

Sistematización del Proceso de Diseño y Creación de Propuestas Económicas de Sistemas  
Solares Fotovoltaicos.

Felipe Santiago Gutiérrez Mesa

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista

Director

Dr. Gabriel Ordóñez Plata

Doctor en Ingeniería Eléctrica

Codirectora

Julieth Fernanda Garcia Hoyos

Ingeniera de Suncol Energy SAS

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E<sup>3</sup>T)

Ingeniería Eléctrica

Bucaramanga

2023

## Dedicatoria

Hoy, con gran emoción y gratitud, quiero dedicar este trabajo de grado a todos aquellos que han estado a mi lado durante esta etapa tan significativa de mi vida. Sin su apoyo incondicional, comprensión y aliento constante, este logro no habría sido posible.

A mi familia, quienes siempre han creído en mí y me han brindado su amor incondicional, gracias por ser mi fuente de inspiración y por estar presentes en cada paso de este camino. Su paciencia y sacrificio han sido fundamentales para que pueda alcanzar mis metas académicas.

A mis profesores, quienes han compartido su conocimiento y experiencia, agradezco su dedicación y paciencia al guiarme en el desarrollo de este trabajo. Sus enseñanzas han sido fundamentales para mi crecimiento académico y profesional, y estoy enormemente agradecido por su orientación y mentoría.

Por último, quiero agradecer a mí mismo por nunca renunciar, por mantenerme enfocado y por superar los obstáculos que se presentaron en el camino. Esta dedicación es un tributo a mi perseverancia y al amor que siento por mi carrera.

A mis padres, les dedico este trabajo de grado con profundo agradecimiento y humildad. Espero que este sea solo el comienzo de una trayectoria llena de éxitos y aprendizajes.

### **Agradecimientos**

Después de todo un camino con subidas y bajas que fue este proceso universitario, y darme cuenta de que fue posible solo tengo por decir: ¡Gracias!

A mi madre Nubia Mesa una de las personas más importantes en mi vida y la cual nunca me dejo caer en los peores momentos por el contrario con su cariño y apoyo me ayudo a seguir adelante, para ella es este título universitario.

A mi padre Silvio Gutiérrez que desde el cielo sé que está orgulloso de ver a su hijo por fin como ingeniero electricista de “la gloriosa UIS” como él decía, para ti también es este título mi querido viejo.

A mi tía Nancy Mesa que con su apoyo también fue una de las personas que me inspiro a seguir construyendo este sueño.

## Tabla de Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	10
1. Objetivos .....	12
1.1 Objetivo General .....	12
1.2 Objetivos Específicos.....	12
2. Marco teórico sobre sistemas fotovoltaicos .....	13
2.1 Conceptos básicos .....	13
2.1.1 Tipos de sistemas fotovoltaicos .....	15
2.1.1.1 <i>Instalación solar fotovoltaica aislada</i> ( .....	15
2.1.1.2 <i>Instalación solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica</i> ( .....	16
2.2 Componentes de la instalación.....	17
2.2.1 Baterías .....	17
2.2.2 Regulador de tensión de un sistema fotovoltaico .....	18
2.2.3 El inversor, ondulator o convertidor .....	18
2.3.2.1 Convertidor CC-CC .....	19
2.3.2.2 Convertidor CC-CA .....	19
2.3.2.2.1 <i>Inversores aislados o autónomos</i> .....	20
2.3.2.2.2 <i>Inversores de conexión a la red</i> .....	20
3. Metodología establecida para la sistematización del proceso de diseño y creación de propuestas económicas de sistemas solares fotovoltaicos .....	22
3.1 Recepción de propuestas.....	22
3.1.1 Información relevante para el diseño .....	23

3.2 Realización del diseño del SSFV .....	25
3.3 Estudio de mercado.....	27
3.4 Proceso de utilidad.....	28
3.5 Creación del documento .....	29
4. Resultados .....	30
4.1 Mejoramiento en la recepción de propuestas.....	32
4.2 Cambio en la realización del diseño del SSFV.....	32
4.3 Cambios en la cotización con proveedores de dispositivos y elementos requeridos para la implementación del sistema fotovoltaico.....	34
4.4 Cambios en el proceso de finanzas .....	36
4.5 Mejoras en la creación del documento.....	36
4.6 Cronograma de trabajo para reducir los tiempos de entrega de propuestas económicas.....	36
5. Conclusiones y Recomendaciones .....	38
5.1 Conclusiones.....	38
5.2. Recomendaciones .....	39
Referencias Bibliográficas .....	40

**Lista de Tablas**

Table 1 <i>Cálculo para determinar el N° de paneles e Inversor.</i> .....	25
Table 2 <i>Proyección de la generación mensual del sistema.</i> .....	26
Table 3 <i>Ejemplo de costos de un proyecto de 8 paneles y 3 micro-inversores.</i> .....	29

## Lista de Figuras

Figure 1	<i>Fuentes de energía.</i>	14
Figure 2	<i>Instalación de un sistema fotovoltaico aislado.</i>	16
Figure 3	<i>Instalación conectada a la red de distribución.</i>	17
Figure 4	<i>Diagrama de un regulador de tensión de un sistema fotovoltaico.</i>	18
Figure 5	<i>Esquemas de convertidores de CC-CC y CC-CA.</i>	19
Figure 6	<i>Información de la acometida.</i>	24
Figure 7	<i>Factura de energía eléctrica ESSA.</i>	24
Figure 8	<i>Generación de energía (kWh/mes).</i>	27
Figure 9	<i>Formato estudio de mercado.</i>	28
Figure 10	<i>Diagrama de flujo nuevo proceso de diseño y creación de propuestas.</i>	30
Figure 11	<i>Diagrama de flujo detallado del proceso de diseño y creación de propuestas.</i>	31
Figure 12	<i>Ingreso de datos al software BlueSol.</i>	33
Figure 13	<i>Estudio de sombras arrojado por el software.</i>	33
Figure 14	<i>Generación de energía (kWh/mes) arrojado por el software.</i>	34
Figure 15	<i>Consolidado de proveedores de inversores.</i>	35
Figure 16	<i>Consolidado de proveedores de Breakers.</i>	36
Figure 17	<i>Cronograma de trabajo para reducir los tiempos de entrega de propuestas económicas.</i>	37

## Resumen

**Título:** Sistematización del Proceso de Diseño y Creación de Propuestas Económicas de Sistemas Solares Fotovoltaicos\*

**Autor:** Felipe Santiago Gutiérrez Mesa\*\*

**Palabras Clave:** Sistematización, Dimensionamiento, SSFV (Sistemas Solares Fotovoltaicos), OR (Operador de Red), Eficiencia, Costos.

**Descripción:** El objetivo fundamental es sistematizar los tiempos de entrega de diseños y creación de propuestas económicas de sistemas solares fotovoltaicos, con el fin de poder realizar más propuestas en menos tiempo y así tener un margen de venta de proyectos fotovoltaicos alto. Para lograrlo se determinó que el tiempo de entrega de una propuesta por parte del ingeniero de diseño estaba tardando aproximadamente un tiempo entre 3 a 5 días lo que no permitía ser competitivos en el mercado, por tal motivo se optó por realizar una sistematización y organización del proceso mediante la implementación del software BlueSol, así mismo la creación de una base de datos actualizada con datos de proveedores de todo el material que se implementaría en obra lo cual permitió entregar propuestas en un rango de 3 horas por propuesta en los días más productivos y un rango de 6 horas por propuesta cuando se presentaban retrasos.

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Programa académico Ingeniería Eléctrica. Director: Gabriel Ordoñez Plata. Dr Ingeniería Eléctrica. Codirector: Julieth Fernanda Garcia Hoyos. Ingeniera Industrial.

## Abstract

**Title:** Systematization of the Design Process and Creation of Economic Proposals for Photovoltaic Solar Systems\*

**Author(s):** Felipe Santiago Gutiérrez Mesa\*\*

**Key Words:** Systematization, Sizing, (PVSS) photovoltaic solar systems, (NO) Network Operator, efficiency, costs.

**Description:** The main objective is to systematize the delivery times of designs and creation of economic proposals for solar photovoltaic systems, in order to be able to make more proposals in less time and thus have a high sales margin of photovoltaic projects. To achieve this, it was determined that the delivery time of a proposal by the design engineer was taking approximately 3 to 5 days, which did not allow to be competitive in the market, for this reason it was decided to systematize and organize the process through the implementation of software such as BlueSol, as well as the creation of an updated database with data from suppliers of all the material to be implemented on site, which allowed to deliver proposals in a range of 3 hours per proposal on the most productive days and a range of 6 hours per proposal when delays occurred.

\* Degree Work

\*\*Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Electrical Engineering Academic Program. Director: Gabriel Ordóñez Plata. Dr. Electrical Engineering. Co-director: Julieth Fernanda García Hoyos. Industrial engineering.

## **Introducción**

El tiempo es lo único que nunca se puede recuperar, que no se puede producir de nuevo. Cada momento de tiempo es finito y no se puede crear ni duplicar; por lo cual se debe aprovechar al máximo cuando se habla de la ejecución de actividades primordiales como negocios y ejecución de proyectos. Cuanto haya mayor eficiencia con el tiempo más productivo se puede ser en la realización de actividades.

Suncol Energy SAS es una empresa de energías renovables enfocada en la energía solar fotovoltaica, en la cual se tiene un proceso para el diseño y ejecución de propuestas económicas de sistemas solares fotovoltaicos. Dicho proceso tenía un retraso de tiempo en cuanto al diseño y creación de propuestas económicas debido a que por una propuesta se tenía un tiempo estimado de 3 a 5 días hábiles para la presentación ante el equipo comercial.

Por otra parte, la generación de energía eléctrica con fuentes renovables está en crecimiento en nuestro país, por tal motivo muchas industrias y personas en casas residenciales le están apostando a generar con estas fuentes (especialmente los sistemas fotovoltaicos) y se evidencia un crecimiento exponencial de recepción de propuestas, y con el tiempo establecido para la presentación de la oferta, se veía afectada la venta de proyectos.

Una vez evidenciada la problemática, se llevó a cabo una implementación de un proceso y sistematización de diseño y creación de propuestas económicas para sistemas solares fotovoltaicos y se logró un avance que requiere solo de 2 días desde la recepción de una solicitud de propuesta hasta que se envía la misma. Se logró una efectividad y también una eficiencia del proceso e implementación de la sistematización, para disminuir el tiempo.

Uno de los principales ejes que llevó a la realización del proceso de dimensionamiento de cada uno de los proyectos se desarrolló bajo conceptos adquiridos en la formación profesional como por ejemplo la ley de tensiones y corrientes de kirchhoff, normativa aplicable a la legalización de proyectos en cuanto al estudio de conexión como la CREG 174, y la competencia necesaria para determinar los parámetros de un inversor. Con los conocimientos aprendidos a través de la formación profesional, así como la toma de decisiones para una buena implementación de un proceso ordenado y sistematizado, se logró evidenciar una disminución en tiempos de entrega de propuestas, así como la efectividad en el dimensionamiento.

Este documento presenta la sistematización del diseño y la creación de propuesta económicas de sistemas solares fotovoltaicos. En el primer capítulo se encuentran los objetivos a cumplir en el trabajo de grado. Posteriormente, el segundo capítulo presenta unas definiciones del funcionamiento y componentes de un sistema solar fotovoltaico.

El tercer capítulo tiene como propósito mostrar la metodología de cómo se estructuró el proceso para cumplir con los objetivos propuestos en el trabajo de grado. Los resultados obtenidos, durante el tiempo de ejecución del trabajo de grado se presentan en el capítulo cuatro. Finalmente, el capítulo quinto presenta las conclusiones y recomendaciones del trabajo realizado.

## **1. Objetivos**

En este capítulo están plasmadas declaraciones claras y concretas que describen lo que se pretende alcanzar y proporcionan un punto de referencia para medir el éxito.

### **1.1 Objetivo General**

Sistematizar los tiempos de entrega de diseños y creación de propuestas económicas de sistemas solares fotovoltaicos.

### **1.2 Objetivos Específicos**

Los objetivos específicos de este trabajo de grado son los siguientes:

- Organizar y elaborar un cronograma de trabajo para reducir los tiempos de entrega de propuestas económicas.
- Apoyar con la elaboración de memorias de cálculo y unifilares para presentación ante OR.
- Optimizar el proceso de diseño del sistema FV.
- Creación de propuestas económicas, basadas en los datos de los proveedores.

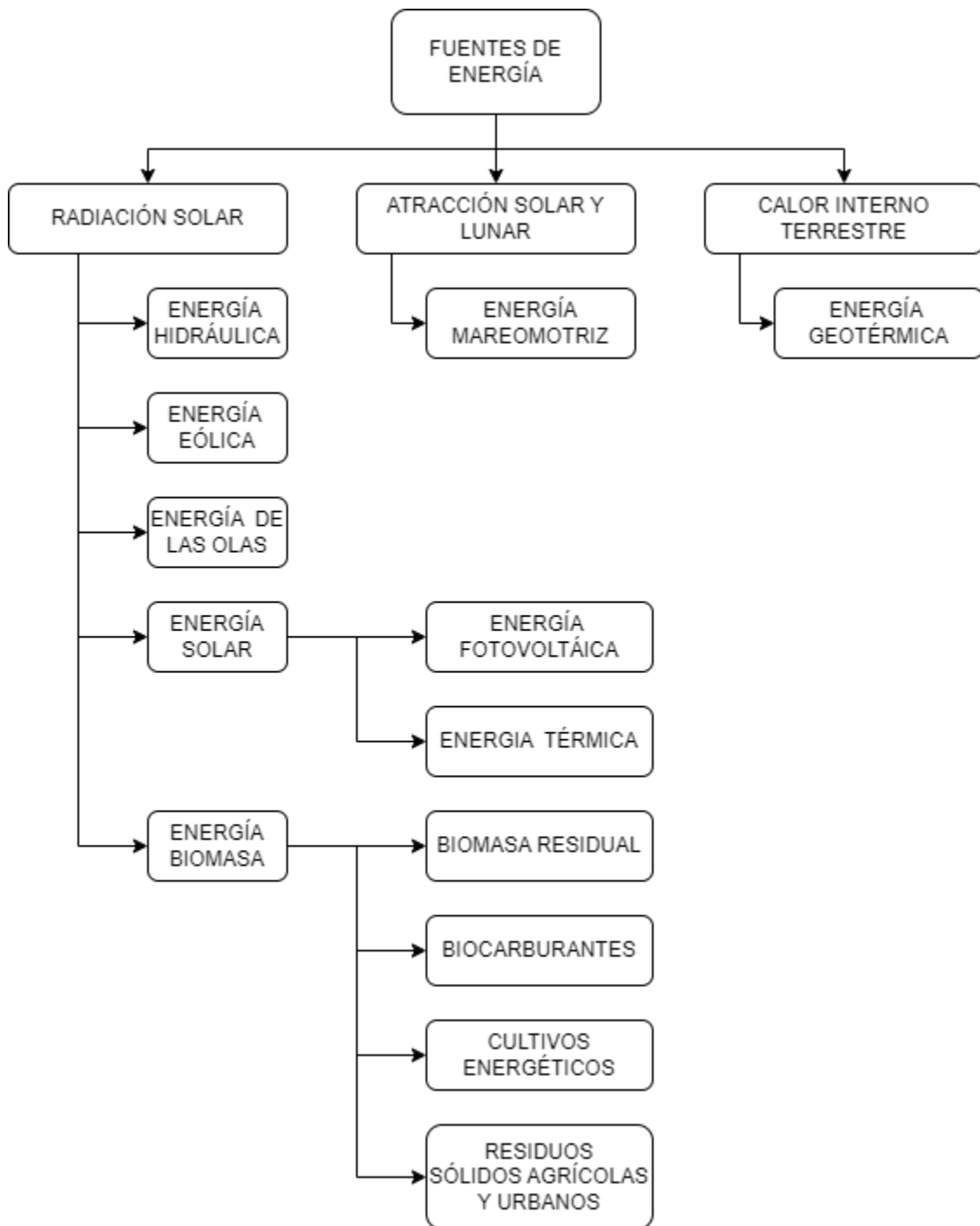
## **2. Marco teórico sobre sistemas fotovoltaicos**

En este capítulo se presentan algunas definiciones de los componentes que conforman un sistema solar fotovoltaico.

### **2.1 Conceptos básicos**

El Sol es una fuente inagotable de recursos para el hombre. Provee una energía limpia, abundante y disponible en la mayor parte de superficie terrestre y puede, por lo tanto, liberarlo de los problemas ambientales generados por los combustibles convencionales, como el petróleo, carbón, gas y otras alternativas energéticas, como centrales nucleares.

El término energía renovable engloba una serie de fuentes de energía que en teoría no se agotarían con el paso del tiempo. Estas fuentes serían una alternativa a las convencionales (no renovables). Las energías renovables más importantes aparecen organizadas en el esquema de la Figura 1.

**Figure 1** Fuentes de energía.

### **2.1.1 Tipos de sistemas fotovoltaicos**

Se define como sistema fotovoltaico el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar y transformar la energía solar disponible, transformándola en utilizable como energía eléctrica.

Estos sistemas, independientemente de su utilización y del tamaño de potencia, se pueden dividir en dos categorías: aislados (*stand alone*) y conectados a la red (*grid connected*).

La estructura física de un sistema fotovoltaico (aislado o conectado a la red) puede ser muy diferente, pero normalmente se pueden distinguir tres elementos fundamentales: el campo fotovoltaico, sistema de acondicionamiento de potencia, sistema de adquisición de datos.

#### **2.1.1.1 Instalación solar fotovoltaica aislada (*stand alone*)**

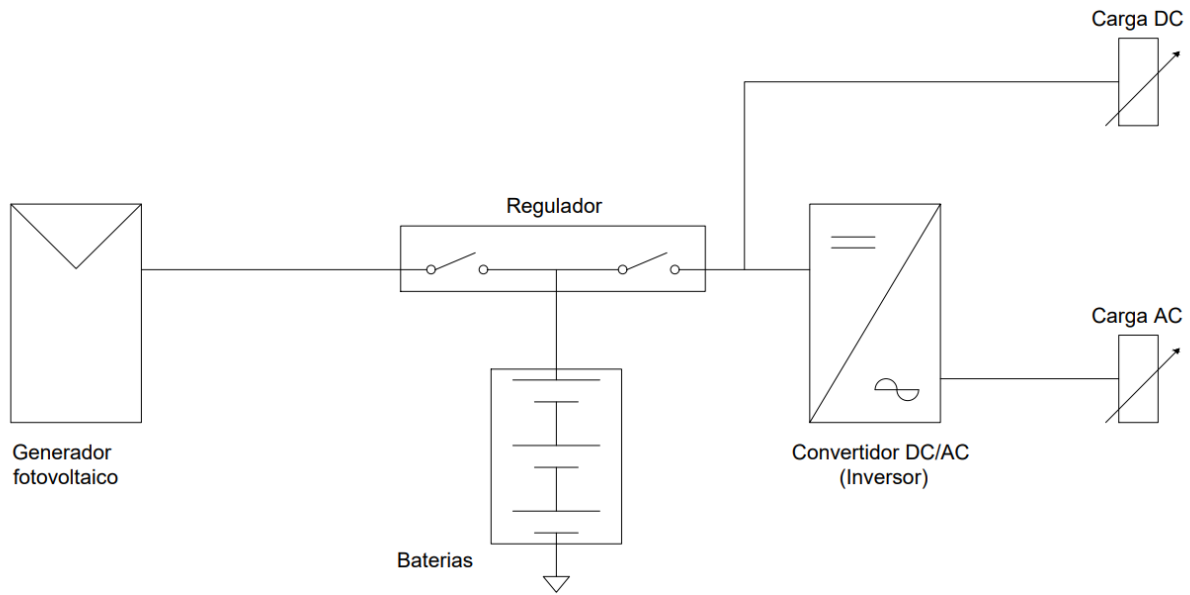
Los sistemas aislados se utilizan normalmente para proporcionar electricidad a los usuarios con consumos de energía muy bajos para los cuales no compensa pagar el costo de conexión a red, y para los que sería muy difícil conectarlos debido a su posición poco accesibles.

Los sistemas aislados, por el hecho de no estar conectados a la red eléctrica, normalmente están equipados con sistemas de almacenamiento de la energía producida. El almacenamiento es necesario porque el sistema fotovoltaico puede proporcionar energía solo en las horas diurnas, mientras que a menudo la mayor demanda por parte del usuario se concentrara en horas de la tarde y de la noche.

Los principales componentes que forman un sistema fotovoltaico aislado son: Módulos fotovoltaicos, regulador de carga, inversor y sistema de almacenamiento (baterías). En este tipo de sistemas, parte de la energía producida por los módulos fotovoltaicos es almacenada en las baterías. La carga es alimentada, a través del regulador de carga, por la energía proporcionada

por el sistema fotovoltaico o por la energía almacenada en las baterías. La Figura 2 presenta el esquema de un sistema solar fotovoltaico aislado.

**Figure 2** *Instalación de un sistema fotovoltaico aislado.*



### ***2.1.1.2 Instalación solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica (grid connected)***

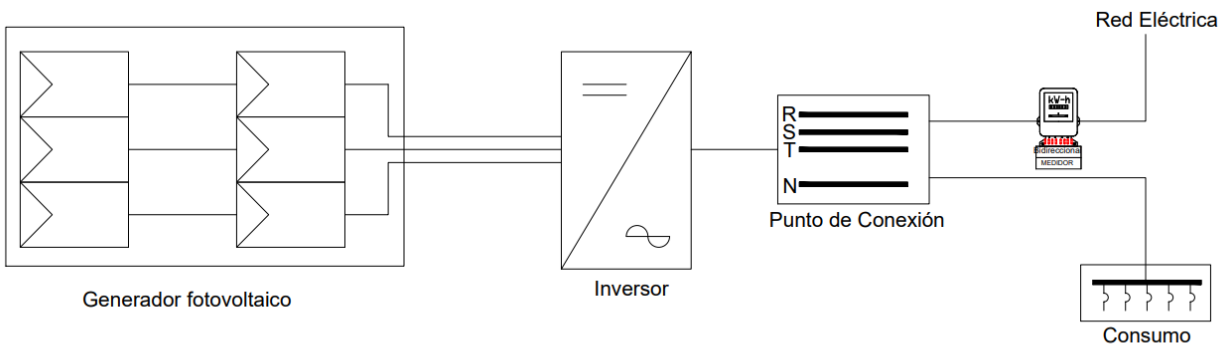
Los sistemas conectados a la red (*grid connected*), normalmente no tiene sistemas de almacenamiento, ya que la energía producida durante las horas de insolación es suministrada a la red eléctrica. Durante las horas de insolación escasa o nula, la carga eléctrica es suplida por la red de suministro.

Los principales componentes que forman un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica son: módulos fotovoltaicos, inversor para la conexión a red, dispositivo de intercambio con la red eléctrica (en la actualidad los inversores ya incluyen este dispositivo) y contador de energía eléctrica bidireccional.

En estos sistemas de generación, toda la energía eléctrica continua, generada por los módulos, a través del inversor es transformada a corriente alterna para luego ser suministrada a la

red eléctrica. La Figura 3 muestra el esquema de conexión de los sistemas de generación fotovoltaica conectados a la red de distribución.

**Figure 3** *Instalación conectada a la red de distribución.*



## 2.2 Componentes de la instalación

Las diferentes componentes de un sistema fotovoltaico, sea este aislado o conectado a la red son descritas a continuación.

### 2.2.1 Baterías

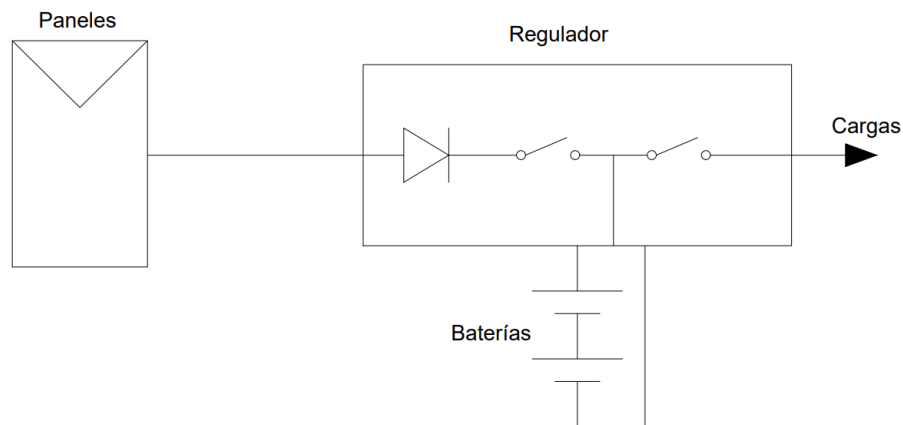
Las baterías dan una energía constante, aunque los paneles fotovoltaicos capten esta energía a intervalos. La capacidad de almacenamiento de la batería dependerá de la radiación solar. Por tanto, instalar baterías con mayor capacidad no es adecuado, porque no se acumulará toda la energía y se producirá sulfatación en ellas.

Las baterías más utilizadas actualmente son las estacionarias o de ciclo profundo. La mayoría de plomo-ácido, aunque actualmente están utilizándose cada vez más baterías de níquel o litio.

### 2.2.2 Regulador de tensión de un sistema fotovoltaico

El regulador de tensión se encarga de controlar las cargas y descargas de la batería, protegiéndola y evitando averías. También evita que la corriente vuelva hacia los paneles fotovoltaicos, durante la noche, debido a un diodo que hace evita la circulación de la corriente hacia los paneles. La Figura 4 presenta el esquema de un regulador de tensión

**Figure 4** Diagrama de un regulador de tensión de un sistema fotovoltaico.



### 2.2.3 El inversor, ondulator o convertidor

Si se trabaja en corriente continua a una tensión diferente de la nominal (paneles fotovoltaicos y baterías) se utiliza un convertidor de corriente continua a continua (CC-CC).

Por otra parte, si el consumo de energía eléctrica, o parte de él, es en corriente alterna, se debe utilizar un convertidor corriente continua a alterna (CC-CA). La Figura 5 presenta los esquemas básicos de estos convertidores.

**Figure 5** Esquemas de convertidores de CC-CC y CC-CA.



### 2.3.2.1 Convertidor CC-CC

Este convertidor es utilizado cuando la tensión de los paneles fotovoltaicos es alta, mayor de 48 V, porque la distancia de los paneles hasta el centro de consumo es grande y de esta forma se logra reducir la sección de los conductores y disminuir el costo de la instalación. Posteriormente, en el punto de consumo se disminuye la tensión.

Las características de estos convertidores son:

- Tensión nominal de entrada.
- Tensión nominal de salida.
- Potencia nominal de salida.
- Rendimiento.

### 2.3.2.2 Convertidor CC-CA

Estos convertidores permiten convertir la CC en CA. Algunas veces se requiere un transformador para elevar la tensión (12, 24 Vdc a 230 Vac). Se utilizan para suministrar energía a la red eléctrica. Se llaman autónomo o de conexión a la red, respectivamente.

Las características eléctricas de estos convertidores son:

- a) *Tensión nominal de entrada.* Rango en el que pueden trabajar.

- b) *Potencia nominal*. Rango en el que se consigue una mayor eficiencia.
- c) *Eficiencia*. Relación entre la potencia de entrada y la de salida.

$$\eta = \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Potencia de entrada}}$$

- d) *Sobrecarga*. Soporta potencias superiores a la nominal durante un breve periodo de tiempo, para permitir los puntos de corriente que se crean por ejemplo en motores.

#### ***2.3.2.2.1 Inversores aislados o autónomos***

Las características eléctricas de los inversores aislados o autónomos son las siguientes:

- De onda sinusoidal, excepto si es inferior a 1kVA y no producen daño a las cargas.
- La tensión y la frecuencia de salida en los márgenes:  $V_{\text{NOM}} \pm 5\%$  y  $60 \text{ Hz} \pm 2\%$ .
- Protegidos frente a:
  - Tensión de entrada fuera del margen de operación.
  - Cortocircuito en la salida de corriente alterna.
  - Sobrecargas que excedan la duración y límites permitidos.

#### ***2.3.2.2.2 Inversores de conexión a la red***

Son la parte más importante y compleja de la instalación, ya que han de sincronizarse con los valores de tensión y de frecuencia de la red de distribución de energía eléctrica y no pueden funcionar de forma aislada (modo isla).

Han de incorporar protecciones frente a:

- Cortocircuitos en alterna.
- Tensión y frecuencia de red fuera de rango.
- Sobretensiones, mediante variaciones o similares.

- Perturbaciones presentes en la red como micro cortes, pulsos, defectos de ciclos, etc.

Las características eléctricas de los inversores de conexión a la red son las siguientes:

- Se activan a potencias superiores al 10% y soportan picos de un 30%.
- Rendimiento superior al 92% a partir del 50% de potencia nominal.

### **3. Metodología establecida para la sistematización del proceso de diseño y creación de propuestas económicas de sistemas solares fotovoltaicos**

Este capítulo tiene como propósito dar a conocer las etapas implementadas para la sistematización del proceso de diseño y elaboración de propuestas de sistemas de generación de energía eléctrica con paneles solares.

#### **3.1 Recepción de propuestas**

La recepción de propuestas, inicialmente, no tenía un control de verificación. Esto implicaba que llegara información errónea al ingeniero de diseño por parte del área comercial o, en su defecto, que no llegara toda la información correspondiente para realizar el diseño de un sistema solar fotovoltaico.

Por tal motivo, el ingeniero de diseño tenía que realizar suposiciones, lo cual ocasionó una serie de retrasos y actualizaciones de propuestas en ítems como la potencia del proyecto, el nivel de tensión para seleccionar el inversor y, algunas veces, el tipo de cubierta donde se instalarían los paneles.

Para evitar estos retrasos y actualizaciones, se optó por determinar una lista, de los datos más relevantes para realizar el diseño. A continuación, se presentan los datos para diseñar un sistema solar fotovoltaico, los cuales se pueden obtener de la información de la acometida (Figura 6), de la factura de energía eléctrica (Figura 7) y de la información que se obtiene del cliente, como registros fotográficos.

### ***3.1.1 Información relevante para el diseño***

Los datos más relevantes al momento de diseñar y que se pueden obtener con información por parte del cliente son:

- Consumo promedio [kWh/mes]: Este dato se visualiza en la factura de energía (Figura 2) en el historial de consumo, allí se observa como es el comportamiento del consumo mensual o trimestral (para zonas rurales) del cliente. Es el dato más importante pues con este se puede establecer la potencia del proyecto a instalar.
- Ubicación (coordenadas). Esta información es compartida por el usuario con un link de Google Maps para poder determinar el lugar exacto y así establecer como será el acceso a obra del material, del ingeniero y técnicos que realicen el proyecto, esto con el fin de poder analizar el tema de transporte, hospedaje y la cuadrilla de técnicos más cercana a este lugar y así economizar en los costos.
- Nivel de Tensión (110V, 230V, 440V). Es obtenido en la Figura 1 y es relevante al momento de seleccionar el nivel de tensión del inversor o micro-inversor.
- Tipo de sistema (monofásico, bifásico, trifásico). Se obtiene mediante registro fotográfico que envía el cliente de la acometida principal.
- Tipo de cubierta de instalación (placa plana, cubierta inclinada, otra). Información enviada por el cliente como registros fotográficos de la zona dónde se van a instalar los módulos fotovoltaicos.

Figure 6 Información de la acometida.

### Información de Baja Tensión

Transformador: 5089  
 Propietario: EBSA  
 Voltaje nominal (V): 220  
 Capacidad (kVA): 75  
 Generación instalada (%): 0%  
 Capacidad máxima disponible (kW): 37.5  
 Total de capacidad ocupada (kW): 0  
 Energía Promedio min demanda del año anterior 24 horas: 3.119  
 Energía entregada por generadores no fotovoltaicos (%): 0%  
 Total de energía horaria ocupada (kWh): 0  
 Capacidad máxima de energía horaria disponible (kWh): 1.56  
 Energía Promedio min demanda del año anterior 6 am-6 pm: 4.446  
 Energía entregada por generadores fotovoltaicos (%): 0%  
 Energía horaria ocupada de fotovoltaicos (kWh): 0  
 Energía horaria disponible para fotovoltaicos (kWh): 2.223

Figure 7 Factura de energía eléctrica ESSA.



### 3.2 Realización del diseño del SSFV

En cuanto a la realización del diseño del SSFV, en primera instancia se empezó a trabajar en el programa Excel calculando el número de paneles e inversores con su respectiva potencia a instalar en el sistema como se observa en la Tabla 1. Así mismo se realizó el cálculo de todo el material que requiere el SSFV como material eléctrico, protecciones, gabinetes y estructura.

Todo el proceso de cálculo y selección de equipos demandaba tiempo del ingeniero de diseño esto debido a que los equipos y materiales seleccionados debían cumplir con las exigencias establecidas en la NTC2050 y el RETIE. Así como detallar las cantidades exactas y especificaciones técnicas para realizar las cotizaciones.

**Table 1** *Cálculo para determinar el N° de paneles e Inversor.*

Consumo Promedio Mes	600
d	30
PR	0,78
HSP	4,72
kWp	5,31646714
E	600
N° Paneles	9,75498557
kW-Inversor	4,6230149

Para realizar el diseño del SSFV el consumo promedio mes es tomado de la información de la factura de energía como se observa en el historial de consumo en la Figura 7. Los días (d) de generación mensual se toman del promedio de los 12 meses del año; el Performance Ratio (PR) proporciona una métrica objetiva para determinar cómo se desempeña una instalación de energía solar en comparación con su potencial teórico, en la empresa se tenía una métrica estándar; en cuanto a la Hora Solar Pico (HSP), era tomada de la base de datos de la NASA; la

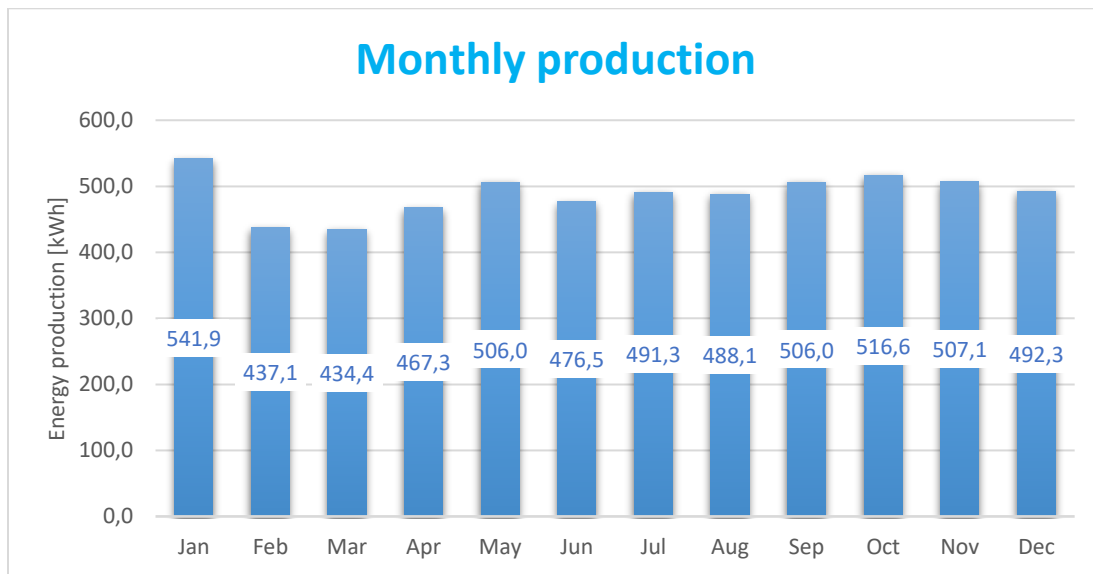
energía (E) requerida por el usuario para satisfacer el consumo varía entre 10% y 100% según elección del mismo.

Una vez obtenidos estos datos, se procede a realizar el cálculo de la energía para detallar cuantos paneles requiere dicho sistema y la potencia de los inversores; para este ejemplo el N° de paneles se puede aproximar a 10, y la potencia del inversor a utilizar en el sistema es de 4600W aproximadamente, se tiene que buscar en el mercado potencias similares a ésta.

Con todos los datos calculados se procede a determinar la generación de energía eléctrica mensual del sistema fotovoltaico durante un año.

**Table 2** *Proyección de la generación mensual del sistema.*

Mes	# de días	HPS	Generacion (kWh/mes)
Jan	31	5,14	541,9
Feb	28	4,59	437,1
Mar	31	4,12	434,4
Apr	30	4,58	467,3
May	31	4,8	506,0
Jun	30	4,67	476,5
Jul	31	4,66	491,3
Aug	31	4,63	488,1
Sep	30	4,96	506,0
Oct	31	4,9	516,6
Nov	30	4,97	507,1
Dec	31	4,67	492,3

**Figure 8** *Generación de energía (kWh/mes).*

### 3.3 Cotización con proveedores

Una vez definidas las características de los materiales que se van a utilizar en la propuesta como paneles, inversores, cableado, protecciones entre otros, se procedía a llamar a proveedores de los diferentes tipos de materiales y se realizaba una comparación de precios de los diferentes proveedores (en primera instancia solo se tenía un rango de 3 a 5 proveedores), para determinar la opción más factible y poder desarrollar una propuesta viable económicamente. Con la comparación y selección de la propuesta más viable se realizaba el formato en Excel (Figura 9.) donde se ingresaba ítem a ítem el valor de estos.

Esto acarrea más tiempo para el ingeniero de diseño lo cual retardaba la propuesta para su entrega final pues debía esperar la respuesta de proveedores, realizar la comparación de precios, ver cual era el más óptimo y así ingresarlos al formato para posteriormente enviar al área contable de la empresa (Finanzas).

Figure 9 Formato cotización.

SUNCOL Energy		PROCESO DE INGENIERIA Y OPERACIONES					CODIGO SUN-IO-F014
		FORMATO COSTOS DE PROYECTOS SSFV					VERSION 1
							FECHA 4/08/2022
CLIENTE:	Luis Llanos	FECHA DE COTIZACION: martes, 5 de julio de 2022			4,36		Potencia pico kWp
DIRECCION:		TIEMPO DE VALIDEZ: viernes, 15 de julio de 2022			-		Costos totales - Financiera
CIUDAD:	Bogotá D.C.	TIEMPO DE EJECUCION DIAS 5			COP 7.404.369,16		Factor Financiero
CONSUMO PRO MES:	600	KVA DEL TRAFIO 113,0					Costo del kWp
NRO DE CUENTA:	0729225-0	PR 79,88%					
PROYECTO:	Sistema solar de 4,36 kWp	CONTACTO: FELIPE GUTIÉRREZ					
ITEM	DESCRIPCION ARTICULO O SERVICIO	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	UND	VALOR TOTAL	VALOR TOTAL CON FACTOR	
<b>Módulos Fotovoltaicos</b>							
1	Modulo Monocristalino 545W	\$ 774.990,00	8	Und	\$ 6.199.920,00	\$ 0,00	
<b>Estructura de Soporte</b>							
2	Estructura de Soportes	\$ 856.800,00	1	Und	\$ 856.800,00	\$ 0,00	
<b>Inversor</b>							
3	[DS3D] Microinversor bifásico 2000W 240V Apsystems	\$ 1.659.837,75	3	Und	\$ 4.979.513,25	\$ 0,00	
	INVERSOR GROWATT SPF 3000TL LVM-ES	\$ 2.500.000,00	1	Und	\$ 2.500.000,00	\$ 0,00	
	BATERIA NETION 3412V55A GEL 12V 50AH	\$ 450.000,00	4	Und	\$ 1.800.000,00	\$ 0,00	
4	Unidad de comunicación ECU R	COP 1.160.250,00	1	Und	COP 1.160.250,00	COP 0,00	
5	[2322301303] Y3 Bus Cable(12AWG,TC-ER cUL,2m,BK-RD- GN) para microinversor APSYSTEM	COP 63.911,98	3	Und	COP 191.735,94	COP 0,00	
6	[2060700007] 3/4-wire Bus Cable End Cap para microinversor APSYSTEM	COP 25.606,10	3	Und	COP 76.818,30	COP 0,00	\$ 17.765.037

### 3.4 Proceso de financiación

Una vez creado el formato cotización, se envía al área de finanzas de la empresa la cual es la encargada de determinar la utilidad que tendrá la empresa. La parte financiera se encarga de establecer el valor final del proyecto que se va a presentar al cliente.

La empresa le puede ofertar al cliente tres tipos de financiación dentro de los cuales se pueden encontrar: pago de contado, financiado por un banco y financiado por Suncol Energy SAS. En cuanto a este último se anexa en el documento final que se le envía al cliente, una tabla resumen para que tenga idea de cómo está estructurado este financiamiento.

En la Tabla 3 esta detalle el valor total que vale el proyecto, el porcentaje de financiación, el plazo para pagar este monto, el porcentaje de la tasa efectiva anual y el valor de las cuotas a pagar.

**Table 3** *Ejemplo de costos de un proyecto de 8 paneles y 3 micro-inversores.*

<b>Monto</b>	<b>\$26.264.538,00</b>
<b>Financiamiento</b>	<b>100,00%</b>
<b>Plazo (meses)</b>	<b>36</b>
<b>Tasa EA</b>	<b>13,00%</b>
<b>Cuota</b>	<b>\$875.928,10</b>

### **3.5 Creación de la propuesta a presentar al cliente**

Después de obtener la respuesta por parte del área de finanzas se crea el documento para presentar al cliente, en el cual se especifica y detalla el tipo de sistema fotovoltaico a instalar.

En el documento se especifica el ahorro económico que tendría el cliente en caso de instalar dicho sistema fotovoltaico y se detalla el costo total de este. Se adjuntan unas cláusulas y/o aclaraciones como métodos de pago, el cobro de energía reactiva según la CREG 015 de 2018 y demás información relevante para el cliente.

Por último, se envía al área comercial el documento para que ellos lo presenten al cliente. Una vez presentada la propuesta al cliente, el proceso de diseño está pendiente por si se requieren actualizaciones de la propuesta; tales como: disminución o aumento del ahorro de energía planteado en primera instancia, cambio de cubierta por que el cliente lo desea o cambio en el tipo de financiación del proyecto.

De no requerir ningún tipo actualización el proceso de diseño se da por terminado y solo queda esperar la venta del proyecto.

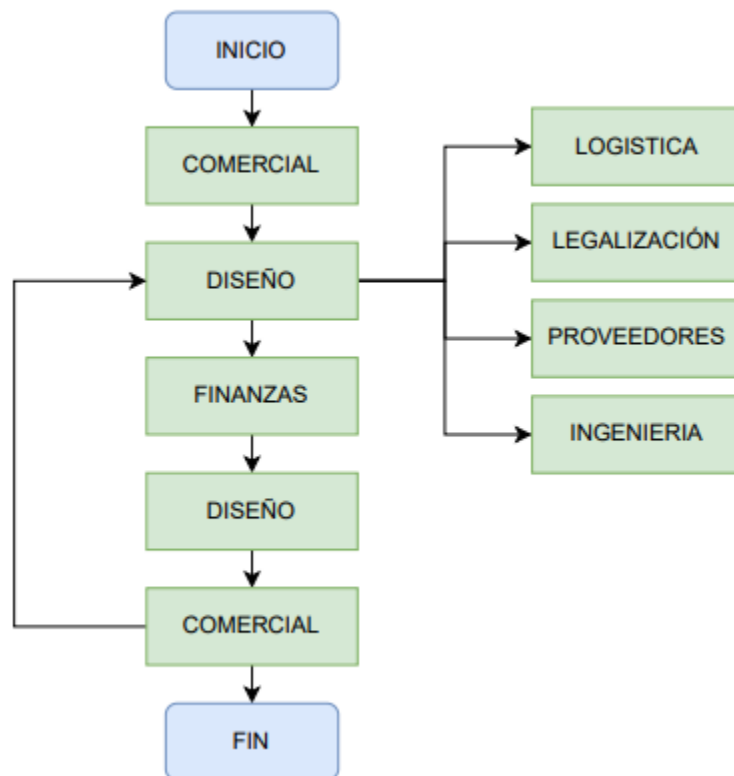
#### 4. Resultados obtenidos de la sistematización del proceso de creación de propuestas

Se genero un diagrama de flujo para optimizar tiempos en todo el proceso de creación de propuestas, en el cual se incluyeron nuevos integrantes como, el ingeniero de legalización y logista.

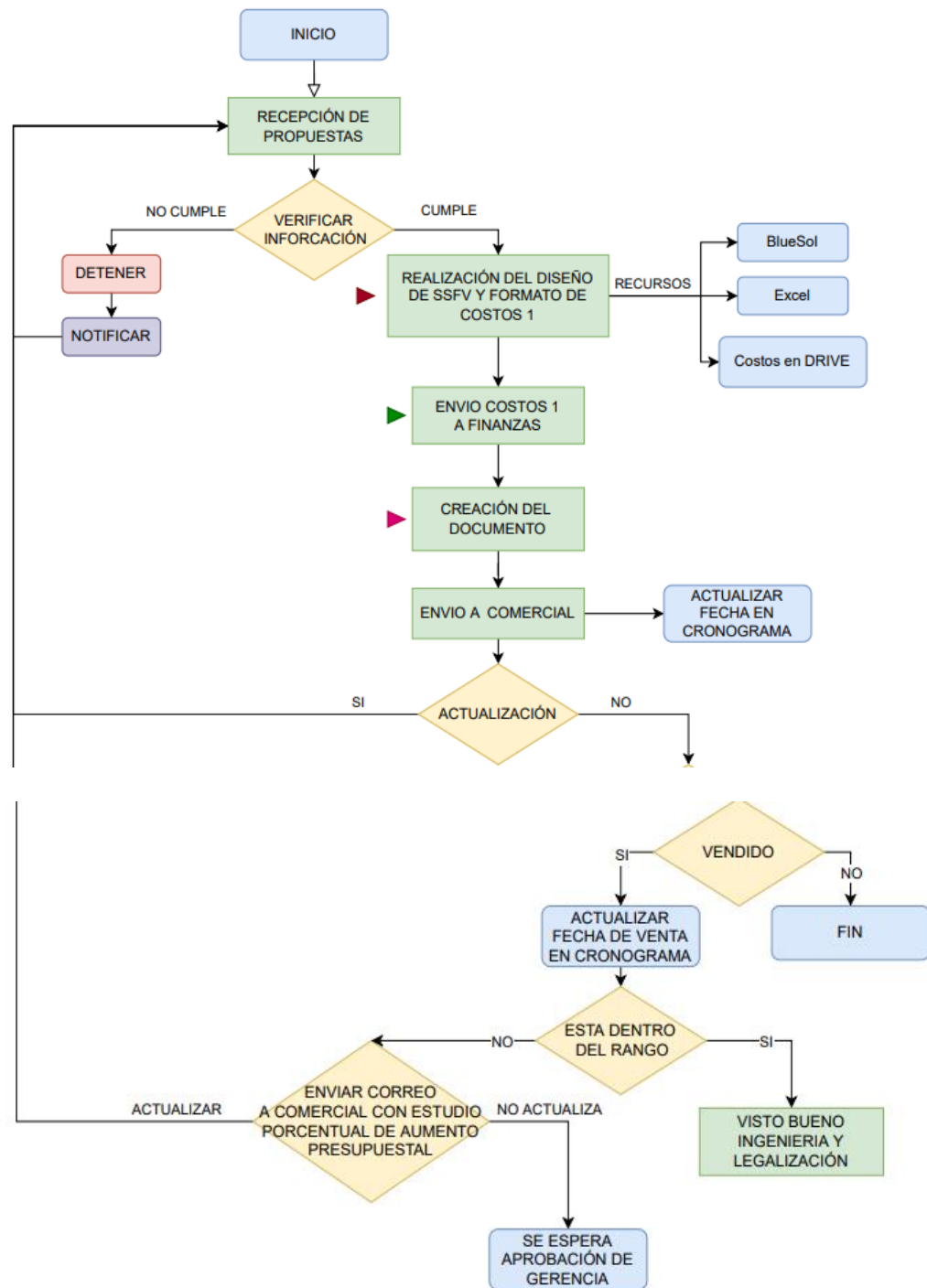
Esto ayudo significativamente en tiempos pues estos dos últimos tenían datos actualizados y se logró establecer una base de datos que se detallará en este capítulo. La Figura 10 presenta el diagrama de flujo del nuevo proceso de diseño y creación de propuestas implementado.

Por otra parte, en la Figura 11 se detallan las etapas que se deben seguir para optimizar los tiempos de respuesta a partir de la sistematización realizada en este trabajo de grado.

**Figure 10** *Diagrama de flujo nuevo proceso de diseño y creación de propuestas.*



**Figure 11** Diagrama de flujo detallado del proceso de diseño y creación de propuestas.



#### **4.1 Mejoramiento de la recepción de propuestas**

Se genero un proceso de verificación inicial al recibir las propuestas, el ingeniero de diseño es el encargado de determinar si la información recibida cumple con los datos requeridos para realizar el diseño del sistema solar fotovoltaico.

Este proceso de verificación ayudo a optimizar tiempo, pues las propuestas que no cumplieran con los estándares mínimos requeridos se notificaban vía correo electrónico al ingeniero comercial y así se procedía a elaborar otra propuesta.

#### **4.2 Cambios en la realización del diseño del SSFV**

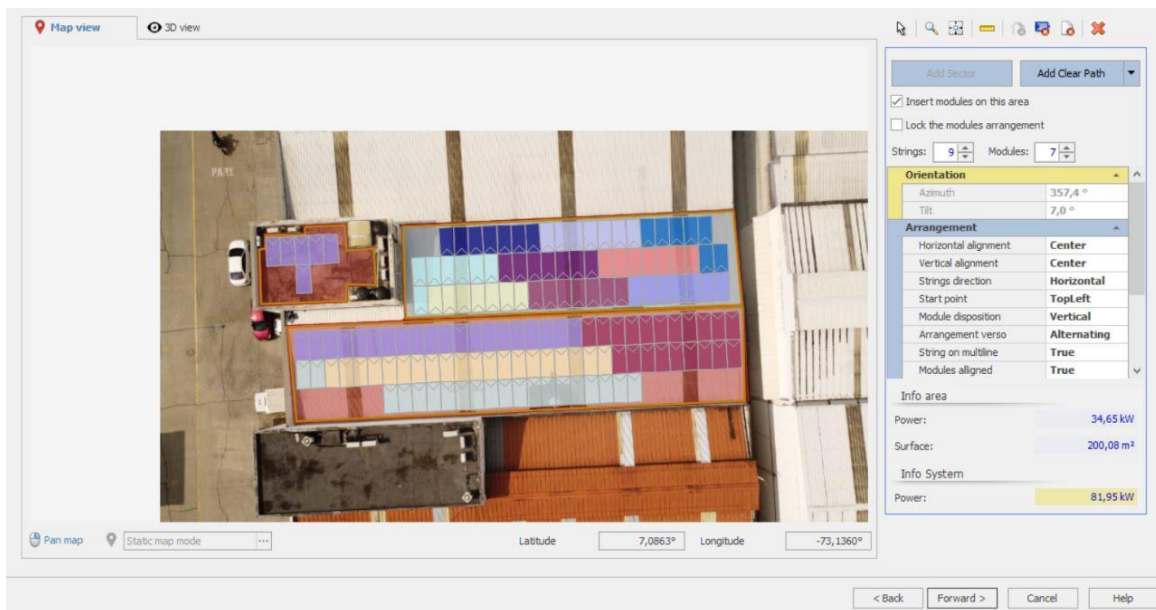
La empresa adquirió la licencia de un software (BLUESOL) en el cual, con solo ingresar datos básicos como: las coordenadas del lugar, la potencia del proyecto y el nivel de tensión; el programa entrega una distribución del sistema solar, así como todo lo relacionado con el tema de sombras y demás parámetros técnicos.

El software permite realizar modificaciones cuando se requieren cambios en el diseño y/o disposición de los módulos fotovoltaicos. También permite ingresar estructuras cercanas al lugar de instalación para determinar el sombreado y evitar posibles puntos calientes.

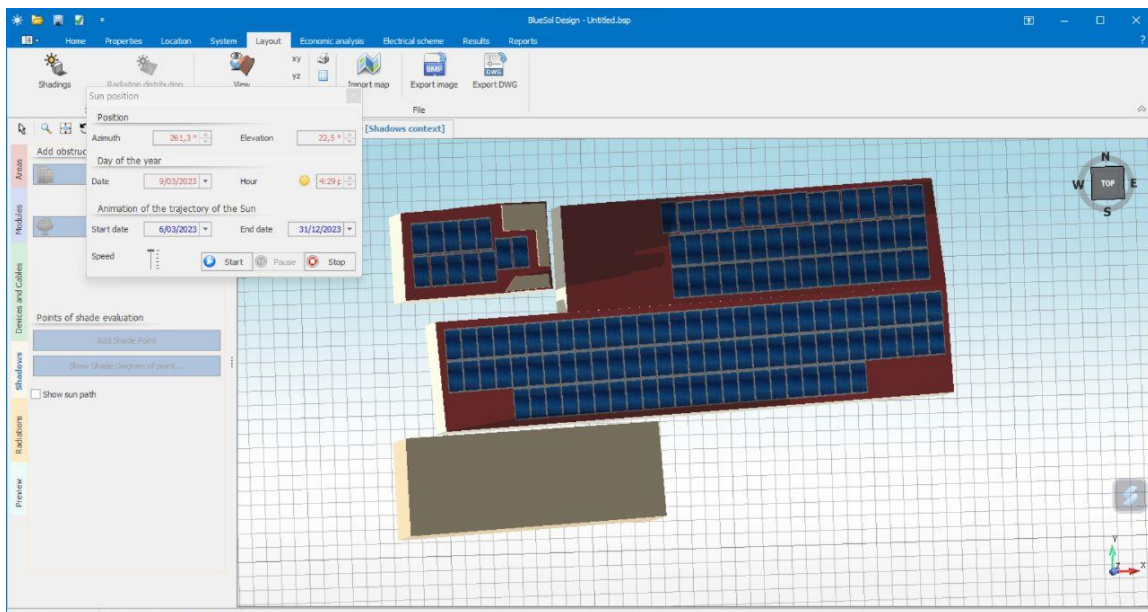
Con la implementación del software se logró la optimizar tiempo, pues al ingresar los datos adecuados él entrega un informe con lo requerido para el diseño l. La Figura 12 muestra los datos ingresados al software y la Figura 13 muestra el estudio de sombras que realiza este software.

Por otra parte, la Figura 14 muestra la predicción de generación de energía (kWh/mes) realizada por el software.

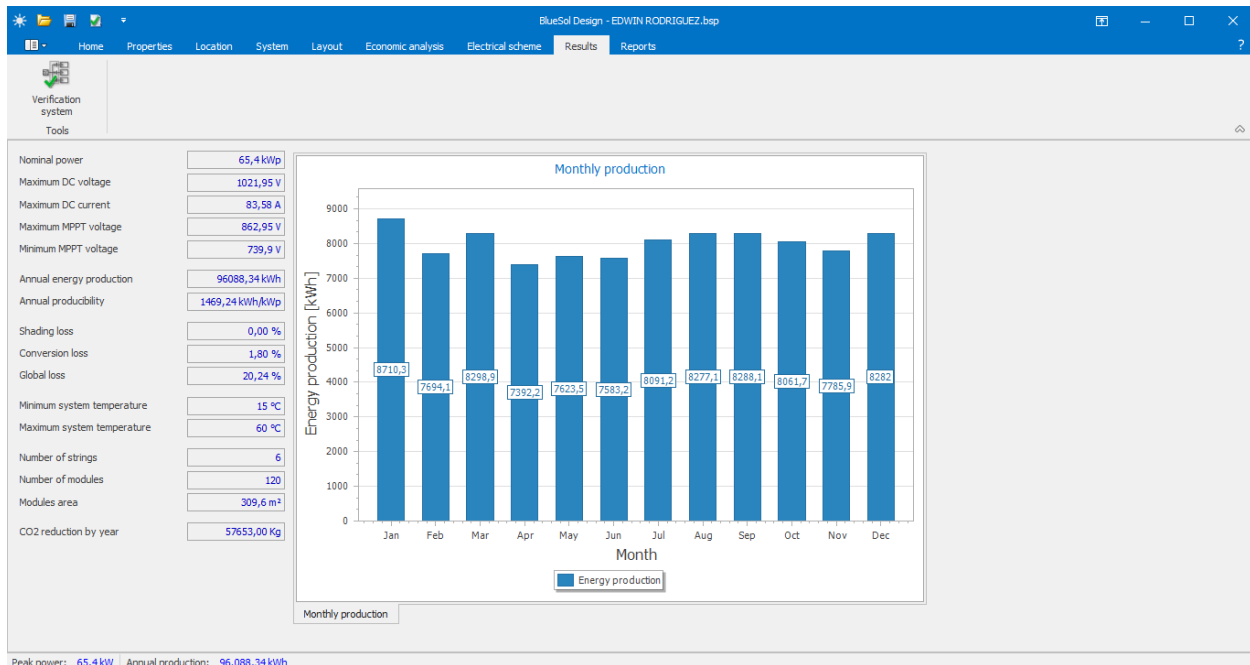
**Figure 12** *Ingreso de datos al software BlueSol.*



**Figure 13** *Estudio de sombras arrojado por el software.*



**Figure 14** Generación de energía (kWh/mes) arrojado por el software.



### 4.3 Cambios en la cotización con proveedores de dispositivos y elementos requeridos para la implementación del sistema fotovoltaico

Se logro establecer junto con el área de logística y compras de la empresa un formato estándar de costos en cuanto a todos los dispositivos, elementos y material que se requiere para la construcción de un sistema solar fotovoltaico.

Este formato estándar se creó en Excel y se mantenía actualizado por temas de la volatilidad del dólar, se debía estar en constante contacto con los proveedores para que se tuvieran precios actualizados.

**Figure 15** Consolidado de proveedores de inversores.

INVERSORES				
CONSOLIDADO PROVEEDORES 2022-2				
PROVEEDOR	ITEM	PRECIO UNITARIO	IVA	PRECIO FINAL
DELRIO S.A.S	INVERSOR GROWATT MAC 10KTL3-XL	\$ 9.500.000	No aplica	\$ 9.500.000
	INVERSOR GROWATT MAC 15KTL3-XL	\$ 10.500.000	No aplica	\$ 10.500.000
	INVERSOR GROWATT MAC 20KTL3-XL	\$ 11.500.000	No aplica	\$ 11.500.000
	INVERSOR GROWATT MAC 30KTL3-XL	\$ 14.800.000	No aplica	\$ 14.800.000
	INVERSOR GROWATT MAC 36KTL3-XL	\$ 17.500.000	No aplica	\$ 17.500.000
tronex	INVERSOR GROWATT MAC 10KTL3-XL	\$ 8.746.000	No aplica	\$ 8.746.000
	INVERSOR GROWATT MAC 15KTL3-XL	\$ 8.973.000	No aplica	\$ 8.973.000
	INVERSOR GROWATT MAC 20KTL3-XL	\$ 10.226.016	No aplica	\$ 10.226.016
	INVERSOR GROWATT MAC 25KTL3-XL	\$ 12.600.000	No aplica	\$ 12.600.000
	INVERSOR GROWATT MAC 30KTL3-XL	\$ 14.617.000	No aplica	\$ 14.617.000
	INVERSOR GROWATT MAC 36KTL3-XL	\$ 14.934.000	No aplica	\$ 14.934.000
	INVERSOR GROWATT MAC 50KTL3-XMV	\$ 12.247.000	No aplica	\$ 12.247.000
	INVERSOR GROWATT MAC 60KTL3-XMV	\$ 13.780.000	No aplica	\$ 13.780.000
	INVERSOR GROWATT MAC 70KTL3-XMV	\$ 13.881.900	No aplica	\$ 13.881.900
IMPROIDE	MICROINVERSOR HOYMILES 2000W	\$ 1.668.793	No aplica	\$ 1.668.793
	MICROINVERSOR YC600B 120V	\$ 952.000	No aplica	\$ 952.000
SOLAIRE	MICROINVERSOR YC1000-3 208V	\$ 1.188.000	No aplica	\$ 1.188.000
	MICROINVERSOR DS3D 2000W	\$ 1.510.000	No aplica	\$ 1.510.000

**Figure 16** Consolidado de proveedores de Breakers.

BREAKERS				
CONSOLIDADO PROVEEDORES 2022-2				
PROVEEDOR	ITEM	PRECIO UNITARIO	IVA	PRECIO FINAL
SOLPHOWER	Solar DC Breaker PROJJOY 2P (500V) 16A	\$ 58.319	\$ 11.081	\$ 69.400
	Solar DC Breaker PROJJOY 2P (500V) 20A	\$ 58.319	\$ 11.081	\$ 69.400
	Solar DC Breaker PROJJOY 2P (500V) 25A	\$ 58.319	\$ 11.081	\$ 69.400
	Solar DC Breaker PROJJOY 2P (500V) 32A	\$ 58.319	\$ 11.081	\$ 69.400
	Solar DC Breaker PROJJOY 2P (500V) 40A	\$ 58.319	\$ 11.081	\$ 69.400
	Solar DC Breaker PROJJOY 2P (500V) 50A	\$ 58.319	\$ 11.081	\$ 69.400
	Solar DC Breaker PROJJOY 2P (500V) 63A	\$ 58.319	\$ 11.081	\$ 69.400
ENERFIT	BREAKER 1X16A	\$ 36.777	\$ 6.988	\$ 43.765
	BREAKER 63A AC 3P	\$ 106.871	\$ 20.305	\$ 127.176
	BREAKER 63A AC 2P	\$ 66.485	\$ 12.632	\$ 79.117
SUNEO	INT-16A-250VDC-1P-FEEO	\$ 33.565	\$ 6.377	\$ 39.942
	INT-63A-400V-3P-SIEMENS	\$ 68.796	\$ 13.071	\$ 81.867
	INT-16A-550VDC-2P-FEEO	\$ 67.051	\$ 12.740	\$ 79.791
	INT-20A-550VDC-2P-FEEO	\$ 67.051	\$ 12.740	\$ 79.791

#### **4.4 Cambios en el proceso de finanzas**

En el área de finanzas en cuanto a tiempo y optimización el cambio no fue tan significativo como en los demás procesos, pero si se logró optimizar tiempo, gracias a reuniones con gerencia, finanzas y diseño se llegó a un acuerdo en el cual, si había un flujo de más de 6 propuesta al día, finanzas debería enviar el costo del proyecto entre 30 minutos y 1 hora por mucho después de recibir el correo por parte de diseño con los costos.

Esto fue un avance puesto que antes se demoraba en responder entre 24 horas o más lo que también generaba retraso al presentar la propuesta al cliente.

#### **4.5 Mejoras en la creación del documento**

Este proceso se optimizo con un formato actualizado dónde los datos ingresados en Excel se concatenaban con el documento en Word para solo se revisar y pegar graficas e imágenes, con esta optimización se pasó de crear un documento en 30 o 40 minutos a crearlo en 15 minutos.

#### **4.6 Cronograma de trabajo para reducir los tiempos de entrega de propuestas económicas**

Este cronograma de trabajo ayudo a tener un orden de propuestas, definir fechas de presentación, esto con el fin de determinar si se requería actualizar una propuesta, se verificaba si cumplía con el plazo de tiempo estipulado que era dos meses por la variación en el precio de los materiales.

**Figure 17** Cronograma de trabajo para reducir los tiempos de entrega de propuestas económicas.

Nombre Proyecto	ESTADO	RESPONSABLE DE EJECUCION	Nombre Cliente	Ingeniero Comercial	Oferta Comercial	Fecha confirmación de la venta	Ubicación
Solugral SAS	LEGALIZACION	JHONNY	Fabian Wilches	Liliana Juan Manuel	12/07/2022	26/09/2022	Br. Portal de HunzaHua, Tunja, Boyacá <a href="https://www.google.com/maps/@5.5818005,-73.3372869,193m/data=!3m1!1e3">https://www.google.com/maps/@5.5818005,-73.3372869,193m/data=!3m1!1e3</a>
Lacteos La Nevada	FINALIZADO		Lacteos La Nevada	Juan Manuel	07/07/2022	24/10/2022	Belén, Boyacá. <a href="https://goo.gl/maps/tvjoifmFEcCaCfUQt8">https://goo.gl/maps/tvjoifmFEcCaCfUQt8</a>
Luis Llanos Híbrido	LEGALIZACION	FABIAN	Luis Llanos	Wainer Vega	30/08/2022	29/09/2022	Carrera 19#154-19 Bogotá D.C.-Colombia <a href="https://goo.gl/maps/f6zHSONbvd7BNgi4A">https://goo.gl/maps/f6zHSONbvd7BNgi4A</a>
El Gran Kactus Veleño			El Gran Kactus Veleño	Juan Manuel	06/09/2022		Vélez, Santander <a href="https://goo.gl/maps/YkEcasWJA6SnjZr6">https://goo.gl/maps/YkEcasWJA6SnjZr6</a>
Fruti Dulces	COSTOS 2	NELSON	Productos Fruti Dulces	Juan Manuel	18/08/2022	04/11/2022	Barbosa, Santander <a href="https://goo.gl/maps/1gHXvVK1cmrvz43e8">https://goo.gl/maps/1gHXvVK1cmrvz43e8</a>
Gamaprim			Gomaprim SAS. -Bogotá	Wainer Vega	19/07/2022		Carrera 135 #15-08 Bogotá-Cundinamarca <a href="https://goo.gl/maps/HiuUVZokfHFn9w448">https://goo.gl/maps/HiuUVZokfHFn9w448</a>
Trapiche Luis Aranda - Biofoods	LEGALIZACION		Luis Aranda	Juan Manuel	07/07/2022	04/10/2022	Vereda Motavita, Chitaraque, Boyaca <a href="https://goo.gl/maps/N5gpha2Ad6VmDNh8A">https://goo.gl/maps/N5gpha2Ad6VmDNh8A</a>
Coeducadores			Coeducadores Boyacá	Juan Manuel	09/09/2022		Cite, Barbosa, Santander <a href="https://g.page/IASCEBOY?share">https://g.page/IASCEBOY?share</a>
Ricaurte	COSTOS 2	JHONNY	Grupo Empresarial La Ricaurte	Juan Manuel	02/09/2022	22/11/2022	Moniquirá, Boyacá <a href="https://goo.gl/maps/AfmbrrqyY8LiuYV9C8">https://goo.gl/maps/AfmbrrqyY8LiuYV9C8</a>
FINCA EL PARAISO	COSTOS 2	FABIAN	FINCA EL PARAISO	Juan Manuel	9/12/2022	13/12/2022	<a href="https://eoo.el/maos/iHsMAsbiiuZ9oy9i9">https://eoo.el/maos/iHsMAsbiiuZ9oy9i9</a>

## 5. Conclusiones y recomendaciones

En este capítulo se presentan las conclusiones del trabajo de grado y algunas recomendaciones sobre aspectos que se pueden seguir mejorando.

### 5.1 Conclusiones

Las conclusiones del trabajo de grado son:

- Cumpliendo con el primer objetivo de sistematización del proceso se evidencio en los resultados que se logró disminuir los tiempos de 5 días en entregar una propuesta, hasta 5 propuestas por día lo que nos lleva 1,8 horas por propuesta, esto fue un logro significativo tanto para la empresa y el autor de este trabajo de grado.
- Fue importante la organización y estructuración de un proceso, que permitió optimizar tiempos gracias a que con el apoyo de unas bases de datos registradas por los ingenieros de diseño, logística y legalización; se logró hacer más eficiente la estructuración de las propuestas.
- En el desarrollo del trabajo de grado el autor dio soporte en la elaboración de diagramas unifilares y memorias de cálculo de proyectos que fueron presentados a los operadores de red. También participo en actividades de mantenimientos preventivos y correctivos, y asumió el rol de líder de una cuadrilla de técnicos para un mantenimiento preventivo y de limpieza en una instalación solar fotovoltaica.

- Cabe resaltar que también participó en visitas técnico-comerciales con nuevos clientes, en los cuales se requería la inspección visual y la toma de medidas de tensión, corriente para determinar el sistema para el cliente.
- Como conclusión, todas estas actividades realizadas durante el desarrollo del trabajo de grado han fortalecido competencias necesarias para mi desarrollo profesional.

## **5.2 Recomendaciones**

Una de las principales recomendaciones es mejorar la optimización para el material de soporte (estructura), pues como se logró optimizar en Excel sería más viable considerar un software que directamente entregue cantidades y ubicación exacta de dicha estructura.

Otra recomendación es crear una base de datos a nivel de cantidades por potencias de proyectos con un margen de error mínimo de alrededor de un 2%, para que solo sea verificar precios con proveedores y así automatizar aún más el proceso y disminuir tiempos.

Y, por último, pero no menos importante ya más a nivel de empresa tratar de comprar en gran cantidad material eléctrico como cableado para evitar sobrecostos en una nueva y eventual subida del dólar y así poder ser más competitivos en el mercado.

### Referencias Bibliográficas

Compendio de Energía Solar: Fotovoltaica, Térmica y Termoeléctrica (Adaptado al Código Técnico de la edificación y al nuevo RITE). José M. Fernández Salgado. Madrid (España).

Obtenido de Biblioteca Central UIS.

Electricidad y electrónica, CFGM Instalaciones eléctricas y automáticas, Instalaciones Solares Fotovoltaicas. Miquel Casa – Mónica Barrio.

Obtenido de Biblioteca Central UIS.

Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2018). CREG 015. Por la cual se establece la metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el sistema interconectado nacional. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía.

Obtenido

[http://apolo.creg.gov.co/publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/65f1aaf1d57726a90525822900064dac/\\$file/creg015-2018.pdf](http://apolo.creg.gov.co/publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/65f1aaf1d57726a90525822900064dac/$file/creg015-2018.pdf)

Código Eléctrico Colombiano, Norma NTC 2050. El objetivo de este código es la salvaguardia de las personas y de los bienes contra los riesgos que pueden surgir por el uso de la electricidad.

Obtenido

[https://www.ugc.edu.co/pages/juridica/documentos/institucionales/Norma\\_%20NTC\\_2050\\_98\\_codigo\\_electrico\\_col.pdf](https://www.ugc.edu.co/pages/juridica/documentos/institucionales/Norma_%20NTC_2050_98_codigo_electrico_col.pdf)

Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). El objeto fundamental es garantizar la seguridad de las personas, de la vida animal y vegetal y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico.

Obtenido <https://www.minenergia.gov.co/documents/9024/9703.pdf>