente para su operación, lo que conlleva a utilizar calibres de cable menores y equipos eléctricos de menor costo. (TEKNOSOLAR, 2013)

### **Eficiencia Del Sistema Eólico**

Teóricamente, la ley de Betz, proporciona el límite superior de las posibilidades de generación de energía de un aerogenerador, la cual establece hasta un 59.3% del rendimiento de la potencia nominal.

En la realidad, esta eficiencia es mucho menor debido a factores tales como la resistencia aerodinámica de las palas, la pérdida de energía por la rotación, la compresibilidad del fluido y la interferencia de las palas.

Así, a este rendimiento teórico, se le debe descontar estas pérdidas, obteniéndose al final un rendimiento de instalación alrededor del 46%.

Si a lo anterior, además le sumamos las condiciones climáticas, comprendidas por la variabilidad de la velocidad del viento durante el transcurso del tiempo, Finalmente los aerogeneradores logran alcanzar desde un 10% hasta un 20% de la potencia teórica. (UCLM, 2012)

En este caso, se establecerá un valor optimista del 80% de la potencia especificada por el proveedor de la turbina, comprendiendo todos los factores antes dichos.

### **Eficiencia Del Sistema De Energía Solar**

Para el desempeño de los paneles fotovoltaicos, es importante hacer la diferencia entre las dos eficiencias que se deben considerar.

Por un lado, está la eficiencia del panel solar como tal, entendida como la capacidad de transformar la energía de la luz solar en energía eléctrica.

Para la eficiencia de los paneles solares, las eficiencias varían según el tipo de celda. Las celdas comunes más eficientes son las celdas monocristalinas que alcanzan entre un 14 y 16% de rendimiento (Esco-tel, 2011), en segundo lugar las policristalinas con un rendimiento alrededor del 12% (Dontigney, 2014), mientras que paneles más sofisticados y desarrollados en laboratorio han alcanzado hasta un 40% de eficiencia (Delta Volt, 2015).

Por otro lado está la eficiencia del sistema que se puede alcanzar por las pérdidas del mismo, debido a la calidad de los componentes, cableado eléctrico, tipo de conexiones, tipo de batería, las características de instalación, temperatura del ambiente, etc. Para este caso se tomara una eficiencia conservadora del 20% por pérdidas del sistema para los cálculos. (Delta Volt, 2015).

### **Carga Mínima De Baterías Permisible**

Para baterías de ciclo continuo de descarga, el concepto de carga mínima permisible o profundidad de descarga, es importante para alargar la vida útil de la batería y los ciclos de recarga que esta podrá efectuar.

Entre menor sea el porcentaje de descarga, mayor serán los ciclos de recarga que la batería podrá efectuar. Para baterías de plomo-acido, este porcentaje varía entre el 50 y el 80%, donde aproximadamente al 80% de la carga, la batería podrá efectuar aproximadamente 2500 ciclos, mientras que al 50% se podrán efectuar aproximadamente 1200 ciclos. Para alargar la vida útil de las baterías y garantizar la continuidad del flujo eléctrico, se utilizara un valor del 60% de profundidad de descarga para los cálculos del sistema. (Energía Solar Fotovoltaica, 2006).

#### **Eficiencia De Las Baterías: 80%**

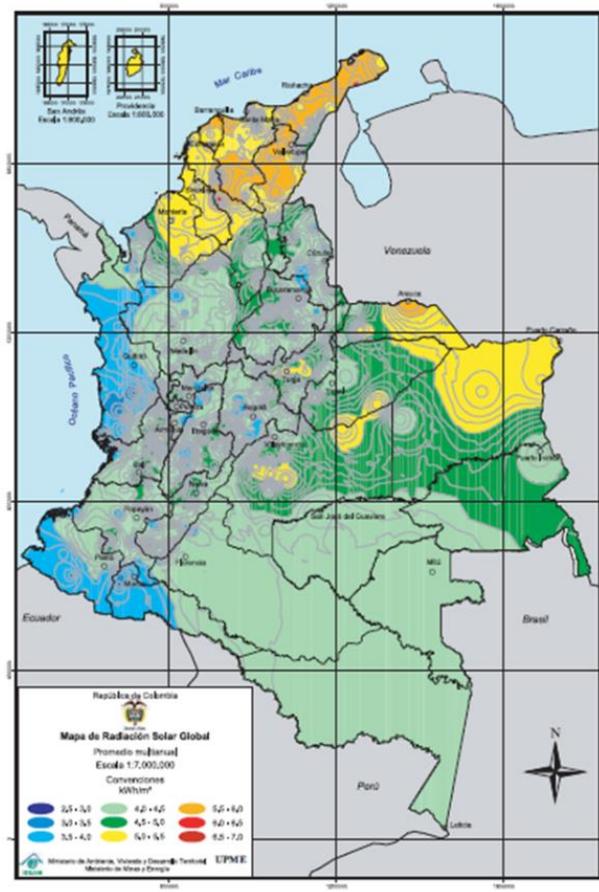
Una batería Plomo-acido no entrega el 100% de su carga, generalmente se asume una eficiencia del 80%, debido a factores como la carga y descarga, la temperatura, el tipo de instalación y otros que disminuyen la eficiencia final de las baterías. (Solar-Facts, 2015).

#### **Radiación Solar**

La radiación solar, es la energía proveniente del astro que viaja en forma de ondas electromagnéticas, que al llegar a la tierra, producen energía (1.367 W/mt<sup>2</sup>) y esta varía según los cambios en la distancia y posición del sol, altura sobre el nivel del mar, duración del día o por condiciones atmosféricas y climatológicas.

Los mapas de radiación solar, dan información sobre el promedio anual diario en kilovatios hora por metro cuadrado (kWh/mt<sup>2</sup>), que se registró en una región en particular. (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2009).

Revisando el mapa de radiación solar correspondiente a Colombia (Figura 3), se tomara un valor de 4kWh/m<sup>2</sup>, ya que este es un valor medio que se generó en toda la zona central del país. Siendo este un dato conservador para los cálculos del sistema, proyectando su aplicabilidad en la mayoría del territorio nacional.

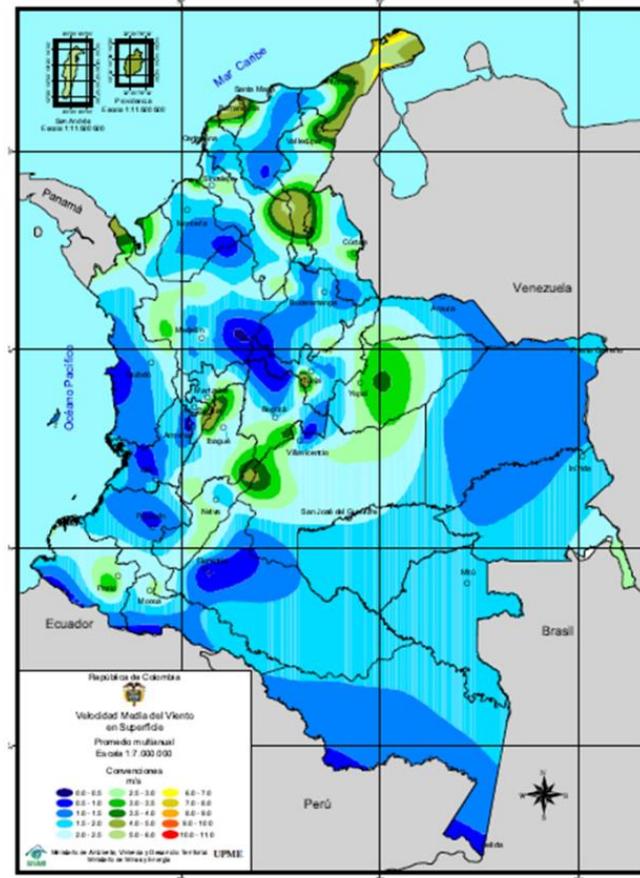


**Figura 3. Mapa de Radiación Solar Global (promedio mensual)**

**Tomada de:** (Ministerio de minas y energia de colombia, 2015)

### **Velocidad Del Viento**

Así como se observó en el mapa de radiación Solar (Figura 3), organismos gubernamentales también generan mapas de velocidad del viento en superficie (Figura 4).



**Figura 4. Mapa de Velocidad del Viento en Superficie (promedio mensual)**

**Tomada de:** (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2015)

Observando el mapa, se tomará un valor conservador de 6m/s. para las regiones de análisis.

#### 8.4.2 Cálculo De Equipos

Los cálculos de dimensionamiento del sistema tomarán los datos que se muestran en la Tabla 3 y que fueron determinados anteriormente.

Requerimiento o Especificación	Valor	Observación
Potencia fuente lumínica	30W	
Potencia suministro complementario	100W	
La autonomía del sistema	12 horas (1noches)	
Horas de funcionamiento por día	12h/día	
El voltaje del sistema	24V	
Eficiencia del sistema Eólico	80%	

Requerimiento o Especificación	Valor	Observación
Eficiencia del sistema de energía solar	80% (perdida del sistema 16%)	Este valor se debe compensar , dimensionando un 20% más la capacidad de generación de los paneles solares
Carga mínima de baterías permisible	60% (plomo-acido)	
Eficiencia de las baterías	80%	Determinada según especificaciones técnicas comerciales de equipos dimensionados para estos requerimientos
Radiación solar en Situ	4kWh/m2	
Velocidad del viento	6mt/s	

**Tabla 3, Requerimientos y Parámetros Energéticos del Sistema**

Estos datos, son necesarios para los cálculos de la potencia total del sistema, el consumo energético, la potencia de los paneles fotovoltaicos, la turbina eólica y la capacidad de las baterías, Inversor y MPPT.

#### Consumo Energético Y Potencia Total Del Sistema.

La Tabla 4, presenta la potencia y consumos totales de los equipos del sistema, este sirve de base para el dimensionamiento de las baterías, MPPT e inversor.

Equipo	Potencia [Watts]	Tiempo de funcionamiento [Horas/Día]	Consumo de energía [Watts-Hora]	Observación
Reflector 1	30	12	360	
Reflector 2	30	12	360	
Equipo Eléctrico	100	12	1200	
MPPT	1	24	24	Determinada según especificaciones técnicas comerciales de equipos dimensionados para estos requerimientos
Inversor	1	24	24	
<b>TOTALES</b>	<b>162</b>	<b>N/A</b>	<b>1968</b>	

**Tabla 4. Consumo Energético y Potencia Total del Sistema**

#### Cálculo Baterías.

Para el dimensionamiento de las baterías se utiliza la Ecuación 1 (Energicentro, 2010).

$$P_{bb} = \frac{A_u * C_{ed}}{R_b * D_{mb}}$$

**Ecuación 1. Cálculo Potencia Banco Baterías**

Donde:

$P_{bb}$  = potencia banco baterías (numero total de Watts – hora requeridos)

$A_u$  = Autonomia del sistema [Dia = d]

$C_{ed}$  = consumo energía por dia [Wh]

$R_b$  = Rendimiento Bateria [%/100]

$D_{mb}$  = descarga máxima de las baterías. [%/100]

Remplazando

$$P_{bb} = \frac{1d * 1968 Wh}{0.8 * 0.6}$$

$$\mathbf{P_{bb} = 4100 Wh}$$

Para la capacidad total del banco de baterías se utiliza la Ecuación 2

$$C_{bb} = \frac{P_{bb}}{V_b}$$

**Ecuación 2. Capacidad Banco Baterías.**

Donde

$C_{bb}$  = Capacidad Banco Baterías [Ah]

$V_b$  = Voltaje Bateria [V]

Así, Reemplazando

$$C_{bb} = \frac{4100Wh}{24V}$$

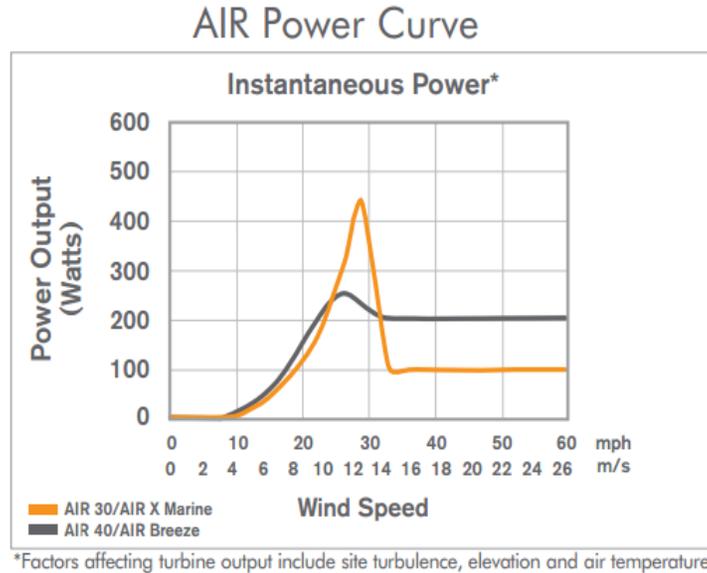
$$\mathbf{C_{bb} = 171 Ah}$$

Comercialmente en el mercado nacional, están disponibles baterías de 12V/205Ah, por lo que se trabajará 2 de estas baterías en serie para un el voltaje total de 24V.

### **Generación Eléctrica Turbina Eólica**

Para la capacidad de generación de energía eólica, se requiere por un lado las variables establecidas en la Tabla 3 y por otro lado las especificaciones de desempeño entregadas por el fabricante para la turbina seleccionada.

La turbina seleccionada, como se especifica en la Figura 5 y con especificaciones técnicas tomadas del anexo 10, es una turbina eólica de eje Horizontal de 200W de la cual Se obtiene la curva de Generación eléctrica Vs Velocidad del Viento (Figura 5).



**Figura 5. Generación Eléctrica Turbina Eólica seleccionada Vs Velocidad del Viento.**

Como se estableció una velocidad promedio de 6m/s, y tomando un valor aproximado en la Figura 5. Obtenemos un valor de 50Wh.

Si la velocidad se garantizara sin variaciones durante todo el día, obtendríamos una generación eléctrica de la turbina de:

$$Gte = 50W * 24h$$

$$Gte = 1200wh$$

Pero esto es un caso ideal e hipotético, por lo que a este valor se le debe calcular las pérdidas ocasionadas por la intermitencia del viento durante el día y la eficiencia del sistema eólico, la cual fue determinada con un valor de 80%. Así, realmente la turbina eólica estará entregando una generación de energía por día de:

$$Gtd = 1200Wh * 0.8$$

$$Gtd = 960Wh$$

### **Cálculo Sistema Fotovoltaico**

Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, se realizó dos cálculos, el primero comprendido por el sistema Híbrido (trabajando la turbina eólica en paralelo con el sistema fotovoltaico), el segundo cálculo se realizó teniendo en cuenta Sólo el sistema fotovoltaico, para el caso en que no se instale la turbina eólica debido a la poca intensidad de vientos donde se instale el sistema de iluminación.

El cálculo de la potencia total del arreglo de paneles, Se realiza a partir de la Ecuación 3.

$$Ptp = \frac{Fp * De}{Is}$$

**Ecuación 3. Potencia Total del Arreglo de Paneles**

Donde

$$P_{tp} = \text{Potencia total del arreglo de paneles [Wp]}$$

$$F_p = \text{Factor de compensacion de pérdida}$$

$$D_e = \text{Demanda Energética [Wh]}$$

$$I_s = \text{Irradiación Solar en la Zona [Kwh/ mt}^2\text{/ dia]}$$

Anteriormente se calculó la generación total que es capaz de suministrar la turbina eólica con vientos promedios de 6mt/seg, con un valor de 960Wh. Así para el caso en que los paneles solares trabajen en paralelo al sistema eólico, estos deben suministrar la energía restante según el consumo energético establecido. Así:

$$D_e = 1968Wh - 960wh$$

$$D_e = 1008wh$$

Entonces la potencia total del arreglo de paneles, reemplazando los valores de la Tabla 3. Se obtiene.

$$P_{tp} = \frac{1.2 * 1008Wh}{4Kwh/mt^2/dia}$$

$$P_{tp} = 302Wp$$

Este arreglo de paneles por diseño y disponibilidad comercial (Anexo 10), es repartido en 4 paneles solares policristalinos, de 100Wp/24V (Yingli YL0100P-17b) para un total de 400Wp.

Para el caso en el que el sistema de paneles debe suministrar toda la energía requerida al prescindir del sistema eólico, tenemos.

$$P_{tp} = \frac{1.2 * 1968Wh}{4Kwh/mt^2/dia}$$

$$P_{tp} = 590.4Wp$$

Este arreglo de paneles por diseño y disponibilidad comercial (Anexo 10), es repartido en 4 paneles solares policristalinos de 175Wp/24V (Yingli YL180P-23b), Para un total de 700Wp.

### **Cálculo Controlador Mppt**

Para el cálculo de la corriente a la que trabaja el controlador MPPT, se emplea la formula general de potencia (Ecuación 4)

$$W = Vt * A$$

#### **Ecuación 4. Potencia de Trabajo del Sistema.**

Donde

$$W = \text{Potencia de trabajo del sistema [W]}$$

$$Vt = \text{Voltaje de trabajo del sistema [V]}$$

$$A = \text{Amperaje de trabajo del sistema [A]}$$

Despejando el Amperaje de trabajo del sistema, Tenemos.

$$A = \frac{W}{Vt}$$

#### **Ecuación 5. Amperaje de trabajo Controlador MPPT**

Remplazando los valores correspondientes a la potencia total del arreglo de paneles solares y el voltaje de trabajo del sistema para el caso en que estos trabajen sin la turbina eólica, obtenemos.

$$A = \frac{700W}{24V}$$

$$A = 29Amp$$

En el mercado nacional, el Controlador MPPT más cercano a este valor es de 30Amp, seleccionando así un controlador Marca Victron Referencia MPPT 100/30 (Anexo 10).

Para el dimensionamiento del controlador MPPT Híbrido, se requiere la potencia Máxima entregada por la turbina eólica y la corriente máxima entregada a esta potencia. Para una turbina eólica de eje horizontal de 200W, Marca Air, referencia Air 40 (Anexo 10), Se entrega una corriente máxima de 10Amp a 24V.

Por otro lado, está la corriente máxima entregada por el arreglo de paneles de 400Wp que trabajan en paralelo con el sistema Eólico, el cual se calcula con la Ecuación 5, Resultando.

$$A = \frac{400Wp}{24V}$$

$$A = 16Amp$$

Sumando la totalidad de las corrientes (tanto para el sistema Eólico como para el sistema Fotovoltaico), obtenemos una corriente máxima de:

$$A_{max} = 10Amp + 16Amp$$

$$A_{max} = 26Amp$$

Se elige el controlador MPPT Híbrido de 40A marca BUTTERFLY referencia JW2460 (Anexo 10), el cual tiene la capacidad de trabajar con una turbina eólica de hasta 600W y un arreglo de paneles de 400W.

#### **Cálculo Inversor**

El inversor se dimensiona con la demanda de potencia máxima del conjunto de los consumidores de energía, como se presentó en la Tabla 4.

Esta potencia máxima tiene un valor de 162W. En el mercado nacional el inversor más cercano a este valor es un inversor de 350W, marca Victron, Referencia Phoenix 24V350W (Anexo10). Este permitirá tener un margen de seguridad en el caso en que conecten un equipo que sobrepase un poco la potencia de diseño especificada.

## 8.5 NECESIDADES Y DESEOS

Paralelamente al desarrollo del PDS y el QFD, se levantó las necesidades y deseos que se quieren reflejar y aplicar en la implementación de este proyecto. Aquí se tomaron aspectos como; la intención, los beneficios e impacto de este. De estas propuestas se rescata las siguientes:

- El carácter inicial de este proyecto, está enfocado en la innovación social, que busca proveer de iluminación pública a zonas rurales no interconectadas a la red eléctrica del país.
- Por medio de este proyecto, se busca mejorar la calidad de vida de los habitantes de zonas apartadas, no sólo con un sistema funcional, si no en búsqueda de la apropiación y aceptación de esta solución por parte de ellos, como un bien común, que debe ser cuidado y protegido, generando sentido de pertenencia por parte de ellos.
- La solución, debe tener un carácter innovador y de valor agregado, por ello, la exploración de nuevos usos, contextos y funciones, serán de vital importancia, como es el caso de integrar sistemas mobiliarios, publicitarios e indicativos (señalización).
- La opción de usos alternativos, como el proveer hogares y otras locaciones de energía eléctrica y la exploración de controles electrónicos más eficientes, orientados a la optimización del recurso energético (aplicación de sensores de presencia) y monitoreo remoto, deben ser tomados en cuenta.
- Aunque el proyecto sea de carácter social, implicando un impacto a la mayor cantidad de población posible, la solución final debe tener una alta relación costo-beneficio.
- Un carácter importante a tener en cuenta, es el cuidado del medio ambiente, donde la solución planteada no sea un problema para el mismo, por ello, el uso de energías alternativas, materia prima obtenida a partir de materiales reciclados y el retorno energético y material del proyecto, deben ser recuperables en el tiempo, a partir de la correcta finalización del ciclo de vida del producto.
- El producto final debe ser estéticamente agradable, las personas se deben sentir identificadas con el lenguaje del mismo. Para así crear una relación con la mayor parte de la población.
- El proyecto no sólo deberá tener un impacto social, si no también académico y empresarial.

## 8.6 CONCLUSIONES PDS Y QFD

Luego de la construcción y análisis de la información técnica, teórica y conceptual del proyecto, se construyó el PDS (Anexo 3) y el QFD (Anexo 4). Estas especificaciones son

los parámetros de diseño, que se deben cumplir y estar reflejados en el producto, para dar cumplimiento no sólo a los aspectos normativos o comerciales, sino también a otros parámetros como la manufactura, materiales, estética y desempeño.

A continuación se lista en forma escrita, los resultados obtenidos en la construcción de estas herramientas de diseño.

- La solución planteada, tendrá una altura en su fuente lumínica de 5 mt (+/-1mt), pero el conjunto como tal, podrá medir hasta 7.5mt de alto y 1mt (-0.5+1mt) de ancho en su base.
- Se tendrá en cuenta en el diseño un estudio ergonómico, teniendo en cuenta medidas antropométricas (percentil 90), así como también, la relación hombre objeto, accesos para el mantenimiento de equipos, bordes cortantes y trabajo en alturas.
- El conjunto total, de la solución está planteado para que pese 100Kg (+/-50kg), sin contar los equipos eléctricos como baterías, paneles solares y sistemas de iluminación.
- Se especifica una vida útil de 15 años (+/-5) de todo el sistema.
- La duración de la fuente lumínica deberá estar en el rango de las 50000 horas (+/-30000 horas)
- La vida útil del sistema de almacenamiento de energía, debe ser de 10 años (+/-2 años).
- Se plantea una realización de mantenimiento preventivo del sistema cada 2 años. A no ser que se presente alguna avería inesperada (mantenimiento correctivo), así se debe garantizar un fácil mantenimiento del sistema. Se debe tener especial cuidado en la facilidad de acceso y reemplazo de los diferentes sistemas, como por ejemplo el sistema eléctrico y lumínico.
- Los materiales seleccionados para la solución, deben ser los adecuados para resistir 10 años (+/-2 años) a la intemperie.
- Los materiales seleccionados, deben estar disponibles a nivel nacional.
- Los materiales seleccionados deben ser autoextinguibles a los 30seg (RETILAP)
- Los procesos de manufactura seleccionados, deben dar respuesta a una producción media de miles de unidades, planteándose inicialmente para una producción de 500 unidades (+1000unidades). Además, estos deben ser fácilmente desarrollados a nivel nacional.

- La autonomía del sistema será tipo Stand-alone, con una autonomía de 12 horas (1noches) (+1 noche). Tanto para el sistema de iluminación como para el suministro energético extra.
- Las características del sistema de iluminación, fueron establecidas por estándares comerciales y normativa nacional, así, está dimensionada para ser instalada en vías de circulación peatonal, con uso nocturno intenso por peatones o por ciclistas. (Se le clasifica según norma como tipo P2).
- Con la selección de tipo de luminaria para vía clasificada como P2. Esta deberá tener como característica un flujo luminoso de 2000 lm (+/-500) con alcance intermedio y dispersión media, para un diámetro de iluminación de 24 mt (+/-5mt) y así una distancia entre fuentes lumínicas de 24mt (+/-5mt).
- Basados en la iluminación más eficiente que se fabrica este tipo de dispositivos en la actualidad (LED) el consumo del sistema será alrededor de 30W (+/-5m)
- El grado de protección contra sólidos y fluidos del sistema de iluminación, debe ser IP65.
- El grado de protección contra sólidos y fluidos del sistema eléctrico, debe ser IP65 (-IP54).
- El grado de protección contra impactos del sistema de iluminación debe ser IK08.
- El grado de protección contra impactos del sistema eléctrico, debe ser IK05
- Por exigencia normativa (RETILAP), el sistema de encendido y apagado, será por medio de fotocelda o temporizador electrónico.
- Para alargar la vida útil de los sistemas de almacenamiento de energía, el sistema debe contar con un control automático que garantice mantener al menos un 60% de la carga total (+/-15%).
- El sistema de almacenamiento de energía será por baterías libres de mantenimiento de largo ciclo de vida (1000 ciclos- +/-200ciclos)
- El sistema debe ser diseñado para una temperatura de servicio de 40°C en promedio (-15+50°C).
- El sistema debe alcanzar un excedente energético de 100W/h (+50W/h) durante 12 horas, para una alimentación complementaria de energía eléctrica para equipos de bajo consumo como computadoras, portátiles, tabletas, televisores, etc.
- Para el diseño del sistema, se debe garantizar la correcta estabilidad estructural del sistema mediante simulaciones CAE y si es el caso simulaciones de tipo CFD, si el viento es un factor crítico.

- Se deben realizar pruebas de funcionamiento del sistema durante el ensamble y el montaje en situ, así como su posterior monitoreo.
- RETILAP, no exige que se certifique el producto, si este es con carácter donativo, pero de igual manera, el diseño debe cumplir con los requerimientos de este.
- Implícitamente, el sistema debe ser diseñado bajo norma RETIE.
- El conjunto debe soportar vientos de hasta 120 km/h (+30km/hr)
- Se debe considerar la posibilidad de robo del conjunto y sus partes, por ello se debe recurrir al aseguramiento de estos por medio de candados, anclajes y otros elementos para proteger el sistema.
- El sistema debe garantizar en sus 2 primeros años de vida (+/-1año), un funcionamiento sin averías (“garantía”), bajo condiciones normales de operación, según especificación técnica.
- El conjunto debe poder transportarse en un vehículo tipo furgón de una sola unidad (hasta 19ton) y este no debe requerir de aditamentos para la instalación del sistema. Así cada módulo completo del sistema, no deberá sobrepasar un alto de 5mt, un ancho de 2mt, y una profundidad de 0.5mt (+/-1mt para todas las anteriores).
- Para el montaje in situ, no se debe requerir de maquinaria especial como grúas. Aunque se puede requerir sistemas mecánicos, como andamios, malacates o sistemas de poleas de poco tamaño.
- Preferiblemente el sistema debe ser de fácil ensamble, con un tiempo aproximado de 4hr/hom (+/-2hr)), donde el sistema sea modular entre el ensamble de partes.
- Para que los costos del sistema no sean altos, la complejidad del diseño no debe ser con procesos de producción y ensamble complicados o materiales de poca disponibilidad o económicamente altos.
- Todos los componentes estándar deben estar disponibles a nivel nacional.
- Se busca integrar a la empresa pública y privada en la solución planteada, como un gesto de responsabilidad social. Donde la empresa podrá ser recordada, como un actor responsable, por ello es deseable, que el bien material fabricado, remita a la empresa como tal, ya sea por medio del uso de imagen corporativa (publicidad), planes sociales o campañas para la difusión e implementación de la solución.
- Inicialmente, por costos, el producto no será certificado bajo RETILAP, pero luego de 2 años (+/-1 año) el producto se debe certificar, con la intención de ser más competitivos en el mercado.

## 9 FASE 2: DISEÑO CONCEPTUAL

### 9.1 ANALISIS FUNCIONAL

#### 9.1.1 Caja Negra

La caja negra define al objeto o sistema de estudio desde el punto de vista de las entradas que recibe y las salidas que este produce, sin tener en cuenta su funcionamiento o la forma de transformar estas internamente.

Conocer la caja negra es importante, porque define como el sistema interactúa con el medio que la rodea y entender al mismo tiempo qué es lo que hace el sistema y qué requiere para su funcionamiento. Principalmente las entradas y salidas que definen el funcionamiento de un sistema son de tipo material, energético y de información.

Para el caso de estudio del sistema propuesto, la función principal identificada es ILUMINAR, que para su operación requiere de las siguientes entradas:

- Energía alternativa: solar y/o eólica
- Información introducida por el usuario para la operación del sistema.

Las variables de salida son:

- Señal: Luz
- Energía Térmica (Ocasionada por los reflectores)
- Energía eléctrica (Corriente alterna 110V)
- Energía sonora (Ocasionada por la turbina).
- Energía Cinética (Ocasionada por la turbina)

La Figura 6, muestra en un gráfico los flujos de entrada y salida del sistema necesario para cumplir con la función de ILUMINAR.



*Figura 6. Caja Negra del Sistema*

#### 9.1.2 Caja Transparente

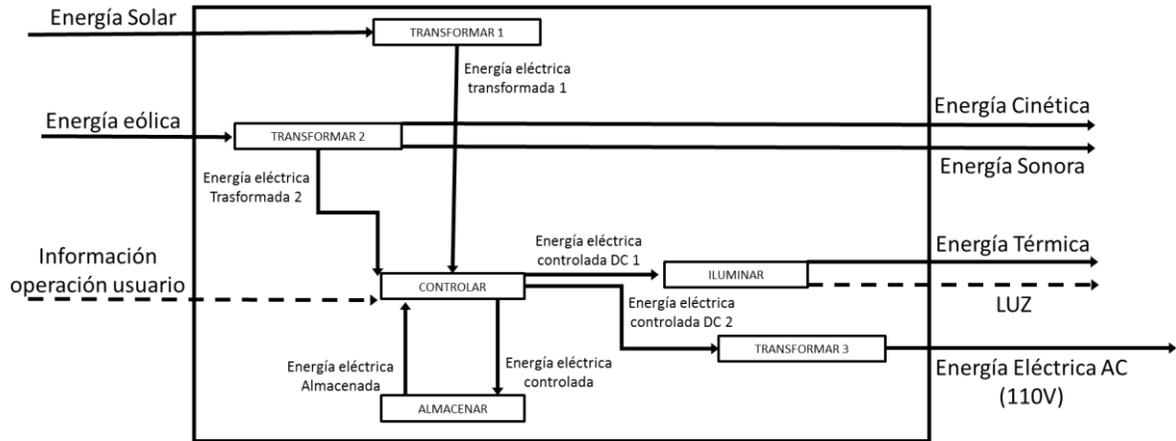
La caja Transparente, a diferencia de la caja negra, considera las subfunciones internas del sistema necesarias para su funcionamiento global. Esta define las interacciones y sub procesos del sistema al interior, las cuales sirven para profundizar y dar a conocer conceptualmente los flujos internos de Información, Energía y Materia para la definición de otros Subsistemas al interior del mismo.

Para el sistema propuesto, se consideró los siguientes subsistemas, que son los necesarios para el funcionamiento especificado del mismo:

- Transformar 1: Transforma la energía solar en energía eléctrica.
- Transformar 2: Transforma energía Eólica en energía eléctrica, cinética y sonora.
- Controlar: Es el control o cerebro del sistema, se encarga de recibir y enviar energía eléctrica a todos los subsistemas y controlar el suministro energético a estos para protegerlos o encenderlos en el momento indicado, todo esto programado por la información de operación que el usuario haya ingresado.
- Almacenar: Almacena por un periodo de tiempo la energía eléctrica suministrada por la función Controlar, y así mismo se la envía, para que esta la tenga a su disposición.
- Iluminar: Convierte en energía térmica y Luz la energía eléctrica que le suministra la función controlar.
- Transformar 3: Transforma energía eléctrica en corriente directa) a Energía eléctrica en corriente alterna a 110V para su aprovechamiento.

Es importante aclarar que para simplificar el modelo y entenderlo más fácilmente, se obvia otras funciones secundarias que no se consideran fundamentales o son inherentes o comunes entre ellas (Funciones básicas), como por ejemplo la función de conducir electricidad por los cables eléctricos o la función de contener o soportar elementos internos de los mismos subsistemas. Así también no se profundiza dentro de cada una de las funciones secundarias de la caja transparente, como por ejemplo la subfunción ENCENDER (encendido y apagado automático del sistema) que pertenece y es interna a la función secundaria de CONTROLAR ENERGÍA ELÉCTRICA o la subfunción PROTEGER o AISLAR de la función secundaria TRANSFORMAR 2 perteneciente a la turbina eólica cuando se alcanza velocidades de viento elevadas.

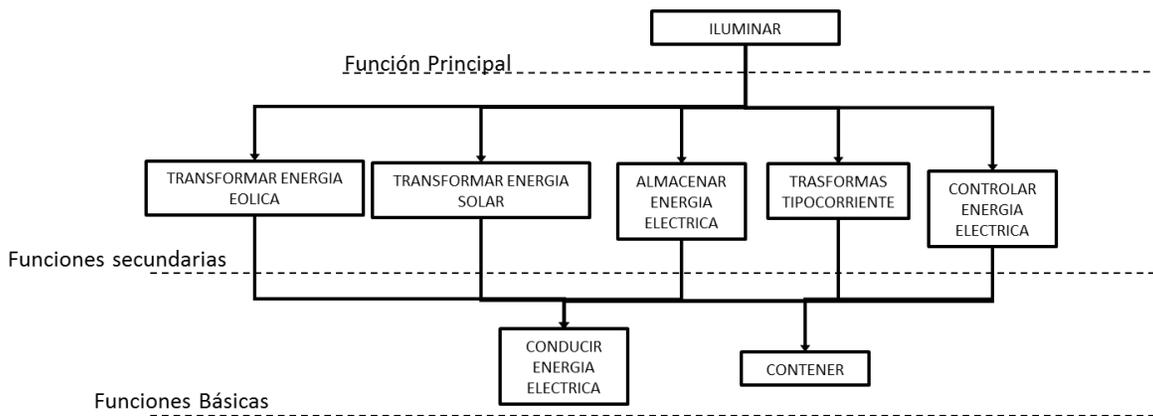
La Figura 7, muestra en un gráfico los flujos internos de entrada y salida de los subsistemas que son necesarios para cumplir con la función Principal.



**Figura 7. Caja Transparente del Sistema.**

### 9.1.3 Árbol De Funciones

El árbol de funciones, clasifica todas las subfunciones del sistema principal, según su nivel de importancia o nivel en que interactúan estas con otros subsistemas. La Figura 8, muestra como estas subfunciones fueron catalogadas según los criterios antes dichos, con el fin de identificarlos y poder seleccionar alternativas de solución en fases posteriores del proceso de diseño, como por ejemplo en la construcción de la matriz morfológica.



**Figura 8. Árbol de Funciones del Sistema.**

### 9.1.4 Atributos

Inicialmente para establecer los criterios y conceptos base, que sirvieron como referente para las construcción de las demás herramientas de generación de alternativas como; plancha de tendencias y mapas perceptuales y analizando la información recolectada en el PDS, mercado objetivo y el contexto donde será implementado el proyecto, se establece los siguientes conceptos globales que deben ser reflejados en el resultado final que se obtenga como propuesta de diseño (Figura 9).

<b>Fluido</b>	<b>Modular</b>
<b>Natural</b>	<b>Simple</b>

*Figura 9. Conceptos Globales*

Cada uno de estos conceptos se describe a continuación:

### **Fluido**

Se refiere a las formas estéticas del diseño, donde predominan las formas curvas y sinuosas, sin ángulos rectos o bordes cuadrados.

Se pretende que estas formas se integren al contexto donde será instalado el sistema, inspirado en el entorno natural, sus colores, formas, texturas, arquitecturas y composiciones.

### **Modular**

Debido a que el sistema debe ser versátil, adaptable, fácil y rápido en su instalación, este debe ser modular, por un lado en su configuración funcional, entendido como la posibilidad de agregar o eliminar algún sistema, como por ejemplo, si en una zona hay carencia de viento, se podrá suprimir el sistema de generación eólico y aumentar el sistema de generación por energía solar.

Por otro lado, se debe permitir que el sistema se ensamble in situ por subcomponentes de menor tamaño, que permitan un fácil manejo y transporte en las zonas rurales, además de poder instalar estos en diferentes configuraciones según las necesidades funcionales y estéticas del sitio.

### **Natural**

Al igual que el criterio de fluidez, el cual busca un el sistema que no sea ajeno al contexto rural donde se instalara el sistema, se pretende por un lado encontrar un diseño que sea formalmente inspirado en lo natural. Por otro lado, que desde la manufactura o tipo de fabricación del sistema se utilice materiales amigables con el ambiente, reciclados y/o reciclables, que se integren al entorno y sean comprendidos por los usuarios finales.

### **Simple**

Hay dos conceptos de simpleza a ser utilizados en la concepción de la solución, por un lado está la simpleza del diseño, sin elementos distractores ni formas que confundan al usuario, un diseño limpio y agradable.

En otro aspecto, está el carácter funcional, donde los componentes deberán ser confiables, de fácil adquisición tecnológica, fáciles de instalar, de entender, de bajo mantenimiento, de fácil remplazo y de bajo costo.

### 9.1.5 Planchas De Tendencia

Las planchas de tendencias, ayudan a orientar el proceso de generación de ideas, ya que reúne de una forma gráfica y visual aspectos estéticos, formales y constructivos que sirven como referente para la conceptualización de un producto.

Las tendencias se identifican por el comportamiento de un mercado en específico, las preferencias de los usuarios, movimientos artísticos o contextos y situaciones que el diseñador identifique como herramienta útil para el proceso de diseño. En estas se plasma texturas, materiales, productos de la familia, usuario, contexto y todo aquello que se considere pertinente. (Castaño, Planchas De tendencias, 2015)

Es importante aclarar que todas las planchas que se construyan, deban ser utilizadas, ya que unas pueden contradecir a otras. Pero si se puede cruzar o tomar algunos aspectos de estas que el diseñador considere importante tomar a la hora de generar propuestas de diseño.

Para el proceso de diseño aquí realizado, inicialmente se elaboraron nueve planchas de tendencias (Ver ANEXO 15. PLANCHAS DE TENDENCIAS), posteriormente en una sesión de trabajo en equipo, se filtró a sólo tres que eran las más pertinentes para seguir trabajando en el proceso creativo de generación de alternativas. Estas tendencias finales identificadas se describen a continuación:

#### **Plancha: Biomorfico**

En esta Plancha (Figura 10.) se toma como referente las formas fluidas inspiradas del cuerpo humano y la naturaleza, esta orientará la arquitectura formal del producto, su simpleza y valor estético que aquí se puede observar.

Esta Plancha está muy enfocada al HI\_Tech, por lo que de esta no se tomara algunos aspectos tales como; materiales y colores, ya que estos no son adecuados al contexto al que va dirigido el producto que se quiere diseñar, que va enfocado a un contexto rural y un público menos especializado o allegado a la tecnología.



**Figura 10. Plancha Biomorfico**

**Plancha: Entrelazado**

Esta plancha (Figura 11), sirve como referente constructivo, estético, y de posibles materiales y colores a aplicar en la propuesta final. Está basado en colores cálidos que son propios de materiales como el mimbre, guadua y bambú seco.

Con estos referentes se busca impactar al usuario y contexto donde interactúa el producto de una forma cálida, limpia y simple, que denote sensaciones de frescura, naturalidad y el valor de lo hecho a mano.



**Figura 11. Plancha Entrelazado**

**Plancha: Bambú**

Como complemento y elemento que puede enriquecer las planchas anteriormente descritas (Figura 10 y Figura 11), se toma como referentes la plancha bambú (Figura 12). Ya que los espacios y objetos que se relacionan con el entorno que allí se observan denotan fluidez, tranquilidad y simpleza, con formas simples y colores apacibles.

# BAMBOO



*Figura 12. Plancha Bambú*

## 9.1.6 Mapa Perceptual

Las planchas de tendencias, son representaciones graficas que localiza en dos ejes, los atributos y características físicas de una familia de productos.

En un eje se dimensiona los atributos de los productos asociados al análisis y son la representación de un aspecto del producto que se encuentran en la percepción de los usuarios de una forma subjetiva, como por ejemplo la apariencia del producto, la estética, el estilo, los valores vinculados, emociones que genera, etc.

En el otro eje se localizan las características físicas de los objetos de estudios, los cuales son medibles y cuantificables de una forma objetiva, como por ejemplo el peso, color, forma, dimensiones, etc.

El objetivo principal de esta herramienta de diseño, busca identificar las dimensiones y atributos más importantes con la que los usuarios perciben los productos, para luego posicionar la estrategia donde se desea proyectar el producto a concebir, según criterios de atributos más destacados, combinaciones preferidas, grupos similares, productos diferenciados, segmentos viables en el mercado o vacíos en estos mercados.

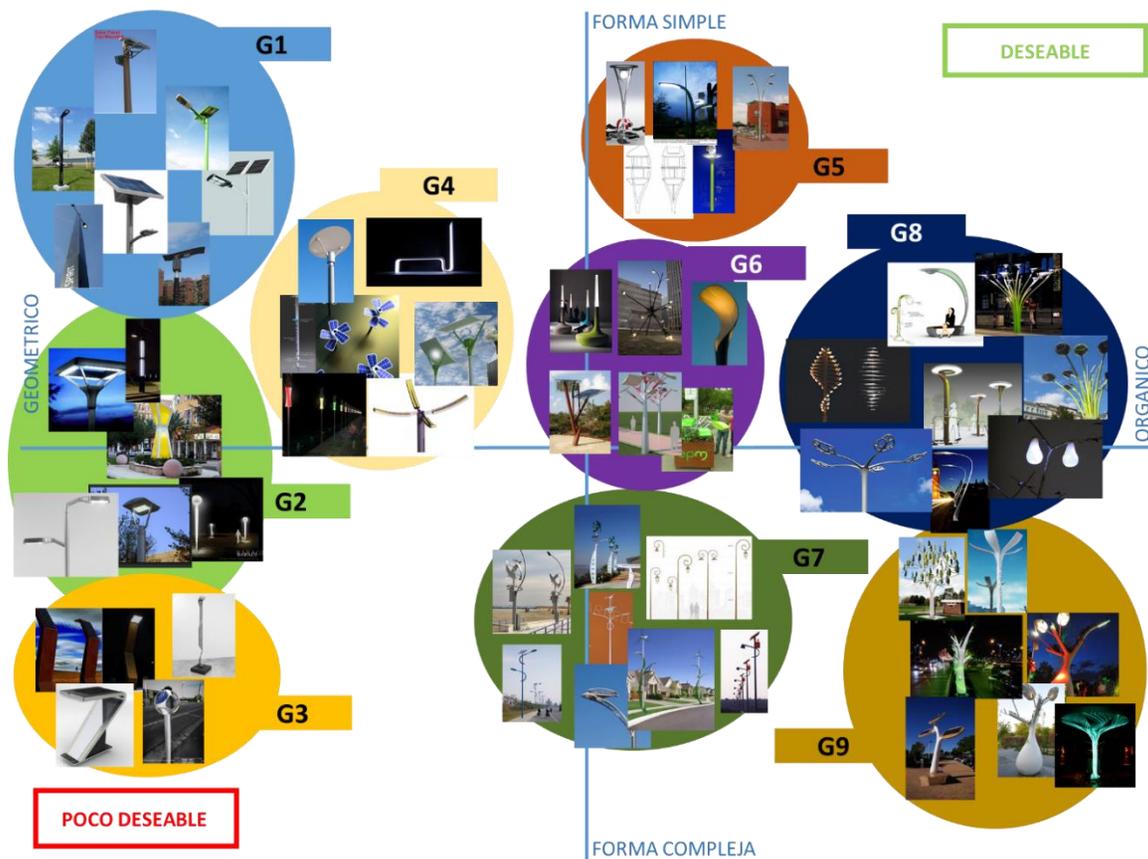
(Castaño, Los mapas Perceptuales, 2016)

El mapa perceptual trabajado para el sistema (Figura 13), definió como atributo en el eje horizontal, en uno de sus extremos lo que el usuario percibe dentro de la familia de productos como geométrico, mientras que en el otro extremo lo que este percibe como orgánico.

Por otro lado para el eje vertical del mapa, se definió como características físicas en el extremo inferior formas complejas y en el extremo superior formas simples, estas características están relacionadas al mismo tiempo a la complejidad en la manufactura de la familia de productos y como consecuencia al costo de fabricación de estos.

Como referente deseable, se estableció tomar el grupo que estuviera más cercano a la esquina superior derecha del mapa, ósea el grupo de productos que tuviera la forma más simple y orgánica posible, esto para tener bases en la fase de generación de alternativas con respecto a formas, materiales, procesos, colores, etc.

Como atributos y características físicas menos deseables, se estableció que los grupos de productos que estuvieran más cercanos a la esquina inferior izquierda fueran descartados, ya que eran los más geométricos y con formas más complejas.



**Figura 13. Mapa Perceptual.**

El mapa perceptual construido, está conformado por 9 grupos en total, que por sus semejanzas en atributos y características físicas fueron agrupados entre sí. Cada grupo

en específico conformado por el mapa perceptual se muestra en detalle en el ANEXO 16/ MAPAS PERCEPTUALES.

### Grupo 8: Mapa Perceptual Referente

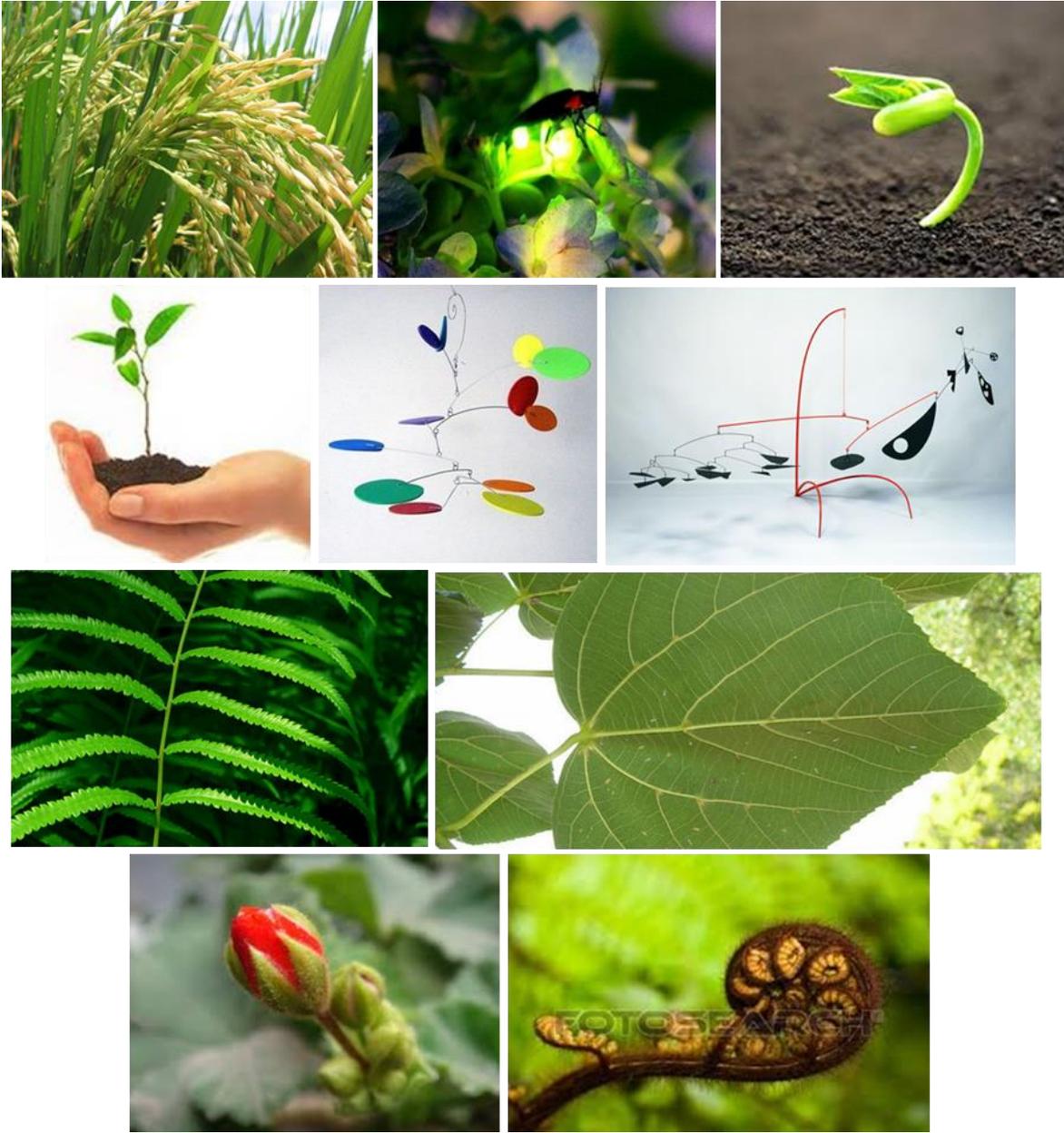
Como grupo referente y base para la fase de generación de ideas y conceptos, se tomó el grupo 8 (G8) (Figura 14) del mapa perceptual, ya que este era el más cercano al punto deseable (esquina superior derecha). A partir de este se analizaron, materiales, colores, procesos y formas comunes en toda la familia del grupo y así se obtuvo un horizonte al que apuntar en las fases posteriores del proceso de diseño.



Figura 14. Grupo 8, Mapa Perceptual

### 9.1.7 Referentes

Como apoyo y complemento de los resultados obtenidos por las planchas de tendencias y mapas perceptuales, se realiza un banco de imágenes que sirven como inspiración y referente semántico, para el proceso de generación de ideas y generación de conceptos. La Figura 15 muestra una recopilación de estas imágenes que sirvieron como apoyo.



**Figura 15. Referentes Banco de Imágenes.**

## 10 FASE 3: DESARROLLO DE ALTERNATIVAS

### 10.1 GENERACION DE ALTERNATIVAS

#### 10.1.1 Matriz Morfológica

La matriz morfológica es una herramienta útil para ampliar el espectro de alternativas de solución que ayudan al proceso de generación de ideas, ya que define como solucionar un subproblema con múltiples soluciones.

En el caso de estudio del sistema propuesto, se estableció diferentes alternativas de solución de las diferentes Subfunciones (Primarias y secundarias) identificadas en el árbol de funciones del sistema (ver: Figura 8).

Luego de establecer las alternativas de solución de cada una de estas subfunciones (Tabla 5), se procedió a establecer las rutas de alternativas de solución, las cuales recorrían a lo largo de la matriz, un conjunto de soluciones para plantear una propuesta única que diera solución al problema de diseño.

SUBFUNCION	EJECUTORES DE FUNCIONES TECNOLOGICAS							
ILUMINAR	Fuego	LED	Incandescente	Química	Láser	Solar	Fibra óptica	
TRANSFORMAR ENERGIA EOLICA	Turbina eje horizontal	Savonius	Savonius helicoidal	Gorlov	Híbridas (Savonius-Darrius)	Darrius		
TRANSFORMAR ENERGIA SOLAR	Panel Monocristalino	Panel Policristalino	Celdas de concentración	Celdas amorfas	Celdas de seguimiento programado			
ALMACENAR ENERGIA ELECTRICA	Batería libres de mantenimiento (Plomo Acido)	Batería (Níquel-hierro)	Batería (Níquel-cadmio)	Batería (Níquel-hidruro Metálico)	Batería (Iones De Litio)	Batería (Polímero De-Litio)	Pilas De Combustible	
TRASFORMAR TIPO CORRIENTE	INVERSOR							
CONTROLAR ENERGIA ELECTRICA	PLC	Electrónica analógica	Microcontrolador	Tarjeta Programable	Controlador de carga MPPT	Regulador PWM		

**Ruta 1: Comercial**

**Ruta 2: Eficiencia**

**Ruta 3: Experimental**

**Ruta 4: Menor costo**

**Ruta 5: Confiabilidad**

**Tabla 5. Matriz Morfológica.**

Estas rutas de solución se establecieron bajo 5 criterios, las cuales iban recorriendo las tecnologías que mejor se fueran adaptando a lo que se pretendía. Estos criterios fueron:

#### Ruta Comercial

Es esta ruta se eligieron los componentes tecnológicos que presentaran mayor disponibilidad en el mercado y que fueran los de más fácil consecución.

### **Ruta Eficientemente Energética**

Sin importar el costo de implementación, se eligieron las alternativas tecnológicas que representarían mayor eficiencia de funcionamiento del sistema.

### **Ruta Experimental**

Dejando a un lado que tan comercial fueran los componentes seleccionados, se seleccionó alternativas de solución que fueran innovadoras y nuevas en el mercado.

### **Ruta De Menor Costo**

Para esta ruta, se eligieron los componentes que fueran los de menor costo de adquisición.

### **Ruta De Confiabilidad.**

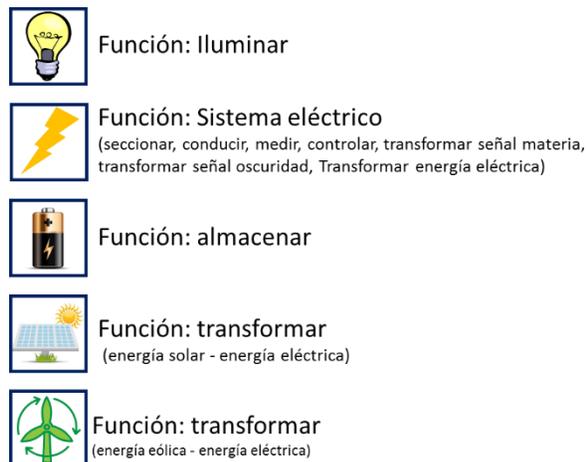
Ruta pensada en seleccionar componentes que fueran los más implementados en el mercado, sin importar su costo, ya que eran los de mejor confiabilidad, ya sea por su tradición o madurez tecnológica.

Las rutas seleccionadas como referente para la selección e integración de tecnologías son; las ruta comercial y la ruta de menor costo, esto debido a la naturaleza del proyecto, buscando tener una mejor relación costo Beneficio del producto y mayor replicabilidad de este.

## **10.1.2 Configuración Funcional**

La configuración funcional es una herramienta útil que amplía la cantidad de posibilidades de integrar un sistema total, distribuyendo de diferentes formas la localización o posición en las que se relacionan los subsistemas internos entre sí para conformar el sistema global.

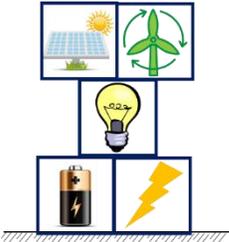
Para la elaboración de esta matriz se identificaron 5 subsistemas principales, como se muestra en la Figura 16. Los cuales están relacionados con las funciones principales identificadas en el árbol de funciones (Figura 8).

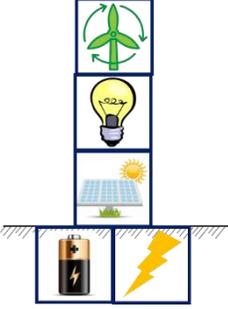
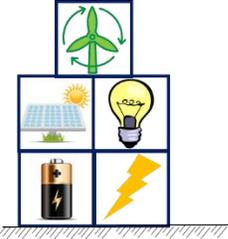
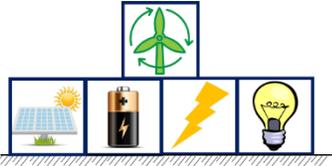


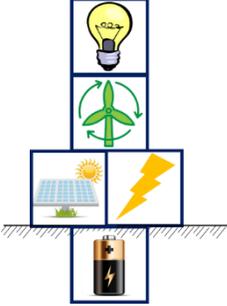
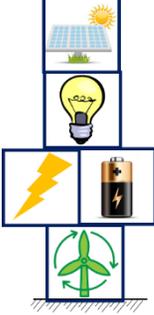
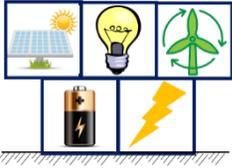
**Figura 16. Símbolos Funciones**

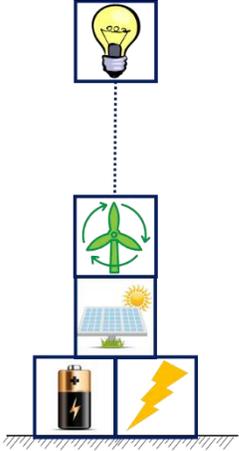
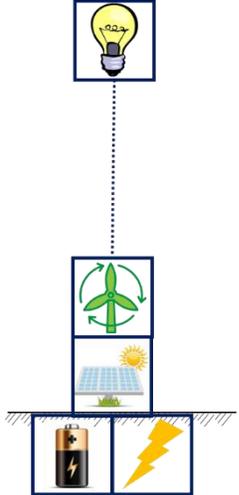
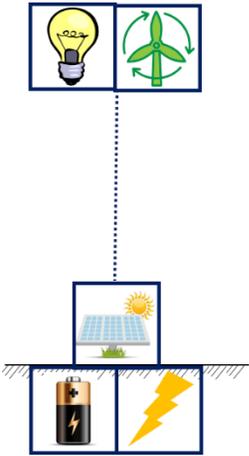
La Tabla 6, muestra de forma gráfica todas las posibles configuraciones del sistema y como cada una de estas alternativas son evaluadas de forma general, según su viabilidad técnica, comercial, estética, económica o productiva. Así según estos criterios, se asignó

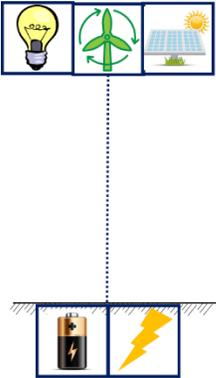
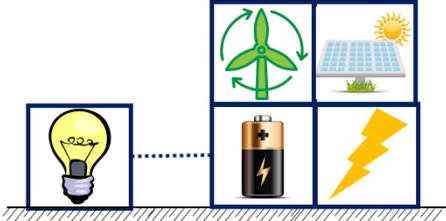
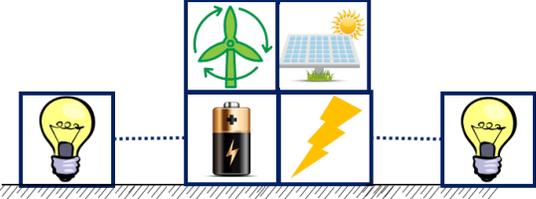
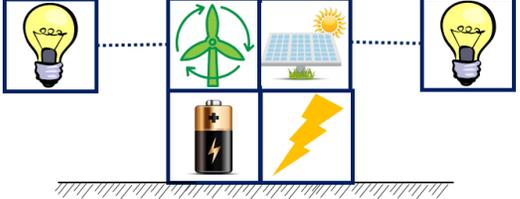
un puntaje de 1 a 5 a cada una de las configuraciones, según el cumplimiento de los aspectos anteriormente dichos y así tener claro cuáles son las configuraciones más pertinentes a la hora de generar alternativas.

Alternativa	Configuración	Puntaje	Observación
1		3	Alternativa comercial
2		3	Alternativa comercial Sistema de almacenamiento de energía, bajo tierra
3		5	

Alternativa	Configuración	Puntaje	Observación
4		4	Sistema de almacenamiento de energía y sistema eléctrico, bajo tierra
5		4	
6		3	
7		2	

Alternativa	Configuración	Puntaje	Observación
8		4	
9		3	<p>Sistema de almacenamiento de energía, bajo tierra</p>
10		3	<p>Generación de energía humana, reemplazando la turbina eólica por sistema de generación mecánica1</p>
11		5	

Alternativa	Configuración	Puntaje	Observación
12		4	
13		4	
14		3	

Alternativa	Configuración	Puntaje	Observación
15		2	
16		3	
17		3	
18		5	

Alternativa	Configuración	Puntaje	Observación
19		4	

**Tabla 6. Configuraciones Funcionales.**

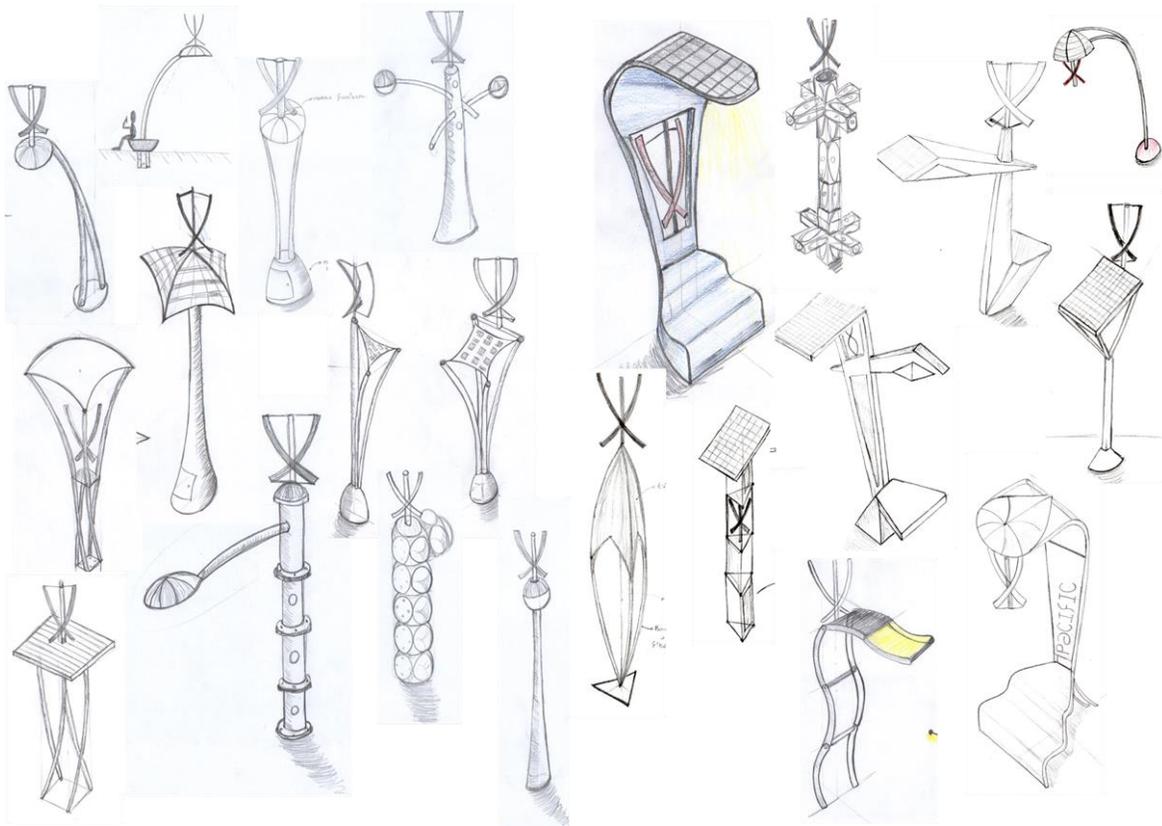
De las 19 alternativas generadas, se tomaron como referente constructivo para la generación de ideas y conceptos las de mayor puntaje, las cuales sirvieron de guía para aumentar la cantidad de propuestas de diseño generadas.

### 10.1.3 Alternativas Generadas

Posterior a la fase de diseño conceptual y de desarrollo de alternativas, se comenzó el proceso de generación de conceptos o propuestas de diseño, donde se reflejó toda la información anteriormente construida.

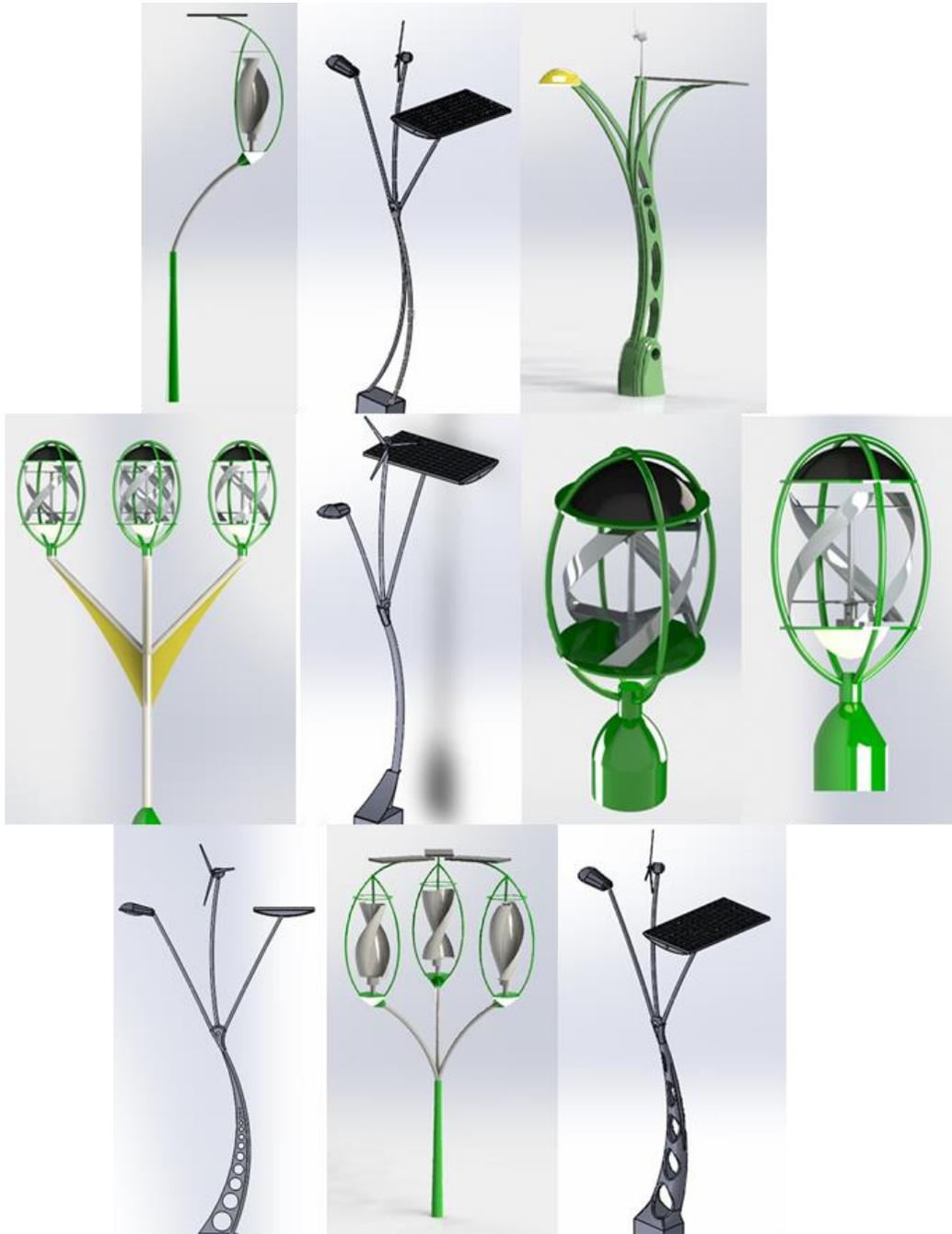
Este proceso de generación de alternativas constó en la elaboración de diferentes bocetos y dibujos de taller, que en diferentes sesiones de trabajo en grupo, entre asesores y la empresa interesada, se fueron ampliando, depurando y seleccionando según las perspectivas técnicas, estéticas, productivas y comerciales que se querían obtener.

La Figura 17, muestra algunas de estas alternativas generadas a mano alzada (Bocetos) durante el proceso de generación de alternativas.



**Figura 17. Alternativas Generadas (Bocetos)**

Durante este proceso de trabajo colaborativo, en cada una de las sesiones de trabajo, se identificó algunas alternativas o conceptos de interés, por lo que se profundizó un poco más en estas utilizando herramientas CAD, lo cual ayudó a dar una mejor perspectiva de las propuestas, desde aspectos de proposición, colores, tamaños, materiales y procesos (Figura 18).



**Figura 18. Alternativas Generadas (Modelaciones CAD)**

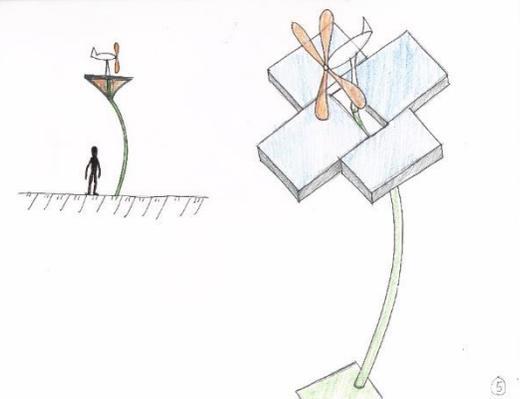
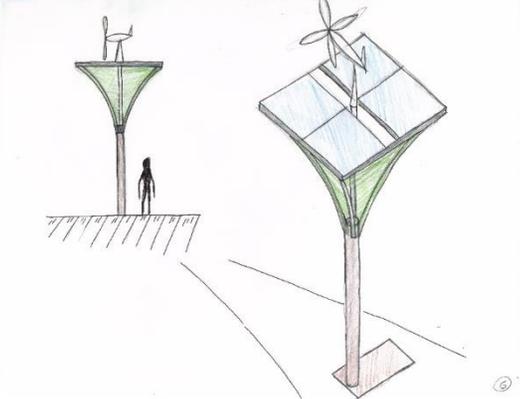
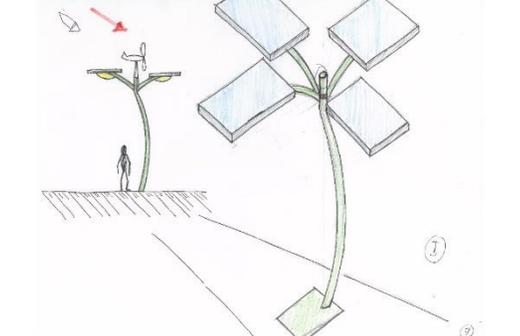
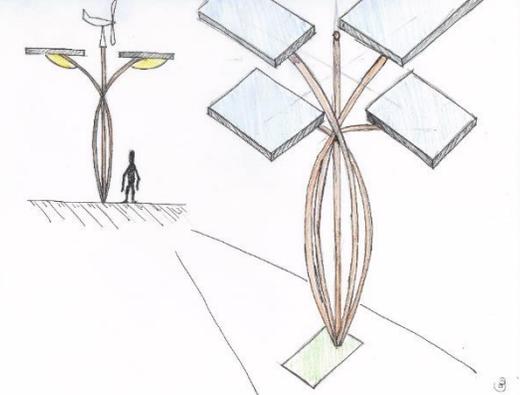
## 10.2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA FINAL

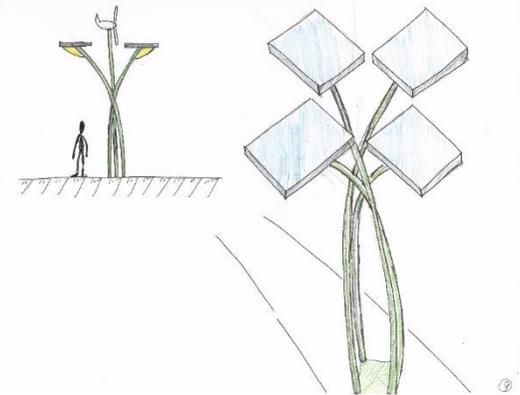
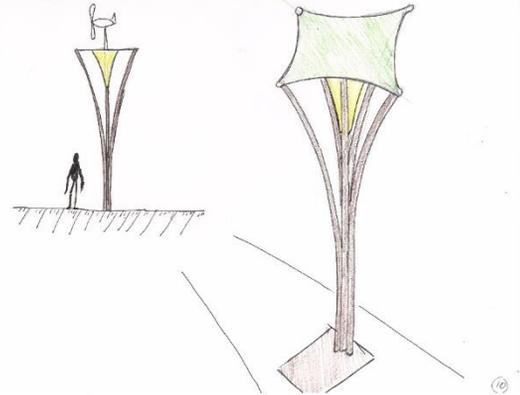
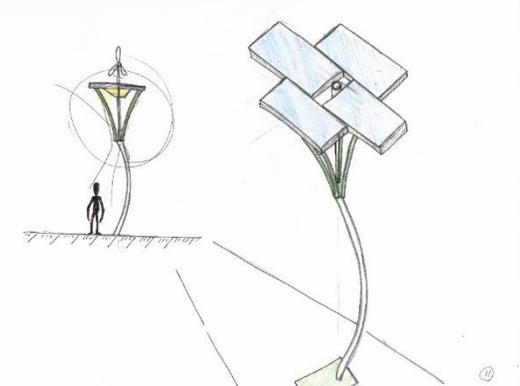
### 10.2.1 Preselección Alternativas

Una vez se obtuvo suficiente cantidad de alternativas y conceptos, se comenzó a reducir el número de posibilidades filtrando y agrupando las propuestas según su pertinencia desde aspectos productivos, técnicos, comerciales y estéticos.

De estas sesiones de discusión en grupo, se obtuvo al final 11 alternativas de diseño que cumplieran con los requerimientos esperados. Estas se muestran en la Tabla 7.

Numero de Alternativa	Boceto
1	
2	
3	
4	

Numero de Alternativa	Boceto
5	
6	
7	
8	

Numero de Alternativa	Boceto
9	
10	
11	

**Tabla 7. Alternativas de Diseño Finales.**

### 10.2.2 Matriz Selección Alternativas

Para obtener una sola alternativa o propuesta de diseño, en la cual poder seguir trabajando en la fase de diseño de detalle, se confrontó las 11 alternativas de diseño finales (Tabla 7) en una matriz de selección de alternativas, para que de una forma cuantitativa se eligiera una de estas.

La información con la que se evaluó y comparó cada una de estas alternativas fue obtenida de las especificaciones técnicas más relevantes del PDS. Además a estas especificaciones técnicas se les asignó un peso según su nivel de importancia así como

también un rango o medida de criterio, con el fin de hacer esta evaluación de la forma más cuantitativa posible.

Los valores que se asignaron para la evaluación en la matriz, correspondieron a:

- 0 si no se cumplía el criterio
- 0.5 si el criterio se medianamente.
- 1 si el criterio se cumplía a satisfacción.

La Tabla 8 muestra la matriz construida que sirvió para la selección de la propuesta de la alternativa final.

CRITERIO DE EVALUACION		MEDICION DEL CRITERIO	PESO SUBCATEGORIA	Alt #1	Alt #2	Alt #3	Alt #4	Alt #5	Alt #6	Alt #7	Alt #8	Alt #9	Alt #10	Alt #11
Tamaño	Ancho	1mt de diámetro	0,04	0,5	1	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	1	0,5
Mantenimiento	facilidad mantenimiento	tiempo (2H/UND)	0,04	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0	0,5	1
	fácil Acceso a baterías	uso herramientas altura(nivel del piso)	0,03	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0	0,5	1
	fácil Acceso a sistema eléctrico	uso herra-altura (nivel del piso)	0,03	0,5	0	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0	0,5	1
Producción	facilidad de producción	unidades tiempo (miles de unidades)	0,10	0,5	0	1	0,5	0,5	0	1	0	0	0	1
	facilidad instalación	tiempo (2H/UND)	0,07	0,5	0	1	0,5	0,5	0	1	0	0	0	1
	tiempo de desarrollo	tiempo (3meses)	0,03	0	0	1	1	0,5	0	1	0,5	0,5	0	1
Desempeño	posición fuente eólica	alt min (5MT)	0,10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1
	posición fuente fotovoltaica	alt min (5MT)	0,10	1	0	1	1	1	0,5	1	1	1	0	1
	fijación(anclajes)	elementos de suj (HUECO-PÉRNADA)	0,05	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	1
Apariencia	espacio publicitario	área (2MT^2)	0,05	0	0,5	0	0	0	1	0,5	0	0	1	0,5
	estética	forma orgánica	0,10	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0	0,5	0,5

CRITERIO DE EVALUACION	MEDICION DEL CRITERIO	PESO SUBCATEGORIA	Alt #1	Alt #2	Alt #3	Alt #4	Alt #5	Alt #6	Alt #7	Alt #8	Alt #9	Alt #10	Alt #11	
			Ensamble	facilidad ensamble	cantidad de piezas (MAX10)	0,04	0,5	1	1	0,5	0,5	0	0,5	0
tiempo de ensamble	tiempo (2H/UND)	0,04		0,5	0	0,5	0	0,5	0	1	0	0	0	1
modularidad	cantidad configuraciones (3CONFIG)	0,10		1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1
no equipos especiales para instalación	herramientas y maquinaria	0,02		1	0,5	1	1	1	0,5	1	0,5	0,5	0,5	1
PUNTAJE FINAL				0,62	0,385	0,805	0,63	0,635	0,435	0,905	0,5	0,4	0,335	0,855

**Tabla 8. Matriz Selección Alternativas**

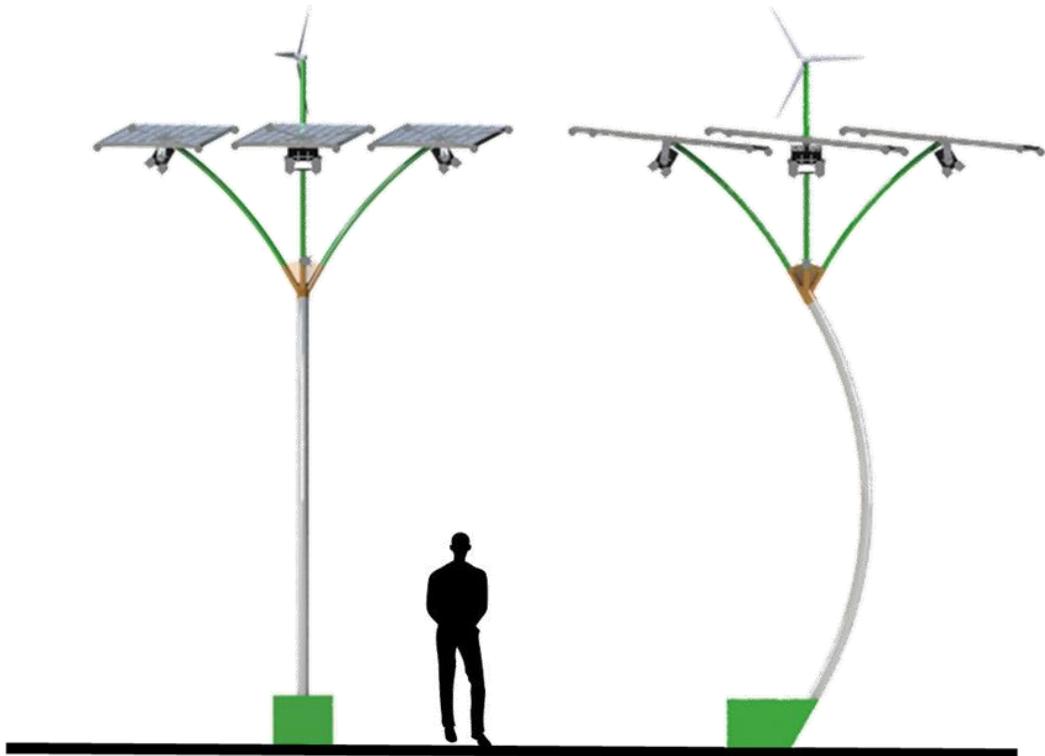
### 10.2.3 Alternativa Final Seleccionada

Luego de evaluar y comparar las 11 alternativas finales en la matriz de selección de alternativas (Tabla 8), la alternativa 7 es la que mayor puntaje obtuvo (con un valor de 0.935) sobre las demás.

Esta alternativa tuvo mejor calificación a diferencia de las demás, gracias a que la base no está enterrada en el suelo, lo que permite mejor acceso a las baterías y sistema eléctrico, además de disminuir los tiempos de ensamble, mantenimiento e instalación del mismo por la simplicidad de no tener que enterrar los componentes en el suelo.

Por otro lado, esta alternativa se destacó por su simplicidad y estética, lo cual a la hora de producir sería más viable económicamente. Otro aspecto relevante de esta alternativa es que al estar la base sobre el nivel del suelo, se da la posibilidad de crear una superficie para que las personas se sienten y al mismo tiempo poder plasmar en esta la imagen corporativa o publicitaria especificada en el PDS.

La Figura 19, Muestra con mejor detalle la alternativa final seleccionada, la cual se comienza a detallar con el diseño de ingeniería en la fase de diseño de detalle, donde se especifica y evalúa técnicamente todo el desarrollo necesario para la construcción del modelo funcional.



**Figura 19. Alternativa Final Seleccionada.**

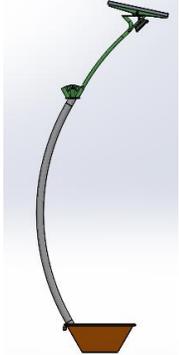
## 11 FASE 4: DISEÑO DE DETALLE

### 11.1 CONFIGURACIONES FUNCIONALES

Uno de los criterios o especificaciones de diseño definidas en el PDS, es la concepción de un sistema modular que se adapte a las necesidades específicas del contexto o el entorno, ya sea configurando un sistema simple de sólo una iluminación alimentada por un panel solar, o la posibilidad de obtener la capacidad de generar un excedente de energía al mismo tiempo que se ilumina el entorno con dos o más fuentes lumínicas.

La Tabla 9, muestra las configuraciones funcionales más representativas que se logran obtener con el sistema propuesto y como esta varía formalmente según la necesidad específica de instalación in Situ.

Tipo Configuración	Representación
<p>Configuración 1: sistema Completo</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 paneles solares (100Wp)</li> <li>- 1 turbina eólica (200W)</li> <li>- 2 fuentes de iluminación (30W)</li> <li>- 2 batería (205Ah)</li> <li>- 1 inversor (350W)</li> </ul> <p>Generación= 1968Wh/día (generación para sistema de iluminación y equipos de 100W)</p>	
<p>Configuración 2: base Incrustada al suelo</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 paneles solares (100Wp)</li> <li>- 1 turbina eólica (200W)</li> <li>- 2 fuentes de iluminación (30W)</li> <li>- 2 batería (205Ah)</li> <li>- 1 inversor (350W)</li> </ul> <p>Generación= 1968Wh/día (generación para sistema de iluminación y equipos de 100W)</p>	
<p>Configuración 3: sistema Completo sin turbina eólica</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 paneles solares (175Wp)</li> <li>- 2 fuentes de iluminación (30W)</li> <li>- 2 batería (205Ah)</li> <li>- 1 inversor (350W)</li> </ul> <p>Generación= 1968Wh/día (generación para sistema de iluminación y equipos de 100W)</p>	

Tipo Configuración	Representación
<p>Configuración 4: dos iluminaciones con turbina eólica</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 paneles solares (175wp)</li> <li>- 1 turbina eólica (200w)</li> <li>- 2 fuentes de iluminación (30W)</li> <li>- 2 batería (205Ah)</li> <li>- 1 inversor (350W)</li> </ul> <p>Generación= 1968Wh/día (generación para sistema de iluminación y equipos de 100W)</p>	
<p>Configuración 5: dos iluminaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 paneles solares (150Wp)</li> <li>- 2 fuentes de iluminación (30W)</li> <li>- 1 batería (75Ah)</li> <li>- 1 inversor (150W)</li> </ul> <p>Generación= 768Wh/día (generación Sólo para sistema de iluminación)</p>	
<p>Configuración 6: una Iluminación</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 panel solar (150Wp)</li> <li>- 1 fuente lumínica (30W)</li> <li>- 1 batería (35Ah)</li> <li>- 1 inversor (150W)</li> </ul> <p>Generación= 408 Wh/día (generación Sólo para sistema de iluminación)</p>	

**Tabla 9. Tipos de Configuraciones Funcionales Posibles.**

Es importante aclarar que el estudio aquí realizado, teniendo en cuenta toda la información técnica necesaria para la obtención de un prototipo funcional, tales como listas de partes, planos de construcción, costos, dimensionamiento de equipos, etc., se enfoca en el desarrollo del sistema más complejo, el cual integra los componentes necesarios para poder generar un excedente de energía eléctrica más la suma de dos fuentes lumínicas.

## 11.2 PARTES

### 11.2.1 Componentes Eléctricos Estándar

Para la integración de componentes eléctricos del sistema completo, la Tabla 10 lista los componentes necesarios para la construcción de un primer modelo funcional, teniendo en cuenta además, proveedor de la tecnología, Referencia y marca de cada componente.

<b>Nomenclatura</b>	<b>Componentes</b>	<b>Descripción</b>	<b>Marca</b>	<b>Referencia</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Observación</b>
CE1	Batería	Batería AGM 12VDC-205AH MTEK MT122050	MTEK	MT122050(12V205Ah)	2	Para máxima captación
CE2	Panel Solar	Panel solar 24v 100W policristalino	yinglisolar	YL0100P-17b	4	Para máxima captación sin turbina eólica
CE3	MPPT Sistema Híbrido	Controlador 40A hybrid	BUTTERFLY	JW2460	1	Sólo Para sistema Híbrido
CE4	MPPT Sistema Solar	Controlador 30A	Victron	MPPT 100/30		Sólo para sistema solar
CE5	Inversor	Inversor onda pura m 24V 350W	Victron	VICTRON phoenix 24V 350W	1	
CE6	Reflector	Reflector 30W	No especificada	ASL81508 - Reflector vertical cob de 30w	2	
CE7	Turbina eólica	Turbina horizontal 200W	Air Breeze	Air 40	1	
CE8	Cable AWG cal 12 o cable solar (4mm)	N/A	N/A	N/A	1 rollo de 100mt	
CE9	Bornera	N/A	N/A	N/A	1	

**Tabla 10. Componentes Eléctricos Estándar Seleccionados.**

### 11.2.2 Componentes Mecánicos Estándar

Como componentes mecánicos necesarios para el ensamble del sistema completo, como elementos de sujeción, empaques y adhesivos, la Tabla 11 lista y enumera los elementos anteriormente dichos.

Código	Descripción	Cantidad	Unidad	Observación
CM1	Bisagra Plano 15mmX Long 536mm	1	Und	
CM2	Tuerca Hexagonal 1/2 G8	12	Und	
CM3	Tuerca M6	4	Und	
CM4	Tornillo cabeza plana M6x20mm	4	Und	
CM5	Remache Pop 6-3	6	Und	
CM6	Empaque Adhesivo caucho esponjoso 20x4mm long 1.6mt	1	Und	
CM7	Silicona liquida	1	Barra	
CM8	Tornillo CE 1/4" x 3/4" G8	56	Und	
CM9	Arandela plana 1/4"	152	Und	
CM10	tuerca hexagonal 1/4" G8	76	Und	
CM11	Wasa 1/4"	76	Und	
CM12	Tornillo CE 3/8" x 3/4" G8	4	Und	
CM13	Arandela plana 3/8"	8	Und	
CM14	tuerca hexagonal 3/8" G8	4	Und	
CM15	Wasa 3/8"	4	Und	
CM16	Tornillo CE 1/4" x 3" G8	36	Und	
CM17	Esparrago 3/4" x long 25cm G8	4	Und	
CM18	Arandela plana 3/4"	4	Und	
CM19	tuerca hexagonal 3/4" G8	4	Und	
CM20	Wasa 3/4"	4	Und	
CM21	Tornillo CE 1/2" x 3/4" G8	12	Und	
CM22	Arandela plana 1/2"	16	Und	
CM23	Wasa 1/2"	12	Und	
CM24	Varilla de puesta a tierra 5/8" Long 2.4mt	1	Und	
CM25	Varilla 3/8 corrugada	4	Und	para base
CM26	Tubo flexible PVC 1/2" long 70cm	1	Und	
CM27	Cemento	10	Bulto 50Kg	Para un volumen de 0,34mt <sup>3</sup> y una densidad de 1510kg/m <sup>3</sup>

**Tabla 11. Componentes Mecánicos Estándar.**

### 11.2.3 Componentes Manufacturados

Desde el punto de vista de la manufactura para la fabricación de partes, La Tabla 12, lista la cantidad de piezas y ensamblajes necesarios para la fabricación de un sistema completo funcional, especificando cantidad, material y proceso necesario para la producción de estos, así como la especificación del número de plano de construcción de los mismos.

<b>Nomenclatura</b>	<b>Nombre Pieza</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Material</b>	<b>Proceso</b>	<b># Plano</b>
1	ENS_MEC_BASE	1	N/A	Ensamble Mecánico Sellado Con Silicona	1
1,1	ENS_SOL_BASE	1	N/A	Soldadura Tig Pintura Electrostática	2
1.1.1	CUERPO BASE	1	Lamina CR Cal 14	Corte Cizalla Punzonado Doble	3
1.1.2	LATERAL BASE	2	Lamina CR Cal 14	Corte Cizalla Punzonado Doble	4
1.1.3	GUIA VER BAT	1	Angulo Acero 1"	Corte	5
1.1.4	SOP LAT POSTE CHASIS	1	Lamina Cr Cal 3/16"	Corte Cizalla Punzonado Doble	6
1.1.5	LAM REF HOR BASE	1	Lamina Cr Cal 3/16"	Corte Cizalla Punzonado Doble	7
1.1.6	SimetríaSOP LAT POSTE CHASIS	1	Lamina Cr Cal 3/16"	Corte Cizalla Punzonado Doble	6
1.1.7	SimetríaGUIA VER BAT	1	Angulo Acero 1"	Corte	9
1.1.8	SOP INF TUBO	1	Lamina Cr Cal 3/16"	Corte Cizalla Punzonado Doble	10
1.1.9	EXT SOP TUBO	1	Lamina Cr Cal 3/16"	Corte Cizalla Punzonado Doble	11
1.1.10	REF BASE	2	Lamina Cr Cal 3/16"	Corte Cizalla Doble	12
1.1.11	GUIA TRANS INF	1	Angulo Acero 1"	Corte	13

<b>Nomenclatura</b>	<b>Nombre Pieza</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Material</b>	<b>Proceso</b>	<b># Plano</b>
1.1.12	SimetríaGUIA TRANS INF	1	Angulo Acero 1"	Corte	14
1.1.13	ANCLAJE PERNOS CONTRARIO	1	Lamina Cr Cal 3/16"	Corte Cizalla Punzonado	15
1,2	ENS SOL TAPA SUP	1	N/A	Soldadura Tig Pintura Electroestática	16
1.2.1	TAPA SUP	1	Lamina CR Cal 14	Corte Cizalla Punzonado Doblez	17
1,3	ENS SOL BAND BAT	1	N/A	Soldadura Tig Pintura Electroestática	18
1.3.1	BAND BATERIAS	1	Lamina CR Cal 14	Corte Cizalla Punzonado Doblez	19
1.3.2	RED BASE BAT	1	Lamina CR Cal 14	Corte Cizalla Punzonado Doblez	20
1,4	BAND CONTROL	1	Lamina CR Cal 14	Corte Cizalla Punzonado Doblez Pintura Electroestática	21
1,5	TAPA SUP SEGURIDAD	1	Lamina CR Cal 14	Corte Cizalla Punzonado Doblez Pintura Electroestática	22
2	ENS SOL POSTE	1	N/A	Soldadura Tig Pintura Electroestática	23
2,1	POSTE	1	Tubo Redondo NTC1560 TCN 4"x3mm	Corte Rolado	24
2,2	SOP PRIN TUBO INF	1	Lamina Cr Cal 3/16"	Corte Cizalla Punzonado Doblez	25
2,3	SOP HOR TUBO	1	Lamina Cr Cal 3/16"	Corte Cizalla Punzonado	26
2,4	REF A TUBO PRINS	1	Lamina Cr Cal 3/16"	Corte Cizalla	27
2,5	REF B TUBO PRINS	2	Lamina Cr Cal 3/16"	Corte Cizalla	28
2,6	BRIDA ACOPLE MEDIO A	1	Lamina Cr Cal 3/16"	Corte Cizalla Punzonado	29

<b>Nomenclatura</b>	<b>Nombre Pieza</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Material</b>	<b>Proceso</b>	<b># Plano</b>
3	ENS ACOPLA MEDIO TUBO	1	N/A	Ensamble Mecánico Pintura Electroestática	30
3,1	ACOPLE MEDIO TUBO	1	Lamina Cr Cal 3/16"	Corte Cizalla Punzonado	31
3,2	TUBO ACOPLA INC	4	Tubo Redondo NTC4526 PTS 2,36"x4mm	Corte Perforado	32
3,3	TUBO ACOPLA INC CENTRAL	1	Tubo Redondo NTC4526 PTS 2,36"x4mm	Corte Perforado	33
3,4	REF ACOPLA MEDIO TUBO	4	Lamina CR Cal 14	Corte Cizalla Punzonado	34
4	ENS SOL TUBO SOP 2	4	N/A	Soldadura Tig Pintura Electroestática	35
4,1	TUBO SOP 2	4	Tubo Redondo NTC4526 PTS 2"x2mm	Corte Perforado Rolado Doble	36
4,2	SOP SUP TUBO LAM	4	Lamina Cr Cal 3/16"	Corte Cizalla Punzonado	37
4,3	TUBO SOP SUP CURVO	4	Tubo Redondo NTC4526 PTS 1"x2,5mm	Corte Rolado Doble	38
4,4	SimetríaTUBO SOP SUP CURVO	4	Tubo Redondo NTC4526 PTS 1"x2,5mm	Corte Rolado Doble	39
5	TUBO RECTO	1	Tubo Redondo NTC4526 PTS 2"x2mm	Corte Perforado	40
6	ENS SOP PANEL SOLAR	4	N/A	Ensamble Mecánico	41
6,1	SOP PRIN	4	Lamina Cr Cal 3/16"	Corte Cizalla Punzonado Doble	42
6,2	ENS SOL TUBO PRIN PANEL	4	N/A	Soldadura Tig Pintura Electroestática	43
6.2.1	TUBO SOP PRIN PANEL	4	Tubo Redondo NTC4526 PTS 1,5"x2mm	Corte Perforado	44
6.2.2	BRINA ANGULO PANEL	8	Lamina CR Cal 14	Corte Cizalla Punzonado	45
6,3	TUBO SOP LONG PANEL	4	Tubo Redondo NTC4526 PTS 1,315"x2mm	Corte Perforado	46
6,4	ENS SOL TUBO	8	N/A	Soldadura Tig	47

<b>Nomenclatura</b>	<b>Nombre Pieza</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Material</b>	<b>Proceso</b>	<b># Plano</b>
	ACOPLE PANEL			Pintura Electrostática	
6.4.1	TUBO ACOPL PANEL	8	Tubo Redondo NTC4526 PTS 1,5"x2mm	Corte Perforado	48
6.4.2	SOP LAM PANEL 2	8	Lamina CR Cal 14	Corte Cizalla Punzonado Doble	49

**Tabla 12. Lista de Partes Componentes Manufacturados.**

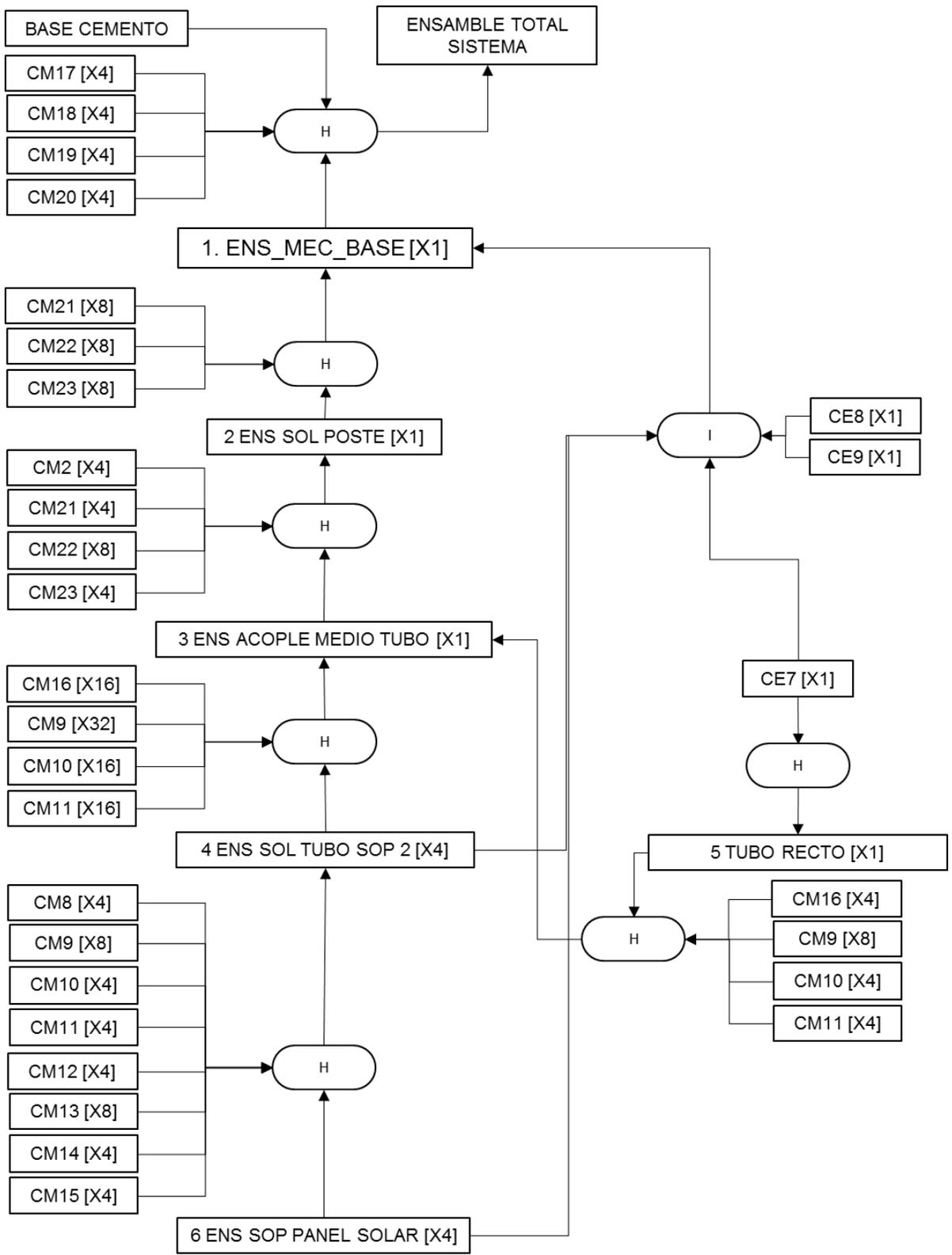
#### 11.2.4 Diagrama De Ensamble Y Procesos

Luego de listar los componentes eléctricos estándar (Tabla 10), componentes mecánicos estándar (Tabla 11) y componentes manufacturados (Tabla 12), se describe el sistema completo por medio de un diagrama de ensamble y procesos total (Figura 20) y cada Subensambles (Anexo 13), las secuencias lógicas y de procesos de ensamble necesarios para integrar todos los elementos anteriormente dichos, de forma tal que se optimice los recursos y tiempos de ensamble, así como para evitar reprocesos por el inadecuado ensamble de las diferentes partes y componentes que conforman el sistema completo.

La nomenclatura para simplificar el diagrama de ensamble y procesos se especifica en las tablas 10, 11,12 y 13

<b>Nomenclatura</b>	<b>Proceso</b>
A	Corte
B	Punzonado
C	Doble
D	Perforado
E	Rolado
F	Pintura
G	Soldadura
H	Ensamble Mecánico
I	Ensamble Eléctrico
J	Sellado Con Silicona

**Tabla 13. Tabla de nomenclatura de Procesos**



**Figura 20. Diagrama de Ensamble y Procesos Total del Sistema.**

### 11.3 CÁLCULOS ESTRUCTURALES

Luego del proceso de selección de alternativas, donde se definió la alternativa final a desarrollar en la fase de diseño de detalle, se comenzó a detallar y dimensionar en software CAD, cada una de las piezas y ensambles necesarios para la fabricación de un prototipo funcional, ya que hasta esa fase de diseño, sólo se tenía una representación general de lo que se deseaba como producto final.

Posterior a obtener un primer modelo CAD, donde se desarrolló en detalle cada uno de los aspectos técnicos para la construcción del primer modelo, se verificó a través de software de ingeniería asistida por computador (CAE) la resistencia mecánica de los componentes más críticos. Los componentes críticos que se evaluaron a través de análisis estático fueron:

- Presión del aire en panel solar
- Poste del panel solar
- Poste de la turbina Eólica
- Acople medio de los postes del panel solar y Eólica
- Poste principal
- Base principal

La importancia de realizar este proceso de cálculos estructurales en CAE, radicó principalmente en verificar las condiciones de seguridad del sistema y su comportamiento según las cargas identificadas en el diagrama de cuerpo libre (Figura 21). Así, el modelo inicial CAD se ajustó según las diferentes iteraciones de simulación que se realizaron, las cuales en algunos casos se ajustó para cumplir el factor de seguridad seleccionado, o en otros casos se ajustó para optimizar el modelo de piezas sobre estructuradas.

Luego de iterar y ajustar, geometrías, espesores, cantidad de elementos de sujeción, áreas de contacto, etc, se obtuvo una versión final de modelo CAD, la cual es el modelo confiable para ser fabricado.

Para validar y verificar el comportamiento mecánico de las piezas y ensambles críticos, se analizó y comparó 3 factores:

- Factor de seguridad mayor a 2 y menor a 5
- Esfuerzo de fluencia Máximo versus esfuerzo de fluencia máximo del material.
- Desplazamiento máximo del componente, el cual no representara grandes cambios en la geometría según la pieza.

A continuación se registran los cálculos estructurales realizados a cada una de las partes y ensambles identificados como críticos, además de sus condiciones de carga y de materiales seleccionados. En cada uno de los resultados expuestos también se especifica el anexo del informe detallado de la simulación realizada en software CAD.

#### 11.3.1 Diagrama Cuerpo Libre

El diagrama de cuerpo libre que sirvió de base para la construcción de los diferentes modelos de simulación de análisis de elementos finitos (FEA), se muestra en la Figura 21. Además de los valores y condiciones de carga y materiales seleccionados en estos, los cuales se especifican en la Tabla 14.

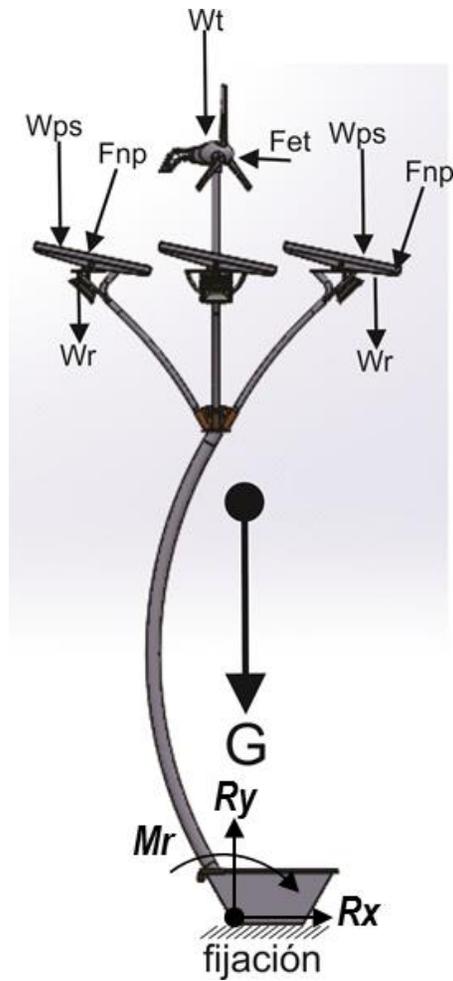


Figura 21. Diagrama de cuerpo libre

Donde:

Descripción	Nombre variable	Valor	Observación
Velocidad del viento	Vv	33.3 m/s (120Km/h)	
Angulo panel con respecto a la horizontal	N/A	12°	
Área Panel	N/A	1.29 mt <sup>2</sup>	
Presión Atmosférica	N/A	101325pa (1 ATM)	
Temperatura ambiente	N/A	293.2°K (20°C)	
Fuerza normal panel	Fnp	72,26N	
Peso panel Solar	Wps	158N (15.8 kg)	
Peso reflector	Wr	23N (2.3kg)	
Gravedad	G	9.81 mt/seg <sup>2</sup>	Para considerar peso de todos los componentes
Material de los elementos: AISI 1015 (acero estirado en frío)	N/A	Límite elástico: 325MPA	

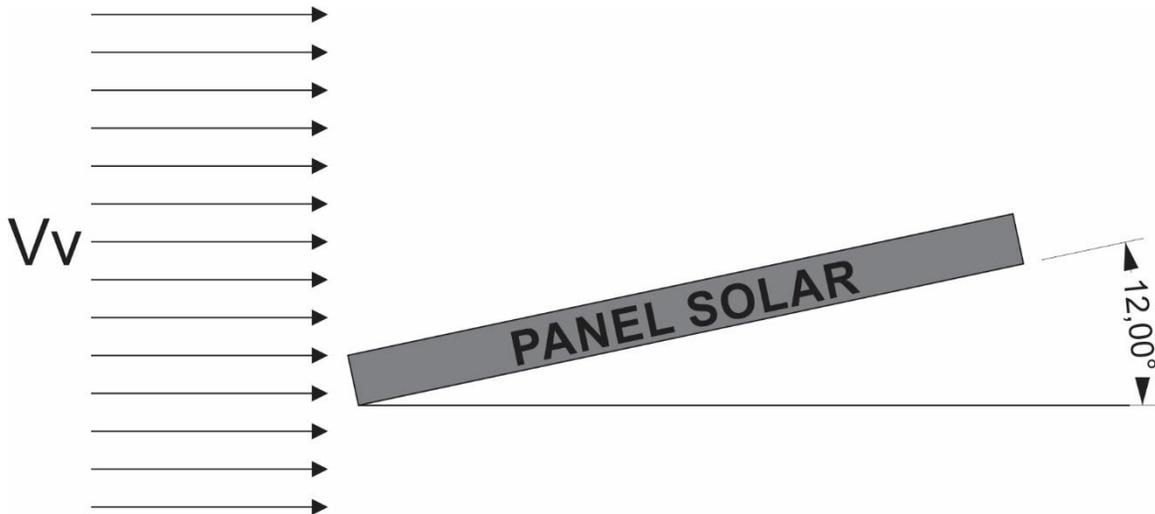
Descripción	Nombre variable	Valor	Observación
Fuerza empuje turbina	Fet	230N	Tomada de manual de usuario especificada a 140Km/h
Peso Turbina	Wt	59N (5.9kg)	Tomada de manual de usuario

**Tabla 14. Descripción Variable y Condiciones de Cálculo.**

Luego de especificar las condiciones iniciales establecidas por el diagrama de cuerpo libre y especificar el material de cada una de las partes, se configuró los diferentes modelos de simulación que a continuación se exponen.

### 11.3.2 Cálculo Presión Aire En Panel Solar

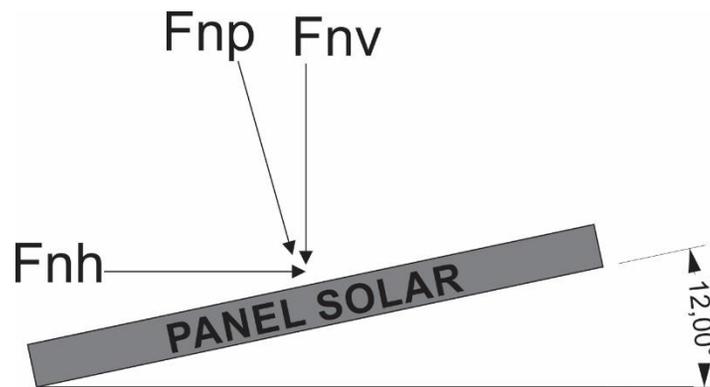
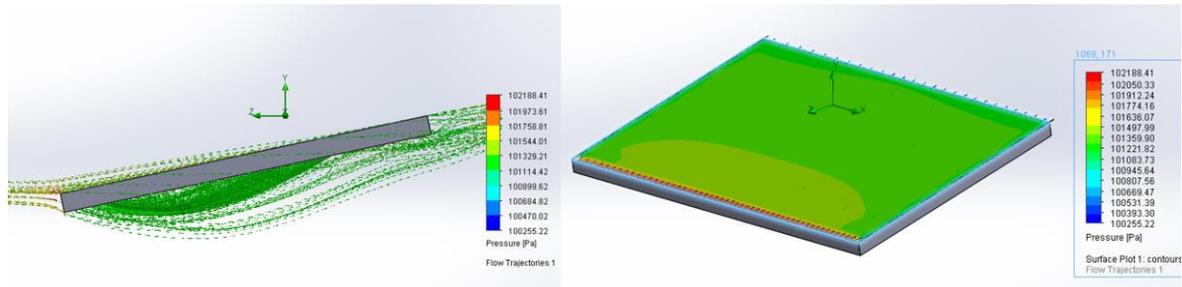
#### Condiciones



**Figura 22. Condiciones Cálculo Presión Aire en Panel Solar**

## Resultados

(Anexos 18/simulación FEA/ REPORTE PRESION AIRE EN PANEL SOLAR)



**Figura 23. Resultados Cálculo Presión Aire en Panel Solar**

Descripción	Nombre variable	Valor
Fuerza normal panel	Fnp	72,26N
Fuerza panel horizontal	Fph	14N
Fuerza panel Vertical	Fpv	70,6N

**Tabla 15. Resultados Cálculo Presión Aire en Panel Solar**

### 11.3.3 Cálculo Poste Panel Solar

#### Carga Frontal Presión De Aire

- Condiciones

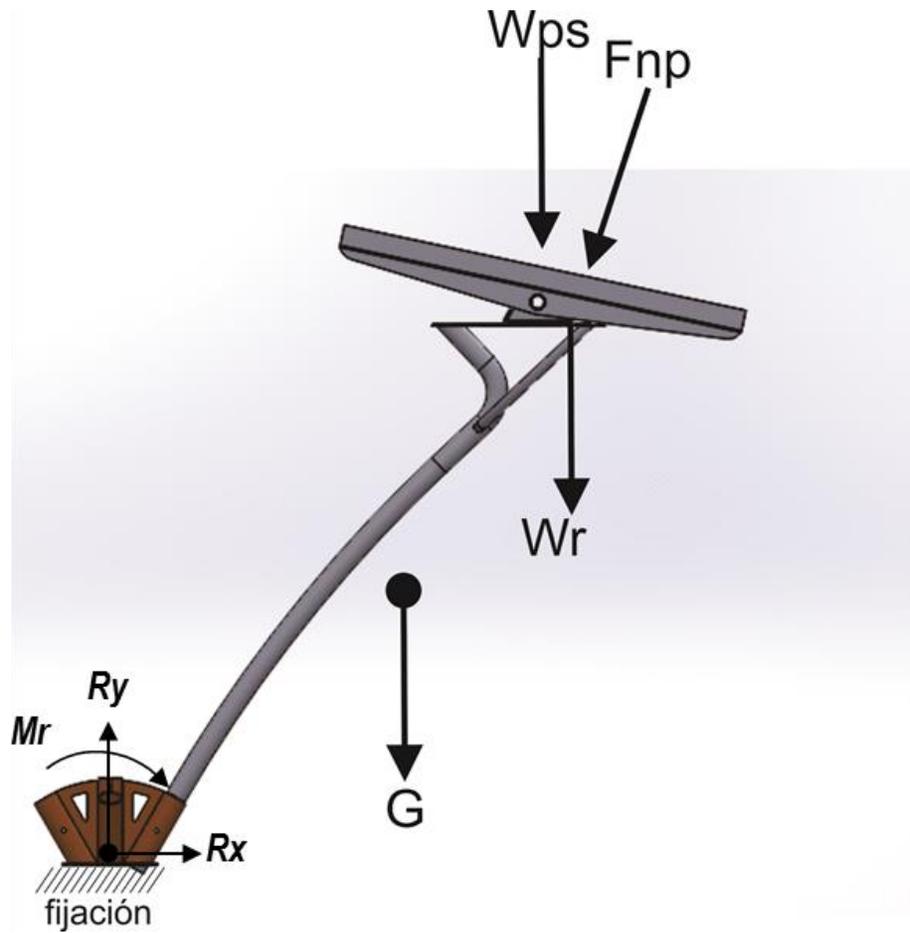
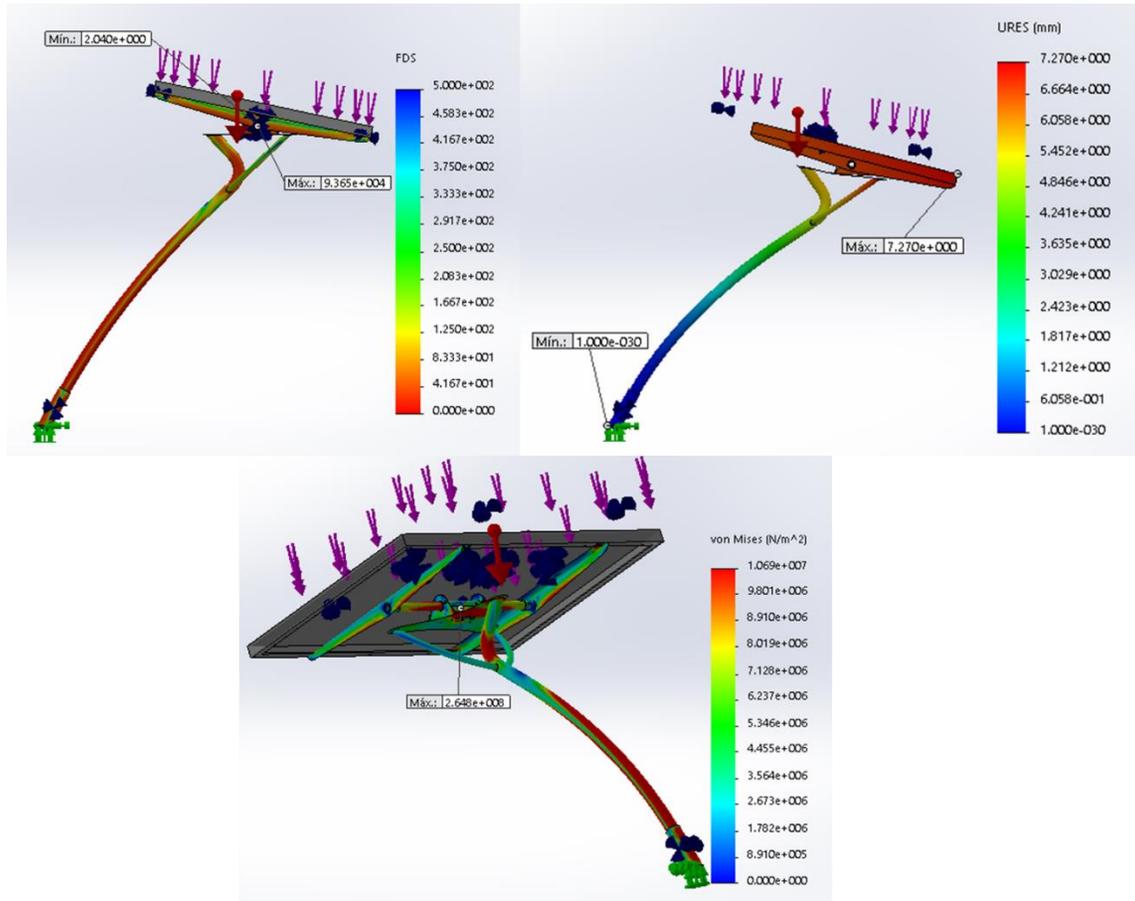


Figura 24. Condiciones de Cálculo Poste Panel Solar (Carga Frontal Presión Aire)

- Resultados

(Anexos 18/simulación FEA/ REPORTE CÁLCULO PRESION AIRE EN PANEL SOLAR (PRESION AIRE FRONTAL))



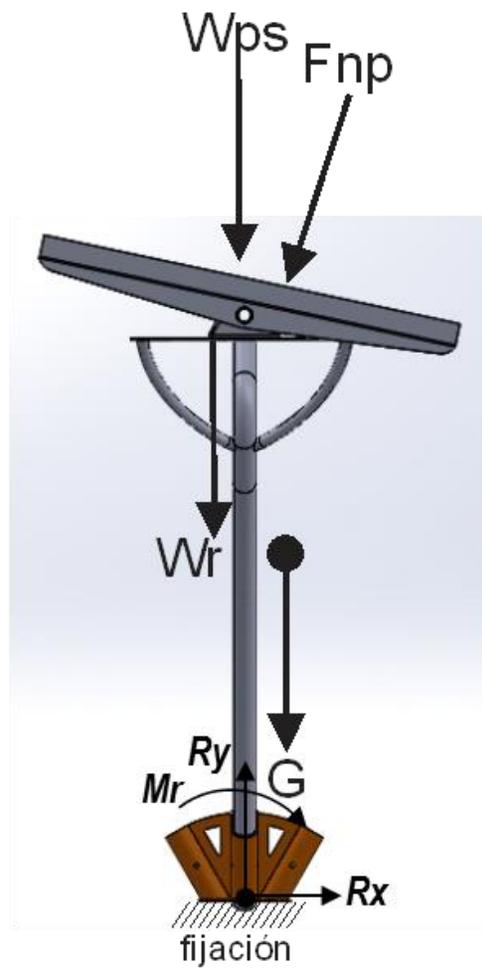
**Figura 25. Resultados Cálculo Poste Panel Solar (Carga Frontal Presión Aire)**

Descripción	Valor	Observación
Factor de seguridad mínimo	2	Por limite elástico Criterio tensión normal máxima
Esfuerzo de fluencia Máximo	264MPA	Tensión de Von Mises
Desplazamiento máximo	7.2mm	

**Tabla 16. Resultados Cálculo Poste Panel Solar (Carga Frontal Presión Aire)**

## Carga Lateral Presión De Aire

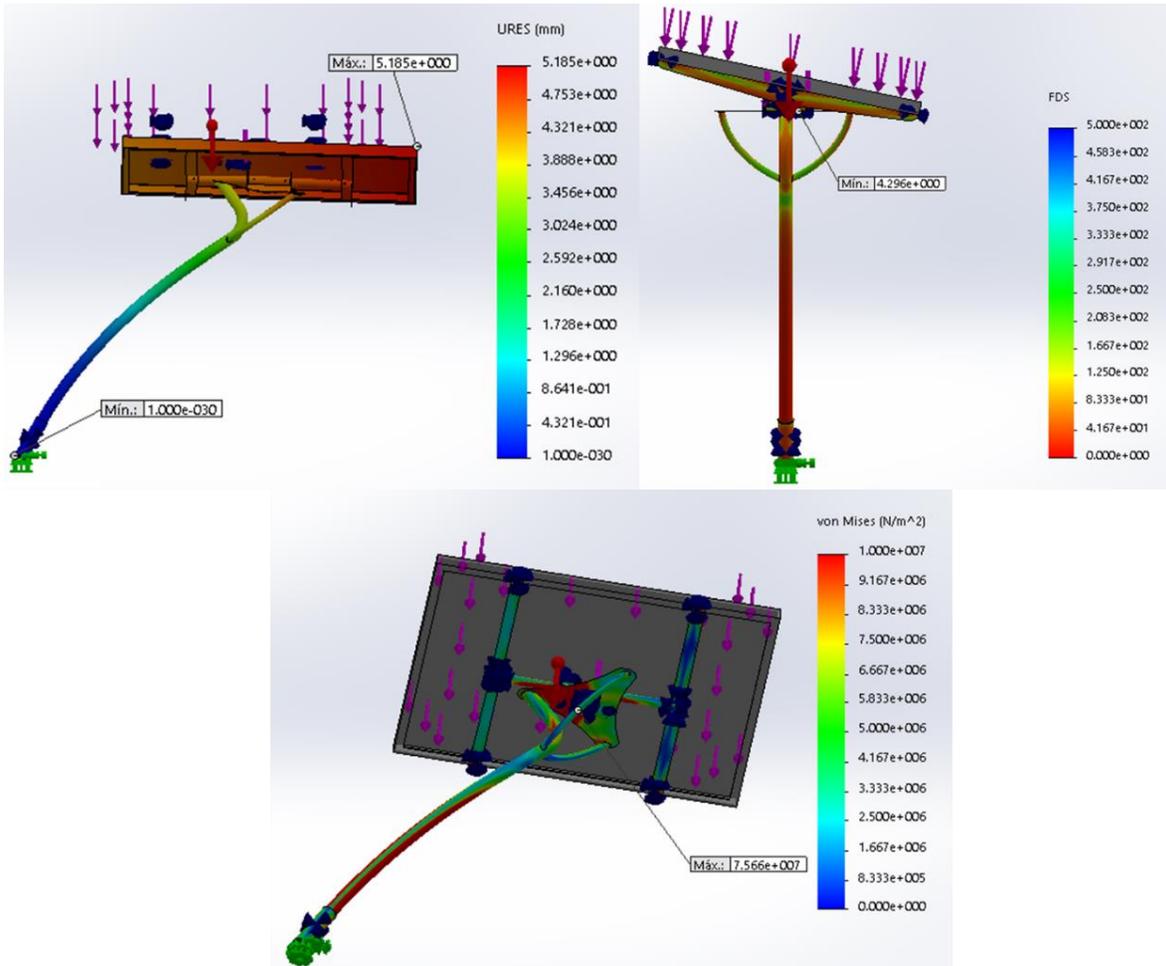
- Condiciones



**Figura 26. Condiciones Cálculo Poste Panel Solar (Carga Lateral Presión Aire)**

- Resultados

(Anexos 18/simulación FEA/ REPORTE CÁLCULO PRESION AIRE EN PANEL SOLAR (PRESION AIRE LATERAL))



**Figura 27. Resultados Cálculo Poste Panel Solar (Carga Lateral Presión Aire)**

Descripción	Valor	Observación
Factor de seguridad mínimo	4.2	Por limite elástico Criterio tensión normal máxima
Esfuerzo de fluencia Máximo	75MPA	Tensión de Von Mises
Desplazamiento máximo	5.18mm	

**Tabla 17. Resultados Cálculo Poste Panel Solar (Carga Lateral Presión Aire)**

### 11.3.4 Cálculo Poste Turbina

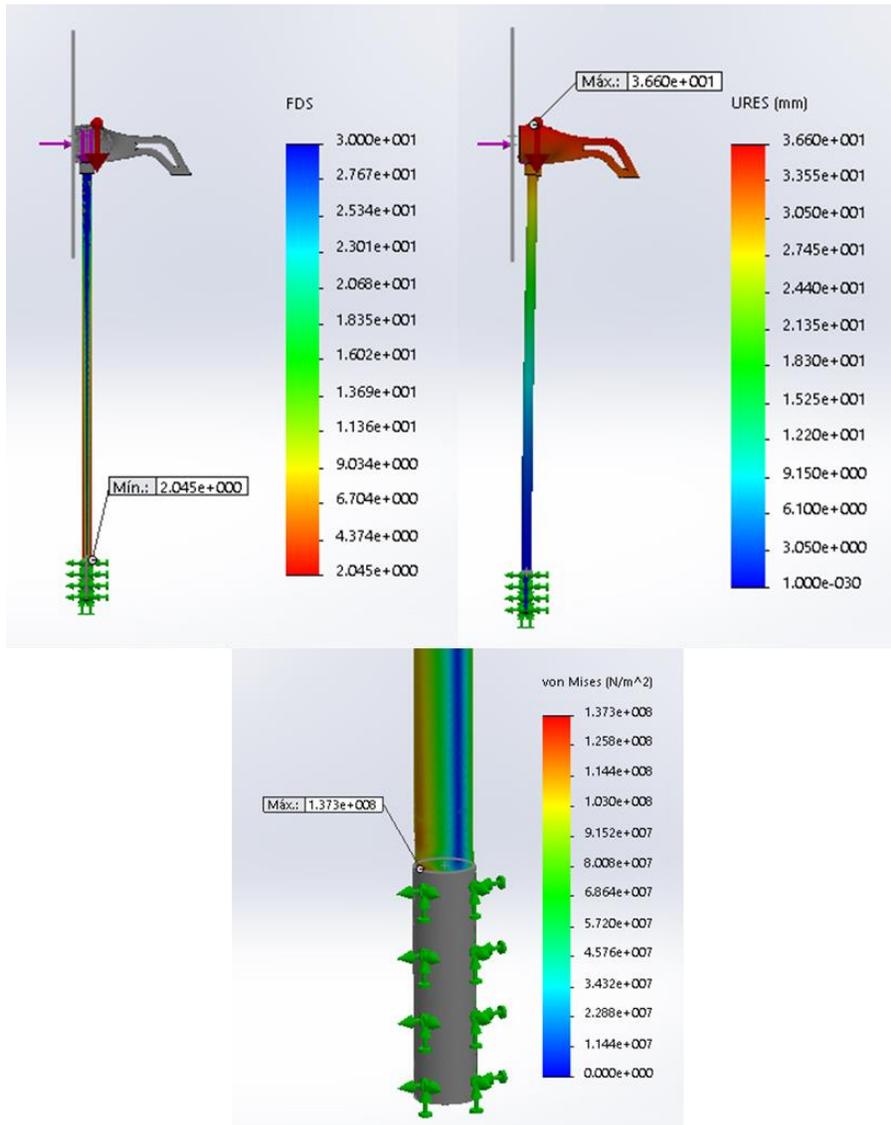
#### Condiciones



Figura 28. Condiciones Cálculo Poste Turbina

## Resultados

(Anexos 18/simulación FEA/ REPORTE CÁLCULO POSTE TURBINA)



**Figura 29. Resultados Cálculo Poste Turbina**

Descripción	Valor	Observación
Factor de seguridad mínimo	2	Por limite elástico Criterio tensión normal máxima
Esfuerzo de fluencia Máximo	137MPA	Tensión de Von Mises
Desplazamiento máximo	36mm	

**Tabla 18. Resultados Cálculo Poste Turbina**

### 11.3.5 Cálculo Estructural Acople Medio Panel Solar Y Eólica

Condiciones

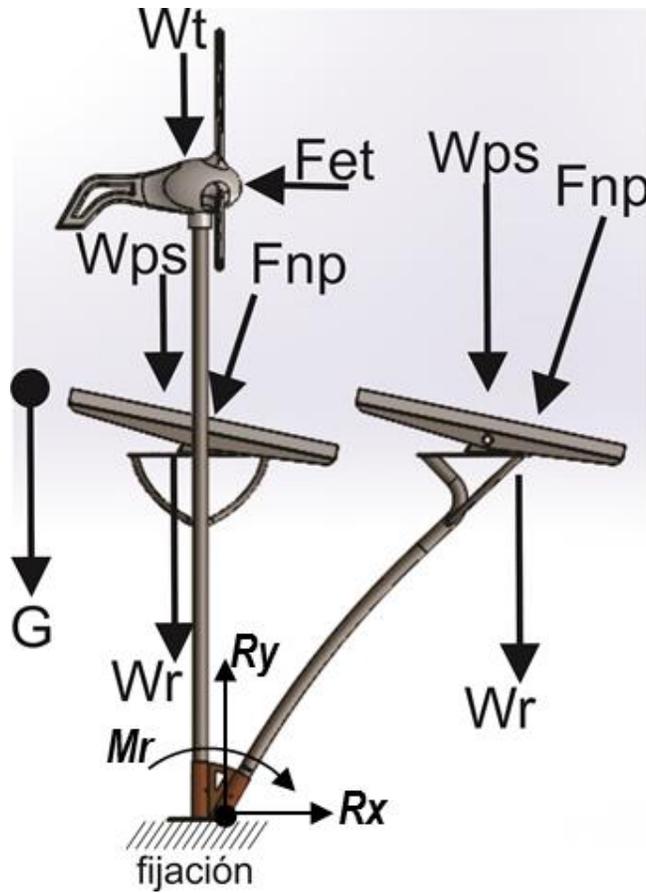
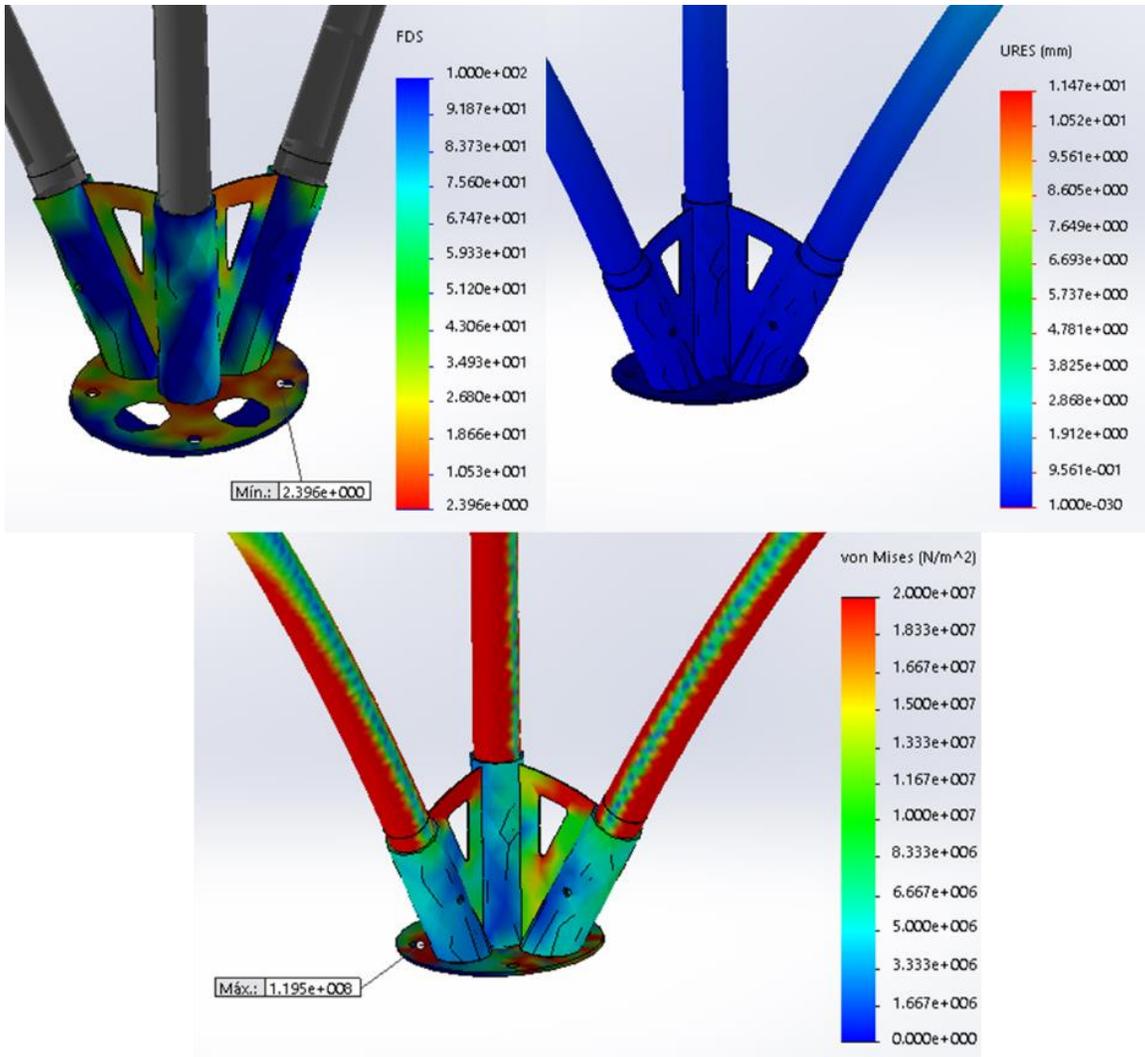


Figura 30. Condiciones Cálculo Estructural Acople Medio.

### Resultados

(Anexos 18/simulación FEA/ REPORTE CÁLCULO ESTRUCTURAL ACOPLE MEDIO)



**Figura 31. Resultados Cálculo Estructural Acople Medio.**

Descripción	Valor	Observación
Factor de seguridad mínimo	2.4	Por limite elástico Criterio tensión normal máxima
Esfuerzo de fluencia Máximo	119MPA	Tensión de Von Mises
Desplazamiento máximo	11.4mm	

**Tabla 19. Resultados Cálculo Estructural Acople Medio.**

11.3.6 Cálculo Estructural Poste Principal  
Condiciones

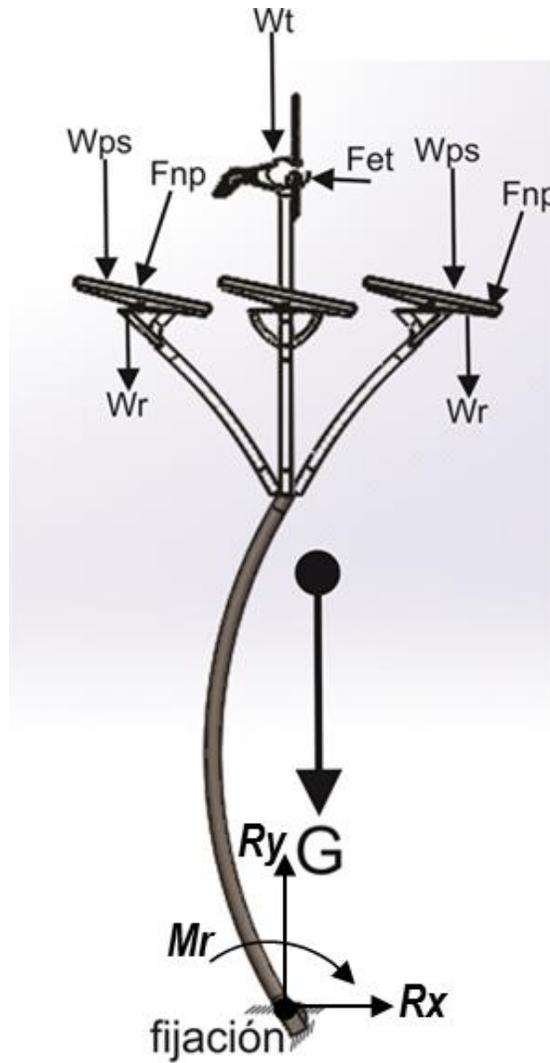
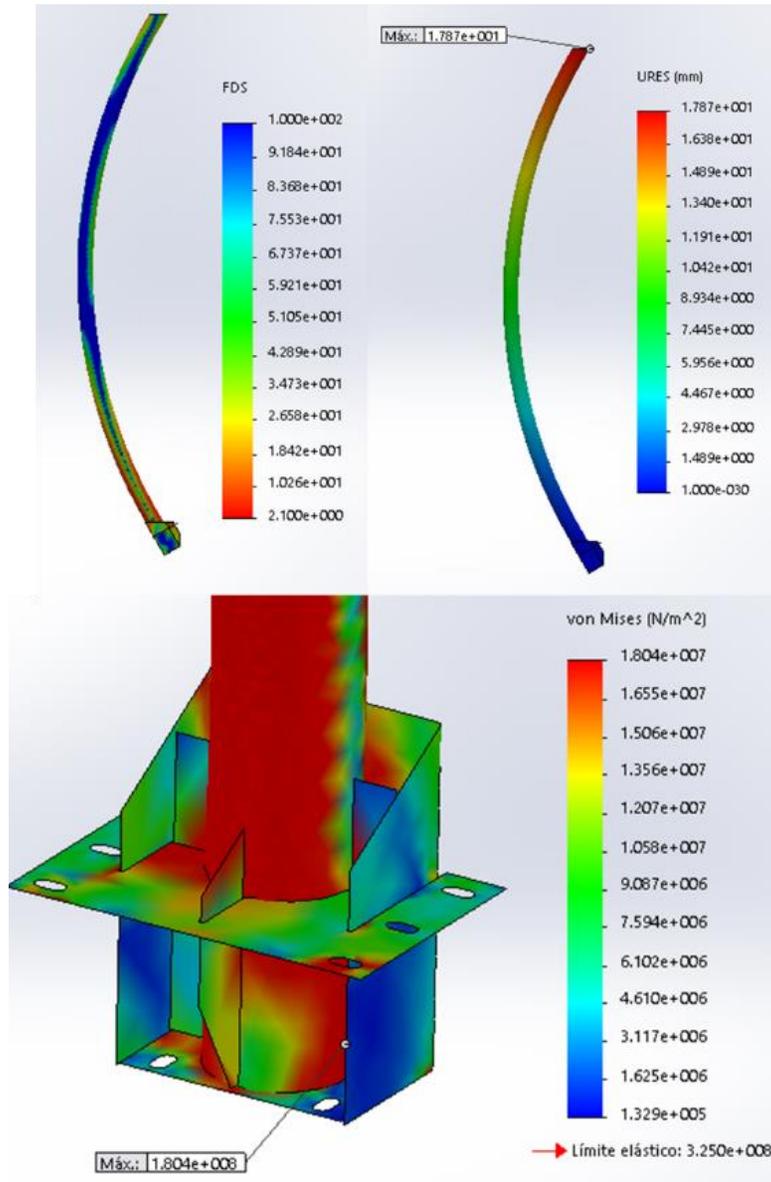


Figura 32. Condiciones Cálculo Estructural Poste Principal.

## Resultados

(Anexos 18/simulación FEA/ REPORTE CÁLCULO ESTRUCTURAL POSTE PRINCIPAL)



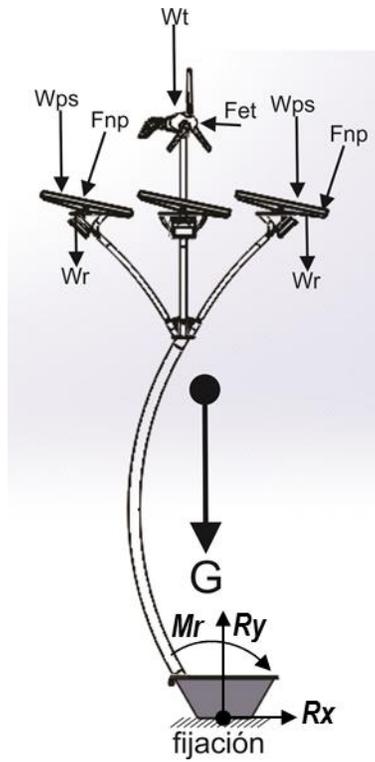
**Figura 33. Resultados Cálculo Estructural Poste Principal.**

Descripción	Valor	Observación
Factor de seguridad mínimo	2.1	Por limite elástico Criterio tensión normal máxima
Esfuerzo de fluencia Máximo	180MPA	Tensión de Von Mises
Desplazamiento máximo	17.9mm	

**Tabla 20. Resultados Cálculo estructural poste principal.**

### 11.3.7 Cálculo Estructural Base

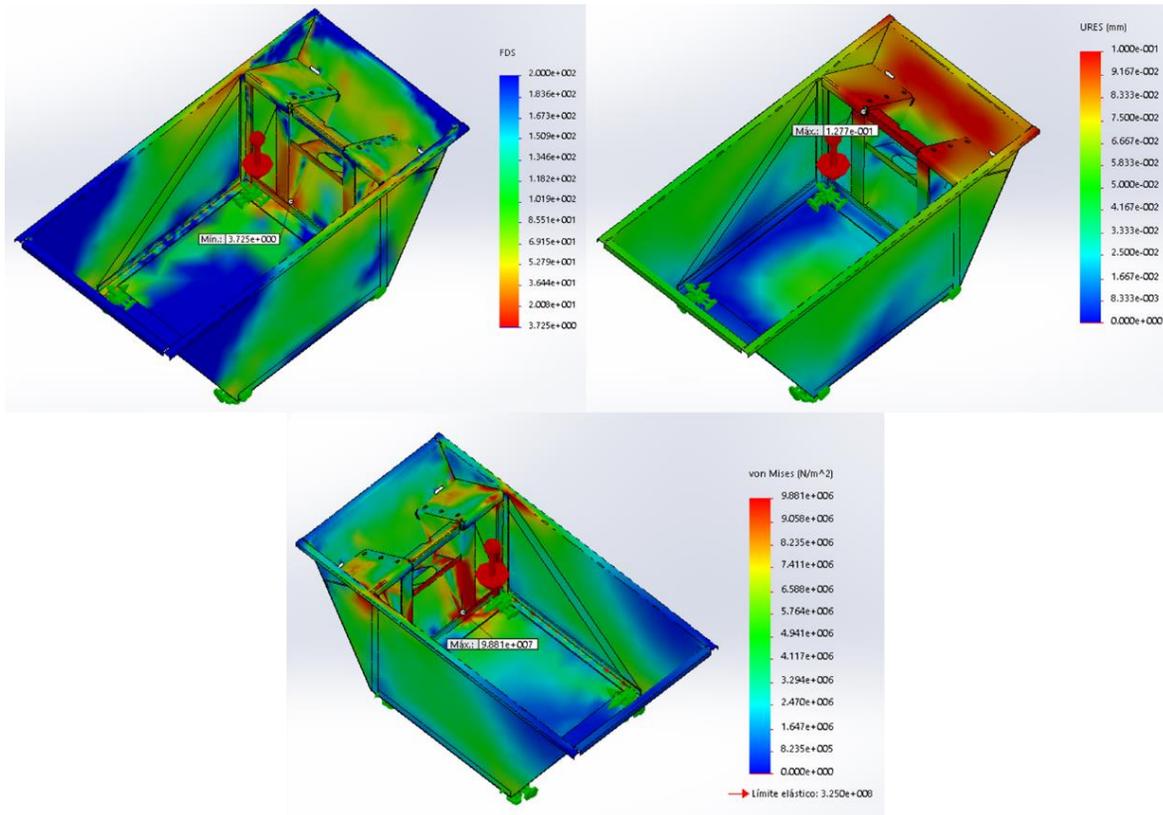
#### Condiciones



**Figura 34. Condiciones Cálculo Estructural Base**

## Resultados

(Anexos 18/simulación FEA/ REPORTE CÁLCULO ESTRUCTURAL BASE)



**Figura 35. Resultados Cálculo Estructural Base.**

Descripción	Valor	Observación
Factor de seguridad mínimo	3.7	Por limite elástico Criterio tensión normal máxima
Esfuerzo de fluencia Máximo	99MPA	Tensión de Von Mises
Desplazamiento máximo	0.1 mm	

**Tabla 21. Resultados Cálculo estructural base.**

## 11.4 COSTOS

La Tabla 22, presenta los costos proyectados para la fabricación de un prototipo funcional, teniendo en cuenta procesos de manufactura, de ensamble y materiales eléctricos y mecánicos para su puesta en marcha e instalación in situ.

Ítem	Cant.	Costo Unidad	Costo Total	Proveedor	Observación
Batería AGM 12VDC-205AH MTEK MT122050	2	\$ 1.169.100	\$ 2.338.200	Hybrytec	
Panel solar 24v 100W policristalino	4	\$ 310.000	\$ 1.240.000	Hybrytec	
Controlador 40A hybrid	1	\$ 900.000	\$ 900.000	GuangDong Butterfly Technology Co	Debido a la poca oferta de proveedores nacionales Se selecciona uno ofertado en la WEB.
Inversor onda pura m 24V 350W	1	\$ 770.000	\$ 770.000	Ambientes y soluciones	
Reflector 30W	2	\$ 500.000	\$ 1.000.000	Ambientes y soluciones	
Turbina horizontal 200W	1	\$ 3.572.000	\$ 3.572.000	Ambientes y soluciones	
Componentes instalación eléctrica	1	\$ 650.000	\$ 650.000	Proelectrico	Incluye terminales, correas de amarre, cubre cable en espiral y otros elementos necesarios para una correcta instalación eléctrica calculado según corriente máxima del sistema (29A)
Fabricación y ensamble de componentes metalmecánicos componentes	1	\$ 6.500.000	\$ 6.500.000	Metálicas Leguz	
Servicios de instalación in Situ y puesta en marcha	1	\$ 3.000.000	\$ 3.000.000	ERCO	
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>\$ 19.970.200</b>		

**Tabla 22. Proyección de Costos Modelo Funcional.**

El costo proyectado para la fabricación de un prototipo funcional es de \$19.970.200. Con este se pretende fabricar e instalar un primer modelo de prueba para su puesta en marcha y validación, así a través del análisis del comportamiento de este, poder tomar decisiones técnicas y de mercado para su implementación.

La proyección de los costos se construyó según la información recopilada en el ANEXO 17/ PROYECCION DE COSTOS MODELO FUNCIONAL.

## 11.5 AMORTIZACION DEL SISTEMA ELECTRICO

Un aspecto importante para establecer la viabilidad económica del sistema propuesto y estudiar la factibilidad de futuras inversiones, consta en calcular en cuanto tiempo se recupera el capital invertido y desde qué punto comienza el sistema a representar un beneficio económico.

Este estudio de amortización, compara el capital invertido en el sistema de generación de energía alternativa en contraste con el costo generado en el tiempo de la energía eléctrica de la red tradicional.

Se debe aclarar que para este estudio, no se compara sistemas semejantes a las dos alternativas posibles de generación de energía eléctrica, o sea a partir de sistemas de energías alternativas o a partir de la red eléctrica tradicional, como es el caso del sistema de iluminación o la estructura soporte de todo el conjunto, debido a que estos costos son similares en cualquiera de los dos casos (Jose D, 2013)

Cuantitativamente el tiempo en que retorna la inversión se calcula como se muestra en la Ecuación 6

$$Ta = \frac{Cse}{Cee * Egs}$$

### ***Ecuación 6. Amortización del Sistema Eléctrico***

Donde:

*Ta = Tiempo amortización del sistema [Años]*

*Cse = Costo sistema eléctrico energía alternativa [\$]*

*Cee = Costo energía red eléctrica [\$/kWh]*

*Egs = Energía generada sistema en un año [kWh/año]*

Para el caso de estudio de la alternativa de configuración 1 de la Tabla 9, tenemos:

- El costo de la inversión del sistema de generación eléctrica a partir de energías alternativas, excluyendo los demás sistemas a partir de la Tabla 23 es de:

$$Cse = \$8.820.200$$

- La tarifa promedio de energía de la red eléctrica para el 2016 para áreas comunes fue alrededor de (EPM, 2016):

$$Cee = 550\$/kWh$$

- Para una generación de energía eléctrica diaria de 1,968 kWh/día la generación en un año será de:

$$Egs = 718,3kWh/año$$

Remplazando estos valores en la Ecuación 6, tenemos:

$$Ta = \frac{\$8.820.200}{550\$/kWh * 718,3kWh/año}$$

$$Ta = 22.3 \text{ Años}$$

Así, el cálculo de tiempo de amortización para el resto de configuraciones se presenta en la Tabla 9.

CONFIGURACION	ELEMENTOS SISTEMA GENERACIÓN ELECTRICA	CANTIDAD ELEMENTOS [Und]	COSTO UNIDAD ELEMENTO [\$]	COSTO TOTAL ELEMENTO [\$]	COSTO SISTEMA ELECTRICO ENERGIA ALTERNATIVA [\$]	COSTO ENERGIA RED ELECTRICA [\$/KWH]	ENERGIA GENERADA SISTEMA EN UN DIA [KWH/DIA]	ENERGIA GENERADA SISTEMA EN UN AÑO [KWH/AÑO]	TIEMPO AMORTIZACION DEL SISTEMA [AÑOS]
Config. 1: sistema Completo	paneles solares (100Wp)	4	310.000	1.240.000	8.820.200	550	1,968	718,3	22,3
	turbina eólica (200W)	1	3.572.000	3.572.000					
	batería (205Ah)	2	1.169.100	2.338.200					
	Controlador (40A)	1	900.000	900.000					
	Inversor (350W)	1	770.000	770.000					
Config. 2: base Incrustada al suelo	paneles solares (100Wp)	4	310.000	1.240.000	8.820.200		1,968	718,3	22,3
	turbina eólica (200W)	1	3.572.000	3.572.000					
	batería (205Ah)	2	1.169.100	2.338.200					

CONFIGURACION	ELEMENTOS SISTEMA GENERACIÓN ELECTRICIA	CANTIDAD ELEMENTOS [Und]	COSTO UNIDAD ELEMENTO [\$]	COSTO TOTAL ELEMENTO [\$]	COSTO SISTEMA ELECTRICO ENERGIA ALTERNATIVA [\$]	COSTO ENERGIA RED ELECTRICA [\$/KWH]	ENERGIA GENERADA SISTEMA EN UN DIA [KWH/DIA]	ENERGIA GENERADA SISTEMA EN UN AÑO [KWH/AÑO]	TIEMPO AMORTIZACION DEL SISTEMA [AÑOS]
	Controlador (40A)	1	900.000	900.000					
	Inversor (350W)	1	770.000	770.000					
Config. 3: Sistema completo sin turbina eólica	paneles solares (175wp)	4	500.000	2.000.000	6.008.200		1,968	718,3	15,2
	batería (205Ah)	2	1.169.100	2.338.200					
	Controlador (40A)	1	900.000	900.000					
	Inversor (350W)	1	770.000	770.000					
Config. 4: dos iluminaciones con turbina eólica	paneles solares (175wp)	2	500.000	1.000.000	8.580.200		1,968	718,3	21,7
	turbina eólica (200w)	1	3.572.000	3.572.000					
	batería (205Ah)	2	1.169.100	2.338.200					
	Controlador (40A)	1	900.000	900.000					
	Inversor (350W)	1	770.000	770.000					
Config. 5: dos iluminaciones	paneles solares (150Wp)	2	500.000	1.000.000	1.726.200		0,768	280,3	11,2
	batería (75Ah)	1	500.200	500.200					

CONFIGURACION	ELEMENTOS SISTEMA GENERACIÓN ELECTRICA	CANTIDAD ELEMENTOS [Und]	COSTO UNIDAD ELEMENTO [\$]	COSTO TOTAL ELEMENTO [\$]	COSTO SISTEMA ELECTRICO ENERGIA ALTERNATIVA [\$]	COSTO ENERGIA RED ELECTRICA [\$/KWH]	ENERGIA GENERADA SISTEMA EN UN DIA [KWH/DIA]	ENERGIA GENERADA SISTEMA EN UN AÑO [KWH/AÑO]	TIEMPO AMORTIZACION DEL SISTEMA [AÑOS]
	Controlador (20A)	1	120.000	120.000					
	Inversor (150W)	1	106.000	106.000					
Config. 6: una Iluminación	panel solar (150Wp)	1	500.000	500.000	976.000		0,408	148,9	11,9
	batería (35Ah)	1	250.000	250.000					
	Controlador (20A)	1	120.000	120.000					
	Inversor (150W)	1	106.000	106.000					

**Tabla 23. Tiempo Amortización Configuraciones Sistema Generación Eléctrica**

El análisis de tiempo de amortización del sistema eléctrico desarrollado en la Tabla 23, muestra que para la configuración 1 y 2, el tiempo de amortización es de 22,3 años, la configuración 3 de 15,2 años, la 4 de 21,7 años, la 5 con 11,2 años y la 6 con 11.9 años.

Para el tiempo de vida útil planteada para el sistema de 15 años, las opciones 1, 2, 3 y 4 no generarían beneficios económicos desde el punto de vista de generación eléctrica, mientras que para las configuraciones 5 y 6, el sistema comenzaría a dar beneficios después de los 12 años.

Para sistemas de baja generación de energía eléctrica a partir de fuentes alternativas, generalmente se establecen entre 5 y 8 años, para que el sistema sea rentable y la inversión retorne ganancias (Jose D, 2013), por ello se debe bajar los costos de generación de energía por medio de un modelo de producción a escala y descuentos con proveedores, donde los tiempos de amortización disminuyan y así hacer más atractiva la inversión, o por el contrario dar prioridad a el beneficio social que representaría este tipo de soluciones a estas comunidades no interconectadas a la red eléctrica.

Las configuraciones 1, 2, 3 y 4 tienen la misma capacidad de generación de energía eléctrica (1968Wh/día), con la diferencia en que la configuración 3 excluye la turbina eólica y sólo depende de paneles solares para su generación. Esta configuración es la que mejor tiempo de amortización representa a diferencia de las que utilizan turbinas eólicas, por lo que es más viable la implementación de esta, esto debido a que actualmente en el país, el costo de las turbinas eólicas es elevado en comparación al de los paneles solares, lo que representa un mayor tiempo de retorno de la inversión.

Para lograr alcanzar un costo de retorno de la inversión favorable en un tiempo de amortización conservador de 8 años para el sistema propuesto, se debe lograr disminuir estos costos, ya sea a partir de estrategias comerciales o la búsqueda de precios más competitivos en el mercado y a mayor escala, ya que los costos calculados anteriormente son establecidos para el costo del prototipo y están proyectados por unidad.

Si despejamos de la Ecuación 6, el costo del sistema eléctrico de la energía alternativa (Cse), establecemos un valor de 8 años para el tiempo amortización del sistema (Ta) y conservamos los mismos valores establecidos anteriormente para el costo de energía de la red eléctrica (Cee) y la energía generada del sistema en un año (Egs); obtenemos la siguiente ecuación:

$$Cse = Ta * Cee * Egs$$

#### **Ecuación 7. Calculo Costo Sistema Generación Eléctrica**

Remplazando estos valores para cada una de las configuraciones posibles del sistema, se obtiene el costo del sistema de generación eléctrica deseable para cada una y el porcentaje en que se debe disminuir el costo inicial proyectado para alcanzar un tiempo de amortización de 8 años. La Tabla 24, muestra los resultados obtenidos para cada una de las configuraciones.

CONFIGURACION	COSTO INICIAL PROYECTADO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN [\$]	AÑOS DE AMORTIZACIÓN [AÑOS]	COSTO ENERGÍA RED ELÉCTRICA [\$/KWH]	ENERGÍA GENERADA SISTEMA EN UN AÑO [KWH/AÑO]	COSTO DESEABLE DEL SISTEMA DE GENERACIÓN [COSTO]	PORCENTAJE DE DISMINUCIÓN DEL COSTO PROYECTADO VS DESEABLE [%]
Configuración 1: sistema Completo	8.820.200	8	550	718,3	3.160.608	64
Configuración 2: base Incrustada al suelo	8.820.200			718,3		

CONFIGURACION	COSTO INICIAL PROYECTADO DEL SISTEMA DE GENERACION [\$]	AÑOS DE AMORTIZACION [AÑOS]	COSTO ENERGÍA RED ELÉCTRICA [\$/KWH]	ENERGÍA GENERADA SISTEMA EN UN AÑO [KWH/AÑO]	COSTO DESEABLE DEL SISTEMA DE GENERACION [COSTO]	PORCENTAJE DE DISMINUCIÓN DEL COSTO PROYECTADO VS DESEABLE [%]
Configuración 3: Sistema completo sin turbina eólica	6.008.200			718,3	3.160.608	47
Configuración 4: dos iluminaciones con turbina eólica	8.580.200			718,3	3.160.608	63
Configuración 5: dos iluminaciones	1.726.200			280,3	1.233.408	29
Configuración 6: una Iluminación	976.000			148,9	655.248	33

**Tabla 24. Proyección Costo Deseado Sistema Generación Eléctrica.**

Para los porcentajes de disminución de costo del sistema de generación eléctrica a partir de energías renovables, las configuraciones que poseen para su funcionamiento turbina eólica (configuración 1, 2 y 4) deben disminuir más del 60% para alcanzar el tiempo de amortización deseado, lo que comercialmente es difícil de alcanzar actualmente, debido a la poca oferta de turbinas eólicas en el país.

Por otro lado, las alternativas que solo dependen de paneles solares para su funcionamiento (configuración 3,5 y 6) tienen un porcentaje de disminución del costo del 47, 29 y 33% respectivamente, siendo una mejor opción para implementar, buscando mejores descuentos o alternativas para alcanzar el tiempo de retorno deseado.

## 12 CONCLUSIONES

- El estudio realizado en la literatura, proyectos relacionados y oferta comercial de las diferentes tecnologías de captación de energías renovables y de alumbrado público autosostenible, permitió identificar y seleccionar la mejor alternativa de generación de energía para ser implementada en el producto final. En este se identificó el potencial del país en disponibilidad de energía solar, pero al mismo tiempo la poca disponibilidad de energía eólica debido a la topografía. Desde este aspecto se seleccionó el uso de paneles solares policristalinos para la captación de energía solar y turbinas eólicas de eje horizontal para la captación de energía eólica.

Por otro lado en el análisis del sector comercial y proyectos desarrollados relacionados a alumbrado público autosostenible, se identificó dos tipos de soluciones, una enfocada a dar soluciones comerciales que compiten en el mercado por costo y producción, pero sin un alto grado de innovación o valor agregado y por otro lado al desarrollo de proyectos de investigación donde se pretende lo contrario, buscar soluciones de impacto, valor agregado e innovación con productos que interactúen con el entorno y las personas y den solución a otro tipo de necesidades como el uso de internet, señalización o mobiliario.

- Para el desarrollo y diseño del producto desde la parte técnica, la aplicación de la normativa vigente en RETILAP y RETIE y el estudio de mercado desde un aspecto técnico, sirvió para el levantamiento de las especificaciones técnicas del producto (PDS), que son los lineamientos a ser plasmados y reflejados en el producto final.

Aunque en el país ya se instalan este tipo de soluciones de alumbrado público, la normativa relacionada aún es abierta y está en construcción, ya que específicamente no se dan muchas especificaciones relacionadas al diseño, configuración e integración de este tipo de tecnologías para la construcción de este tipo de soluciones. Como es el caso de la implementación de Iluminación LED como sistema de iluminación, o el dimensionamiento de sistemas de energía alternativa para el desempeño de estos.

- La metodología propuesta buscó realizar una secuencia de tareas que permitió desde el planteamiento del problema concebir un sistema final viable para su fabricación, luego del estudio realizado en la literatura, proyectos relacionados y oferta comercial relacionada a diferentes tecnologías de captación de energías renovables y de alumbrado público autosostenible. Las fases desarrolladas de diseño conceptual y de generación de alternativas, ayudaron a entender el problema y a clasificar y filtrar toda la información relacionada con el uso de herramientas que dieron pautas desde el aspecto técnico, funcional y formal, para luego ser implementadas en la generación de propuestas de solución.

La propuesta final obtenida en la fase de conceptualización del producto, sirvió como referente para el diseño de detalle, donde se encontró una solución formal

adecuada para el contexto y el usuario final, con buenas prestaciones de desempeño a un costo beneficio aceptable.

- El diseño de detalle, se centró en el desarrollo técnico que permitiera la fabricación de un modelo funcional para ser probado desde su desempeño y relación con el contexto, cliente y usuario. La información generada como; Listas de partes, de componentes eléctricos y mecánicos, diagramas de ensamble, planos de construcción y análisis de elementos finitos. son el resultado final, que permitirá construir de una forma confiable el sistema propuesto.
- El sistema propuesto, gracias a su modularidad, permite configurar el sistema con turbinas eólicas. Esta alternativa de configuración se debe instalar en zonas en la que los vientos promedio sean mayores a 6mt/s, ya que a valores inferiores a esta velocidad, el sistema no es viable económicamente, ya que con otras tecnologías de captación, como el caso de paneles fotovoltaicos, será más eficiente la generación de energía a menor costo.

El país, por su topografía montañosa hace que la energía eólica en el país no sea eficiente en estas zonas, pero en las zonas del llano y las zonas costeras del norte del país, la implementación de sistemas de generación de energía a partir del viento son más viables.

- El costo proyectado para la fabricación del prototipo funcional del sistema completo, es mayor a la oferta comercial de productos en el mercado, esto por dos aspectos, el primero debido a que la configuración costeadada es el sistema completo, el cual posee dos fuentes lumínicas y una captación de energía excedente para su aprovechamiento, mientras que en el mercado se ofrecen sólo con una fuente lumínica y sin generación de energía extra. En segundo lugar, los costos definidos en este trabajo son para la fabricación de un prototipo, mientras que las ofertas en el mercado son producidas en serie, por lo que en economía de escala hace que estos sean a menor costo.

Si el sistema propuesto en este trabajo se configurara en una solución de una sola fuente lumínica, el precio sería similar al de las ofertas comerciales de sistemas en el mercado, ya que la demanda de captación de energía sería menor y los materiales y procesos de construcción serían de menor costo a diferencia de la configuración completa.

- Los tiempos de amortización calculados para el sistema de generación eléctrica a partir de energías alternativas, no están en el rango deseado de 5 a 8 años, esto debido a que los costos de los componentes, en especial el costo de las turbinas eólicas elevan el tiempo de retorno de la inversión, por ello, a la hora de implementar el proyecto a escala industrial se debe disminuir el costo de estos componentes a partir de descuento con proveedores y producción en serie.

- Los costos proyectados para el sistema de generación eléctrica están establecidos para la construcción del prototipo, por lo que estos son más elevados al ser adquiridos por unidades, por ello, la implementación del sistema a escala industrial debe disminuir estos costos iniciales a más del 60% para las configuraciones que requieren turbina eólica para su funcionamiento y una disminución del más del 47% para el caso de las configuraciones que requieren solo paneles solares para su funcionamiento, para así tener un retorno de la inversión en un tiempo de amortización conservador de 8 años.

### 13 RECOMENDACIONES

- Los objetivos planteados en este trabajo, plantean un alcance que va hasta el diseño de detalle y de costos para la construcción de un prototipo funcional, por ello es de importancia continuar con el desarrollo de este proyecto buscando recursos económicos para su implementación y materialización. Así la participación en convocatorias que incentiven este tipo de proyectos serán el paso a seguir para poder hacer que este trabajo sea aplicable y pueda generar impacto en el sector académico, comercial e industrial a partir de su divulgación y apropiación de los resultados obtenidos.
- La propuesta de diseño final desarrollada en este trabajo, es susceptible a mejoras en futuras iteraciones de diseño, donde se puede tomar de base este concepto para mejorar aspectos de costos, transporte, forma, materiales y/o manufactura, para hacer mejoras de producto y generar mayor impacto social, económico y tecnológico.
- Aunque el proyecto está enfocado en dar una solución a una problemática social, debe generarse estrategias económicas que sean atractivas para el cliente inversionista, buscando así disminuir el costo de manufactura y de los componentes del sistema de generación de energía para que así el retorno de la inversión sea lo más rápido posible.
- La creación de un modelo de negocio para la implementación comercial del sistema, debe estar enfocada a dar solución a la problemática planteada. A través de la creación de Spin Off o la asociación con empresas interesadas del sector en implementar este tipo de proyectos de razón social.

## 14 BIBLIOGRAFIA

(s.f.).

Alternative Energy News. (3 de 08 de 2007). *Alternative Energy News*. Obtenido de Alternative Energy News: <http://www.alternative-energy-news.info/hydro-hydraulic-energy-invention/#respond>

Barrazueta, L. V. (2015). *Diseño y Construcción de un Generador eólico de eje vertical Tip savonius para producir 20 Watts*. Quito: Escuela politécnica Nacional.

Bluenergy AG Worldwide. (2014). *Bluenergy AG Worldwide*. Obtenido de Bluenergy AG Worldwide: [www.bluenergy-ag.net/English/products\\_wind.html](http://www.bluenergy-ag.net/English/products_wind.html)

Brenes, N. (2011). *Utilización de energías alternativas ante la ausencia de electricidad*. Panama: Universidad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología .

Buen tutorial. (14 de Mayo de 2014). *Buen tutorial*. Obtenido de <http://www.buentutorial.com/cuantos-paneles-solares-baterias-necesito/>

Castaño, J. H. (05 de 05 de 2015). *Planchas De tendencias*. Medellín, Antioquia, COlombia.

Castaño, J. H. (2016). *Los mapas Perceptuales*. Medellín, Antioquia, Colombia.

Castellin, d. (16 de 01 de 2006). *Monografias*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos31/servicios-publicos/servicios-publicos.shtml>

Centro de estudios en medio ambiente y energías renovables. (2014). *CEMAER*. Obtenido de CEMAER: <http://www.cemaer.org/que-son-las-fotoceldas/>

Consejería de industria, comercio y nuevas tecnologías. (2002). *GUIA TÉCNICA DE APLICACIÓN PARA INSTALACIONES DE ENERGÍAS (INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS)*. Madrid.

Delta Volt. (2015). *Delta Volt*. Obtenido de Delta Volt: <http://deltavolt.pe/energia-renovable/energia-solar/pvpaneles>

Dent, S. (26 de 09 de 2012). *engadget*. Obtenido de engadget: <http://www.engadget.com/2012/09/26/sharp-semi-transparent-solar-panels/>

Dontigney, E. (16 de Febrero de 2014). *Ehow*. Obtenido de [http://www.ehowenespanol.com/acerca-paneles-solares-policristalinos-hechos\\_144687/](http://www.ehowenespanol.com/acerca-paneles-solares-policristalinos-hechos_144687/)

Ecogroup. (2012). *Ecotechnology clean energy*. Obtenido de Ecotechnology clean energy: <http://www.h2ecological.com.co/streetled.html>

Empresa de Energía de Boyaca. (2010). *REGLAMENTO TECNICO DE ILUMINACION Y ALUMBRADO PUBLICO "RETILAP"*. Obtenido de [http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f\\_uitama/pregrado/eduindustrial/documentos/EBSA\\_-\\_Reglamento\\_Tecnico\\_de\\_Iluminacion\\_y\\_alumbrado.pdf](http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f_uitama/pregrado/eduindustrial/documentos/EBSA_-_Reglamento_Tecnico_de_Iluminacion_y_alumbrado.pdf)

- Energía Solar Fotovoltaica. (2006). Obtenido de [http://energiasolarfotovoltaica.blogspot.com/2006/01/la-bateria\\_29.html](http://energiasolarfotovoltaica.blogspot.com/2006/01/la-bateria_29.html)
- Energías Renovables. (2015). *Blog de CEMAER*. Obtenido de <http://www.gstriatum.com/energiasolar/blog/2014/07/24/tipos-de-paneles-solares-ventajas-y-desventajas/>
- Energías Renovables y eficiencia energética*. (2008). Canarias: Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.
- Energías Renovadas. (04 de 01 de 2011). *Energías Renovadas*. Obtenido de Energías Renovadas: <http://energiasrenovadas.com/tipos-de-turbinas-eolicas/>
- Energicentro. (22 de noviembre de 2010). *Energicentro*. Obtenido de <http://energicentro.blogspot.com.co/2010/11/paneles-solares-calculo-de-una.html>
- EPM. (28 de 12 de 2016). *EPM*. Obtenido de [http://www.epm.com.co/site/clientes\\_usuarios/Clientesyusuarios/Hogaresypersonas/Energ%C3%ADa/Tarifas.aspx](http://www.epm.com.co/site/clientes_usuarios/Clientesyusuarios/Hogaresypersonas/Energ%C3%ADa/Tarifas.aspx)
- Esco-tel. (2011). *Esco-tel*. Obtenido de [http://www.esco-tel.com/tipos\\_de\\_celdas\\_solares.html](http://www.esco-tel.com/tipos_de_celdas_solares.html)
- Española, R. A. (2014). *Real Academia Española*. Obtenido de <http://lema.rae.es/drae/?val=AUTO>
- Española, R. A. (2014). *Real Academia Española*. Obtenido de adj. Dicho de un proceso: Que puede mantenerse por sí mismo, como lo hace, p. ej., un desarrollo económico sin ayuda exterior ni merma de los recursos existentes.
- Figueredo, C. M. (2015). *Cubasolar*. Obtenido de <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia18/HTML/articulo02.htm>
- Ford, T. (24 de 03 de 2010). *Evoló*. Obtenido de <http://www.evolo.us/design/self-sufficient-street-light/>
- Fullmecanica. (2014). *Fullmecanica*. Obtenido de <http://www.fullmecanica.com/definiciones/f/1214-fuerza-del-viento-presion-del-viento>
- GEOPOWER. (2010). *GEOPOWER*. Obtenido de GEOPOWER: [http://geopower.com.mx/pgs/geopower\\_catalogo\\_foco\\_ahorrador\\_iluminacion\\_alumbrado\\_publico\\_solar\\_promilight\\_mexico.htm](http://geopower.com.mx/pgs/geopower_catalogo_foco_ahorrador_iluminacion_alumbrado_publico_solar_promilight_mexico.htm)
- George E Dleter, L. C. (2007). *Engineering Design*. Boston: McGraw-hill.
- Gordillo, A. (2013). *Tratado de derecho administrativo y obras selectas* (1 ed.). Buenos Aires: FDA. Obtenido de <http://www.gordillo.com/tomo8.html>
- Grupo Eos Iberica. (5 de 08 de 2010). *Eos Iberica*. Obtenido de Eos Iberica: <http://www.eosiberica.es/seccion/Normas-IP65,IP67,IP68>

- GUTIÉRREZ, J. C. (2009). *APLICABILIDAD DE LAS METODOLOGÍAS DE DISEÑO DE PRODUCTO EN EL DESARROLLO Y CREACIÓN DE PÁGINAS WEB Y DISEÑOS GRÁFICOS*. Medellín: UNIVERSIDAD EAFIT.
- Hauriou, M. (1919). *Précis de Droit Administratif* (9 ed.). Paris.
- Indiegogo. (2014). *Indiegogo*. Obtenido de Indiegogo: <https://www.indiegogo.com/projects/solar-roadways>
- Jeong, S. J. (03 de 12 de 2010). *Coroflot*. Obtenido de Coroflot: <http://www.coroflot.com/design-jay/air-light>
- Jose D, O. G. (2013). VIABILIDAD TÉCNICO–ECONÓMICA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE PEQUEÑA ESCALA. *Visión Electrónica*, 103-117.
- Matheo-software. (2014). *Matheo-software*. Obtenido de Matheo-software: <http://www.matheo-software.com/es/>
- Meinhold, B. (26 de 02 de 2010). *Inhabitat*. Obtenido de Inhabitat: <http://inhabitat.com/sustainable-city-street-lights-by-phillips/phillips-sustainable-city-light-3/>
- Ministerio de minas y Energía de Colombia. (2015). *Mapa de velocidad del viento en superficie*. Bogota.
- Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (2009). *Unidad de planeación minero Energética UPME*. Obtenido de [http://www.si3ea.gov.co/EnergiaAlternativa/energia\\_solar.swf](http://www.si3ea.gov.co/EnergiaAlternativa/energia_solar.swf)
- Ministerio de minas y energía de Colombia. (30 de 08 de 2013). Reglamento técnico de instalaciones eléctricas-RETIE. *Reglamento técnico de instalaciones eléctricas-RETIE*. Bogota, Cundinamarca, Colombia.
- Ministerio de minas y energía de Colombia. (2015). *Mapas de radiación solar global sobre superficie plana*. Bogota.
- Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (13 de 03 de 2010). Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público-RETILAP. *Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público-RETILAP*. Bogota, Cundinamarca, Colombia.
- Mitchell, B. (24 de 06 de 2014). *Inhabitat*. Obtenido de Inhabitat: <http://inhabitat.com/amazing-pop-up-solar-power-station-delivers-energy-anywhere-its-needed/>
- Morris, S. (2 de 06 de 2009). *The Guardian*. Obtenido de The Guardian: <http://www.theguardian.com/environment/2009/jun/01/eden-project-geothermal-energy>
- Mundo Solar. (2015). *Mundo Solar*. Obtenido de <http://www.dforcesolar.com/energia-solar/paneles-solares-transparentes/>
- Mustieles, I. (28 de 12 de 2013). *Autosolar*. Obtenido de <https://autosolar.es/blog/tecnica/item/340-que-es-un-regulador-mppt>

- Navas, B. (2015). *electronicadepotenciaduc*. Obtenido de <http://electronicadepotenciaduc.wikispaces.com/Convertidores+DC-AC+%28Inversores%29>
- New Solar LED. (2014). *New Solar LED*. Obtenido de New Solar LED: [http://www.newsolarled.com/alumbrado\\_solar\\_publico.html](http://www.newsolarled.com/alumbrado_solar_publico.html)
- Pham, D. (16 de 03 de 2010). *Inhabitat*. Obtenido de Inhabitat: <http://inhabitat.com/wind-powered-bamboo-flow-lights-illuminate-the-colombian-beachside/>
- Rafael, B. (1964). *Derecho administrativo* (6 ed.). Buenos Aires.
- Raso, J. L. (2009). *Energias Alternativas (Handbook)* (1 ed.). Madrid: Paraninfo S.A. Recuperado el 21 de 06 de 2014, de [http://books.google.com.co/books?id=MaFWxhkFHKAC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com.co/books?id=MaFWxhkFHKAC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Reid Berdanier, T. H. (2009). *Self-Sustaining Street Light*. Obtenido de ICS: [web.ics.purdue.edu/.../MEE471\\_FinalReport.pdf](http://web.ics.purdue.edu/.../MEE471_FinalReport.pdf)
- Renovables Verdes. (23 de 05 de 2011). *Renovables verdes*. Obtenido de Renovables verdes: <http://www.renovablesverdes.com/tela-con-paneles-solares-que-producen-energia/>
- Richard, M. G. (06 de 25 de 2011). *Treehugger*. Obtenido de Treehugger: [www.treehugger.com/renewable-energy/think-big-arizona-solar-tower-2x-taller-than-the-empire-state-building-will-produce-200-megawatts.html](http://www.treehugger.com/renewable-energy/think-big-arizona-solar-tower-2x-taller-than-the-empire-state-building-will-produce-200-megawatts.html)
- Rivera, J. L. (11 de 02 de 2013). *CRONICA*. Obtenido de CRONICA: <http://www.cronica.com.mx/notas/2011/562711.html>
- Robles, H. G. (2013). *Energia Autosustentable*. Obtenido de <http://energiaautosutentable.blogspot.com/p/definiciones-interesantes.html>
- Rodriges, E. (21 de 06 de 2014). *Fieras de la Ingenieria*. Obtenido de Fieras de la Ingenieria: <http://www.fierasde laingenieria.com/parque-mareomotriz-paimpol-brehat-de-francia/>
- Ruiz, N. (02 de 06 de 2014). *El Desconcierto*. Obtenido de El Desconcierto: <http://eldesconcierto.cl/el-futuro-de-la-energia-esta-en-los-mares/>
- SAECSA. (2012). *SAECSA Energia solar*. Obtenido de SAECSA Energia solar: <http://saecsasolar.com/catalogos.html>
- Sánchez, J. C. (2002). *Tecnologias de acumuladores Plomo-Acido*. Temixco: Centro de investigacion en energia Unam.
- Secretaria de energia. (21 de 01 de 2015). *Secretaria de energia*. Obtenido de Secretaria de energia: <http://www.energia.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=2854>
- Smith-Stricklan, K. (25 de 04 de 2013). *Popular Mechanics*. Obtenido de Popular Mechanics: [http://www.popularmechanics.com/science/environment/water/a-billboard-that-condenses-water-from-humidity-15393050?click=pm\\_latest](http://www.popularmechanics.com/science/environment/water/a-billboard-that-condenses-water-from-humidity-15393050?click=pm_latest)

- Solar-Facts. (2015). *Solar-Facts*. Obtenido de <http://www.solar-facts.com/batteries/battery-charging.php>
- TeacherGeek. (2006). *TeacherGeek*. Obtenido de TeacherGeek: [http://www.teachergeek.org/wind\\_turbine\\_types.pdf](http://www.teachergeek.org/wind_turbine_types.pdf)
- TEKNOSOLAR. (15 de 10 de 2013). *TEKNOSOLAR*. Obtenido de <http://www.teknosolar.com/blog/interconexion-de-paneles-solares/>
- Tereza, P. (09 de 10 de 2013). *The institution of engineering and technology*. Obtenido de <http://eandt.theiet.org/news/2013/oct/kaal-masten-spirit.cfm>
- Than, K. (09 de 04 de 2014). *Stanford/New Service*. Obtenido de Stanford/New Service: <http://news.stanford.edu/pr/2014/pr-solar-water-crops-040914.html>
- The Renewable Energy Website. (2015). *The Renewable Energy Website*. Obtenido de The Renewable Energy Website: <http://www.reuk.co.uk/Wind-Turbine-Charge-Controller.htm>
- UCLM. (2012). *Curso de Fisica ambiental*. castilla.
- Universidad EAFIT. (22 de 05 de 2014). *Universidad EAFIT*. Obtenido de Universidad EAFIT: [http://www.eafit.edu.co/biblioteca/recursos-electronicos/bases-datos/Paginas/bases-datos-ingenieria.aspx#.U7mmr\\_mSySo](http://www.eafit.edu.co/biblioteca/recursos-electronicos/bases-datos/Paginas/bases-datos-ingenieria.aspx#.U7mmr_mSySo)
- Whirlopedia. (2014). *Whirlopedia*. Obtenido de Whirlopedia: <http://www.whirlopedia.com/helical-wind-turbine.htm>
- Williams, A. (25 de 09 de 2008). *CleanTechnica*. Obtenido de CleanTechnica: <http://cleantechnica.com/2008/10/25/mit-energy-storage-discovery-could-lead-to-unlimited-solar-power/>