

Fase de diagnóstico, estudios de mercado, diseño, prototipado de la implementación de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica en las oficinas de constructora Bolívar Bogotá

**Fase de diagnóstico, estudios de mercado, diseño, prototipado de la implementación de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica en las oficinas de constructora Bolívar Bogotá**

Deyanira Díaz Gómez

Daniel Santiago Chinome Arias

Brahian Alexander Narváez García

TDG-2023-1-006

Director: Oscar Vega Camacho

Director maestría en gerencia organizacional de proyectos

Universidad el Bosque

Especialización en gerencia de proyectos

Bogotá D.C., Colombia

18 de enero de 2024

## Contenido

Resumen .....	11
Abstract .....	12
Marco teórico .....	13
Capítulo 1 Descripción del proyecto.....	22
1.1 Descripción del proyecto.....	22
1.2 Objetivo general .....	23
1.3 Objetivo organizacional .....	23
1.4 Objetivo de la triple restricción.....	23
1.5 Justificación.....	24
1.6 Entregables principales .....	24
1.7 Supuestos.....	24
1.8 Exclusiones.....	25
1.9 Restricciones .....	25
1.10 Presupuesto preaprobado.....	25
Capítulo 2 proceso de iniciación .....	26
2.1 Acta de constitución del proyecto .....	26
2.2 Identificación de grupo de interesados.....	27
Capítulo 3 proceso de planeación.....	27
3.1 Plan de gestión de la configuración.....	27
3.1.1 Objetivo.....	27
3.1.2 Metodología del plan de configuración. ....	28
3.2 Procesos de Planeación de la Gestión de interesados .....	29
3.2.1 Identificación de interesados.....	29

Fase de diagnóstico, estudios de mercado, diseño, prototipado de la implementación de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica en las oficinas de constructora Bolívar Bogotá

3.2.2 Planificar el involucramiento de los interesados .....	29
3.2.3 Gestionar el involucramiento de los interesados .....	29
3.2.4 Monitorear el involucramiento de los interesados .....	30
3.3 Procesos de planeación de la Gestión del Alcance .....	30
3.3.1 Planificar la gestión del alcance.....	30
3.3.2 Recopilar requisitos .....	30
3.3.3 Definir el alcance .....	30
3.3.4 Crear la EDT/WBS .....	31
3.3.5 Validar el alcance.....	31
3.3.6 Controlar el alcance .....	31
3.4 Procesos de Planeación de la Gestión del Cronograma .....	33
3.4.1 Planificar la Gestión del cronograma.....	33
3.5 Procesos de Planeación de la Gestión de Costos.....	34
3.5.1 Planificar la Gestión de los Costos .....	34
3.5.2 Estimar los Costos.....	35
3.5.3 Determinar el Presupuesto .....	35
3.5.4 Controlar los Costos.....	36
3.6 Procesos de planeación de la Gestión de calidad del proyecto .....	36
3.6.1 Planeación de la calidad.....	36
3.6.2 Medición de la calidad .....	36
3.6.3 Control de la calidad .....	37
3.7 Proceso de planeación de la Gestión de Riesgos.....	37
3.7.1 Planificar la Gestión de los Riesgos.....	37
3.7.2 Identificar los Riesgos.....	37
3.7.3 Análisis Cualitativo de Riesgos .....	37

Fase de diagnóstico, estudios de mercado, diseño, prototipado de la implementación de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica en las oficinas de constructora Bolívar Bogotá

3.7.4 Análisis Cuantitativo de Riesgos .....	38
3.7.5 Planificar la respuesta a los Riesgos: .....	38
3.7.6 Implementar la respuesta a los riesgos: .....	38
3.7.7 Monitorear los riesgos: .....	38
3.8 Acta de cierre de planeación .....	39
Capítulo 4 proceso de ejecución, seguimiento, control y cierre.....	39
4.1 Informes de gestión de cambios del proyecto .....	39
4.1.1 Gestión de cambios con corte a 15 de septiembre de 2023 .....	40
4.1.2 Gestión de cambios con Corte 03 de noviembre .....	40
4.1.3 Gestión de cambios con Corte 05 diciembre .....	41
4.2 Informes de avance del proyecto.....	42
4.2.1 Primer informe de Seguimiento y Control con corte a 15 de septiembre.....	42
4.3 Validación del alcance.....	43
4.3.1 Control del alcance .....	43
4.3.2 Control de la calidad .....	43
4.4 Plan de configuración.....	44
4.4.1 Flujograma del proceso del control integrado de cambios .....	45
4.4.2 Alcance .....	46
4.4.3 Validación y seguimiento a requisitos .....	48
4.4.4 Cronograma.....	48
4.4.5 Calidad .....	49
4.5 Dashboard.....	51
4.6 Informe de cierre .....	58
4.7 Acta de cierre .....	68
4.8 Lecciones Aprendidas .....	69

Fase de diagnóstico, estudios de mercado, diseño, prototipado de la implementación de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica en las oficinas de constructora Bolívar Bogotá

4.8.1 Hacer más.....	69
4.8.2 Comenzar a hacer.....	69
4.8.3 Seguir haciendo.....	69
4.8.4 Hacer menos.....	70
Capítulo 5 Evidencias del producto .....	70
5.1 fase de análisis.....	70
5.1.1 Matriz Dofa.....	70
5.1.2 Estudio de mercado.....	70
5.2 Diseño.....	75
5.2.1 Análisis previos.....	75
5.2.2 Evaluación de infraestructura existente .....	76
5.2.3 Estudios técnicos.....	85
5.3 Análisis económico y financiero .....	89
5.4 Análisis ambiental .....	91
5.4.1 Beneficios .....	91
5.4.2 Impactos .....	92
5.5 Prototipo .....	93
Referencias .....	102

## Lista de figuras

Figure 1 Efecto fotoeléctrico.....	15
Figure 2 Composición panel solar.....	16
Figure 3 Inversor solar hibrido.....	17
Figure 4 Clasificación sistema solar fotovoltaico .....	19
Figure 5 Esquema básico de un sistema solar fotovoltaico Off Grid.....	20
Figure 6 Esquema básico de un sistema solar fotovoltaico On Grid .....	20
Figure 7 Control de cambios 001 .....	39
Figure 8 Control de cambios 002 .....	41
Figure 9 Control de cambios 002 .....	42
Figure 10 EDT.....	43
Figure 11 Flujograma del proceso de control integrado de cambios .....	45
Figure 12 EDT con corte a 15 de septiembre de 2023 .....	47
Figure 13 EDT con corte a 03 de noviembre de 2023 .....	48
Figure 14 Criterios de calidad paneles e inversores .....	49
Figure 15 Evaluación teórica de la calidad de paneles e inversor.....	50
Figure 16 Entrega de potencia de los inversores y nivel de tensión .....	50
Figure 17 Curva S en la etapa de planeación .....	52
Figure 18 primer informe fecha de corte 15 de septiembre de 2023.....	53
Figure 19 Curva S con fecha de corte 15 de septiembre de 2023 .....	53
Figure 20 Segundo informe fecha de corte 03 de noviembre de 2023.....	54
Figure 21 Curva S con fecha de corte 03 de noviembre de 2023.....	54
Figure 22 Curva S con fecha de corte 05 de diciembre de 2023.....	56
Figure 23 Indicadores con fecha de corte 05 de diciembre de 2023 .....	57

Figure 24 EDT V0 etapa de planeación con corte a 31 de mayo de 2023 .....	58
Figure 25 EDT con fecha de corte al 15 de septiembre de 2023 .....	59
Figure 26 EDT con fecha de corte al 03 de noviembre de 2023 .....	60
Figure 27 EDT con fecha de corte al 05 de diciembre de 2023 .....	61
Figure 28 Matriz de requisitos .....	62
Figure 29 Estado de los costos con fecha de corte a 15 de septiembre de 2023 .....	62
Figure 30 Distribución de costos con fecha de corte a 15 de septiembre de 2023.....	63
Figure 31 Detalle de costos con fecha de corte a 15 de septiembre de 2023 .....	63
Figure 32 Estado de los costos con fecha de corte a 03 de noviembre de 2023 .....	64
Figure 33 Distribución de costos con fecha al 03 de noviembre de 2023 .....	64
Figure 34 Detalle de costos con fecha de corte a 03 de noviembre de 2023.....	65
Figure 35 Estado de los costos con fecha del 05 de diciembre de 2023 .....	65
Figure 36 Distribución de costos con fecha de corte 03 de diciembre de 2023 .....	66
Figure 37 Detalle de costos con fecha de corte a 03 de diciembre de 2023.....	66
Figure 38 Riesgos con fecha de corte 15 de septiembre de 2023 .....	67
Figure 39 Riesgos con fecha de corte a 03 de noviembre de 2023 .....	67
Figure 40 uso de reservas .....	68
Figure 41 Capacidad instalada de energía solar en Colombia a 2021.....	72
Figure 42 Cubiertas Constructora Bolívar .....	77
Figure 43 Tablero general de alimentadores en subestación de Torre A .....	77
Figure 44 Tablero general de alimentadores en subestación de Torre B .....	78
Figure 45 Diagrama unifilar Torre A .....	79
Figure 46 Estructura de cubierta Oficinas Constructora Bolívar .....	80
Figure 47 Cubierta Torre B, edificio Zuana.....	81
Figure 48 Cubierta Torre A, edificio Bolívar.....	82

Fase de diagnóstico, estudios de mercado, diseño, prototipado de la implementación de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica en las oficinas de constructora Bolívar Bogotá

Figure 49 Análisis estructural Torre A.....	83
Figure 50 Análisis estructural Torre B .....	84
Figure 51 Tipo de teja, correas y carga en cubierta .....	84
Figure 52 Ubicación de las oficinas de Constructora Bolívar.....	86
Figure 53 Resultados de radiación solar .....	86
Figure 54 Propuesta de ubicación de paneles solares .....	87
Figure 55 Datos técnicos del sistema solar para torre A.....	88
Figure 56 datos técnicos del sistema solar para torre B .....	88
Figure 57 Propuesta de ubicación de inversores .....	89
Figure 58 Diagrama de gestión de residuos .....	93
Figure 59 Instalación paneles solares en sala de ventas San Mateo.....	94
Figure 60Panel solares instalados en la sala de ventas San Mateo .....	94
Figure 61 Manual de mantenimiento paneles solares .....	95
Figure 62 Extracción de datos desde el inversor.....	95
Figure 63 Inspección cuartos técnicos Oficinas Gratamira.....	96
Figure 64 Planos estructurales oficinas Gratamira.....	96
Figure 65 Evidencia reuniones con Sponsor y equipo de trabajo .....	97
Figure 66 Evidencia capacitación personal constructora Bolívar .....	98
Figure 67 Evidencia planos eléctricos sistema solar .....	99
Figure 68 Evidencia propuestas y diseño solar para las oficinas de constructora Bolívar.....	99
Figure 69 Evidencia cotización sistema solar PPA.....	100
Figure 70 Evidencia análisis económico modelo de negocio PPA .....	100

Fase de diagnóstico, estudios de mercado, diseño, prototipado de la implementación de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica en las oficinas de constructora Bolívar Bogotá

### **Dedicatoria**

Dedico y agradezco a Dios por darme la oportunidad y las herramientas para alcanzar esta meta, a mi esposo, hijo y madre por ser fuente de inspiración y brindarme su apoyo incondicional, a la universidad por su formación, a los profesores, equipo de trabajo, compañeros y todas las personas involucradas en este proceso por su participación y compromiso.

***Deyanira Díaz Gómez***

### **Dedicatoria**

Dedico este logro a Dios porque su presencia en mi vida permitió que lograra este objetivo, a mi familia por su amor incondicional, a mi esposa por su comprensión, su apoyo y su compañía en los momentos difíciles, a mi equipo de trabajo por su esfuerzo y dedicación, a los profesores de la Universidad El Bosque por abrir mi mente hacia nuevos conocimientos y horizontes y a todos los que estuvieron presentes durante este gran proceso.

***Daniel Santiago Chinome***

### **Dedicatoria**

A mis padres, por su amor incondicional, su apoyo constante y su paciencia infinita. Gracias por estar siempre ahí, incluso cuando no ha sido fácil. Sus sacrificios son el fruto de que hoy pueda llegar hasta este punto subiendo un escalón más en mi vida profesional.

A mi esposa, por su amor, apoyo y comprensión incondicional. Gracias por ser mi compañera de vida y por siempre estar ahí para mí en los momentos más difíciles. Gracias por apoyarme en mis sueños y por ser la mejor madre que nuestro hijo podría tener.

A mi hijo, por el sacrificio que hemos hecho el tiempo que dejamos de compartir durante este año. Gracias por entender que tenía que terminar esta etapa para poder cumplir mis sueños.

Verte crecer ha sido la mejor experiencia de mi vida.

Este trabajo es el resultado de su apoyo y sacrificio. No podría haberlo logrado sin ustedes.

***Brahian Alexander Narváez G.***

Fase de diagnóstico, estudios de mercado, diseño, prototipado de la implementación de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica en las oficinas de constructora Bolívar Bogotá

### **Agradecimientos**

Queremos extender nuestro agradecimiento a la Universidad del Bosque, Facultad de Ingeniería, al personal de la Especialización en Gerencia de proyectos y de Constructora Bolívar por acompañarnos, brindarnos información, tiempo y enseñanzas, que contribuyeron a lograr el éxito de este proyecto y un aprendizaje en nuestras vidas profesionales.

## **Resumen**

Este documento presenta la gerencia de un proyecto de innovación en Constructora Bolívar para la implementación de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica en las oficinas principales sede Gratamira en la ciudad de Bogotá. El proyecto se desarrolla en los siguientes grupos de proceso:

- Inicio: definición del alcance, objetivos, riesgos y beneficios del proyecto.
- Planeación: definición de las actividades, recursos y cronograma del proyecto.
- Ejecución: implementación de las actividades del proyecto.
- Monitoreo y control: seguimiento del progreso del proyecto y toma de acciones correctivas.
- Cierre: entrega del proyecto al cliente.

Para cada uno de los grupos de procesos se indica el detalle de su desarrollo, los pasos y herramientas utilizadas, dando cumplimiento con los objetivos del proyecto bajo la metodología del PMI.

*Palabras clave:* generación solar, paneles solares, PPA, gerencia de proyectos

## **Abstract**

This document presents the management of an innovation project in Constructora Bolivar for the implementation of a photovoltaic solar energy generation system in the main offices of the Gratamira headquarters in the city of Bogota. The project is developed in the following process groups:

- **Initiation:** definition of the scope, objectives, risks and benefits of the project.
- **Planning:** definition of activities, resources and project schedule.
- **Execution:** implementation of project activities.
- **Monitoring and control:** tracking project progress and taking corrective actions.
- **Closing:** delivery of the project to the client.

For each of the process groups, details of their development, the steps and tools used are indicated, in compliance with the project objectives under the PMI methodology.

**Keywords:** solar generation, solar panels, PPA, project management

## Marco teórico

El futuro energético seguro y sostenible es un reto al que se enfrenta la humanidad. La asamblea general de las naciones unidas ha establecido los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) como el principio rector para el desarrollo del planeta a largo plazo. Las fuentes de energía renovables contribuyen al cumplimiento de los siguientes objetivos de desarrollo:

- ODS 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.
- ODS 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.
- ODS 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.

Las fuentes de energía renovables son una solución clave para el futuro energético seguro y sostenible. Las fuentes de energía renovables, como la solar, la eólica y la hidroeléctrica, son limpias, inagotables y no generan emisiones de gases de efecto invernadero.

Sathaye et al. (2011) identificaron tres pilares fundamentales para la energía sostenible: mayor eficiencia energética, aumento del uso de energías renovables y desarrollo de nuevas tecnologías energéticas más eficientes. Las energías renovables y la sostenibilidad energética surgieron de dos preocupaciones distintas: la primera, el agotamiento de recursos naturales no renovables como los combustibles fósiles; la segunda, el deterioro ambiental y la disminución de la calidad de vida de las generaciones presentes y futuras. Ambos conceptos son hoy en día de gran importancia en las agendas políticas de los gobiernos internacionales.

En la cumbre de París, Colombia se comprometió a reducir sus emisiones proyectadas para 2030 en un 30%. Esta cifra es baja, pero si no se toman acciones, las emisiones podrían aumentar un 50% en ese año. Esta es una oportunidad para que el país modernice su economía, proteja los bosques, reduzca la deforestación y cuente con una industria eficiente y baja en carbono. Además, es pertinente incentivar y desarrollar fuentes alternativas de energía limpia para asegurar la confiabilidad del sistema eléctrico. (García Arbeláez, Vallejo López, Higgins, & Escobar, 2016)

La energía solar es el recurso con mayor potencial entre las fuentes de energía alternativas y universalmente disponibles. Varios autores coinciden en que el Sol es un recurso sostenible y abundante para la generación de energía. Es la principal fuente de energía del planeta, impulsa la circulación del viento y las corrientes oceánicas, el ciclo de evaporación y condensación del agua que lleva a la creación de ríos y lagos, y los ciclos biológicos de la fotosíntesis y la vida.

La energía solar es una forma de radiación electromagnética que proviene del Sol. La radiación solar viaja a través de la atmósfera, donde se debilita por procesos como la dispersión y la absorción. La radiación solar que llega a la superficie terrestre puede ser reflejada o absorbida. La energía solar se puede utilizar de diferentes maneras, pero todas las técnicas requieren las etapas funcionales de captación, conversión y almacenamiento.

La radiación solar que llega a la superficie terrestre se puede clasificar en tres tipos:

- Radiación directa: es aquella que llega desde el Sol en línea recta, sin que se desvíe ni disperse en su paso por la atmósfera.
- Radiación difusa: es la que llega a la superficie de la Tierra con un cambio de dirección al pasar por la atmósfera.
- Radiación reflejada: es la que proviene después de reflejar en objetos de la Tierra.

Para transformar la radiación solar en electricidad, se utilizan células solares. Las células solares son pequeños elementos que se fabrican en materiales semiconductores cristalinos y con adiciones de ciertos tipos de impurezas. Las células solares convencionales están hechas de silicio. Una célula solar típica se compone de dos láminas muy delgadas de materiales semiconductores que se superponen: la primera de un cristal de silicio con impurezas de fósforo, y la segunda, de un cristal de silicio con impurezas de boro.

Las células fotovoltaicas se fabrican a partir de materiales semiconductores, siendo el silicio el principal elemento con el que se fabrican. El silicio es el segundo elemento más abundante de la corteza terrestre y se encuentra en forma de sílice (cuarzo).

Las células fotovoltaicas se clasifican en cuatro tipos:

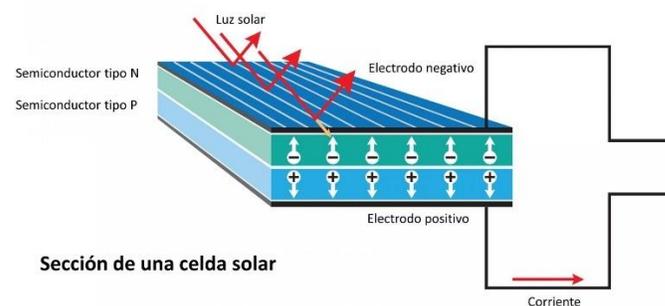
- Monocristalinas: son las que proporcionan el rendimiento más elevado (entre el 15 y el 18 %). Se obtienen de silicio puro fundido y dopado con boro.

- Policristalinas: proporcionan un rendimiento del 12 al 14 %. Tienen la ventaja de un menor espesor y coste.
- Amorfo: tienen una capacidad superior de absorción de la luz, pero proporcionan un rendimiento inferior al 10 %.
- Bifaciales: tienen un rendimiento superior al 30 %, ya que aprovechan la radiación frontal y la reflejada del suelo.

Las células fotovoltaicas funcionan a través del efecto fotoeléctrico, que consiste en la liberación de electrones libres en un material semiconductor cuando se le expone a la radiación electromagnética.

Este proceso se genera gracias a que en primer lugar se crea una diferencia de potencial entre ambas capas lo que favorece un intercambio de electrones de la capa n a la p. Posteriormente, para poder realizar este intercambio se necesita energía suficiente para superar la banda de conducción lo que provoca que dicha energía provendrá de la energía de los fotones contenidos en la radiación solar incidente generando de esta forma una corriente de electrones entre ambas capas, dando lugar a una corriente eléctrica en corriente continua, cuya tensión e intensidad dependerá de las características del panel y del número de paneles empleados.

*Figure 1 Efecto fotoeléctrico*



Nota. Fuente: <https://espirituracer.com/archivos/2017/11/efecto-fotovoltaico.jpg>

Una célula solar de 100 cm<sup>2</sup> produce 1,5 W, con una tensión de 0,5 V y una corriente de 3 A. Estos valores son insuficientes para la mayoría de las aplicaciones, por lo que es necesario agrupar varias células para aumentar la tensión y la corriente.

Un módulo fotovoltaico es un conjunto de células solares conectadas entre sí y encapsuladas en un material protector. Los módulos se diseñan para producir una tensión de funcionamiento específica, normalmente de 12 V o 24 V. La tensión de funcionamiento depende de la cantidad de radiación solar que incide en el módulo.

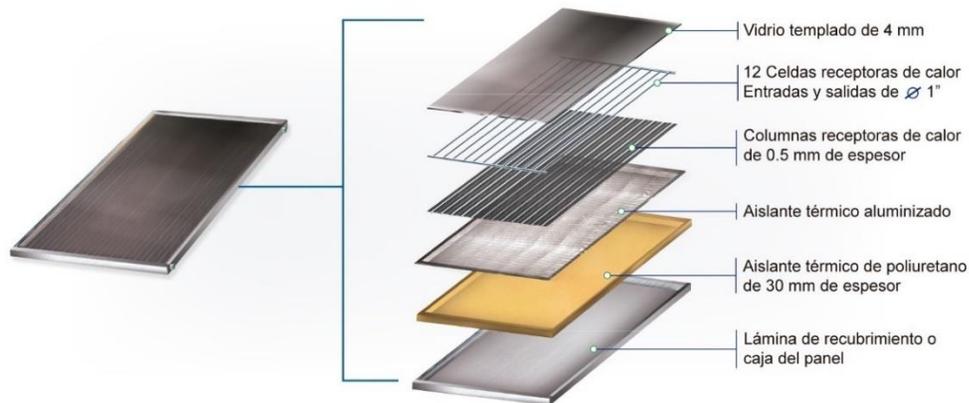
Los módulos fotovoltaicos suelen tener entre 36 y 96 células conectadas, ya sea en serie o en paralelo. En el primer caso, se conectan los terminales positivos de un módulo con los negativos del siguiente, y así sucesivamente. En el segundo caso, se conectan los terminales positivos de todos los módulos entre sí, y los negativos también.

Los módulos se pueden agrupar en paneles, que son conjuntos de varios módulos conectados entre sí. Los paneles permiten obtener una mayor potencia y eficiencia.

Los strings son conjuntos de paneles conectados en serie. La tensión de un string es la suma de las tensiones de los paneles que lo componen. La corriente de un string es la misma que la de cada uno de los paneles.

Los arrays son conjuntos de strings conectados en paralelo. La corriente de un array es la suma de las corrientes de los strings que lo componen. La tensión de un array es la misma que la del string de menor tensión.

*Figure 2 Composición panel solar*

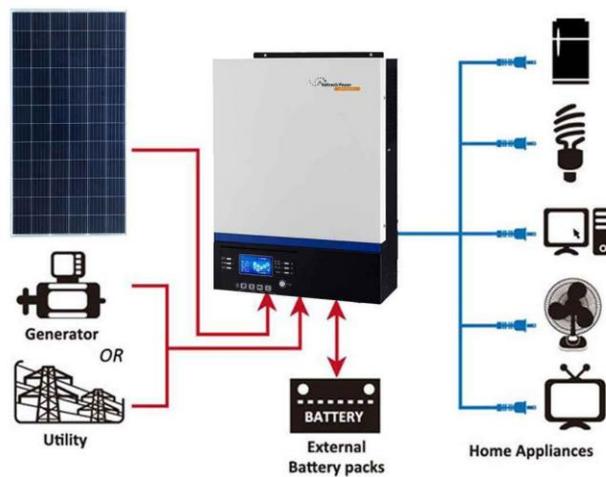


Nota. Fuente: <https://www.juanalvarez.com.ec/wp-content/uploads/2018/07/CompPanel.jpg>

El inversor es un componente esencial de los sistemas solares fotovoltaicos conectados a la red. Se encarga de transformar la corriente continua generada por los paneles fotovoltaicos en corriente alterna, que es la que se utiliza en los hogares y empresas.

Además de esta función principal, el inversor también optimiza el rendimiento de los paneles, monitoriza el funcionamiento del sistema y protege el sistema de sobretensiones o cortocircuitos.

Figure 3 Inversor solar hibrido



Nota. Fuente: <https://solarmat.es/img/cms/que-es-un-inversor-hibrido.jpg>

Para complementar el sistema o arreglo fotovoltaico, se requiere un contador bidireccional o medidor que mida la energía eléctrica generada por el sistema solar fotovoltaico y el consumo de la institución en ausencia de radiación. Esto permitirá calcular la retribución económica que recibirá la institución por la energía generada.

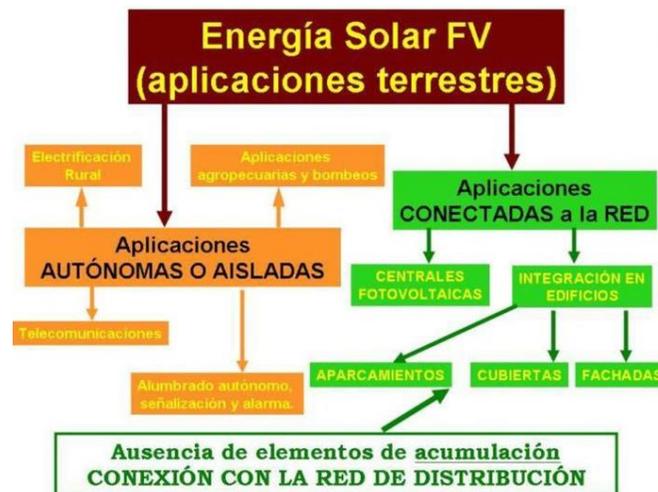
Un sistema solar fotovoltaico es un conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que captan la energía solar y la convierten en energía eléctrica. Los componentes básicos de un sistema solar fotovoltaico son:

- Paneles fotovoltaicos: Son los encargados de convertir la energía solar en energía eléctrica.
- Inversor: Transforma la corriente continua generada por los paneles en corriente alterna, que es la que se utiliza en los hogares y empresas.
- Baterías: Almacenan la energía eléctrica generada por los paneles para su uso posterior.
- Medidor: Mide la energía eléctrica generada por el sistema.

Las condiciones de funcionamiento de un módulo fotovoltaico dependen de variables como la radiación solar y la temperatura. Para la comparación adecuada de los distintos módulos, se han definido condiciones de trabajo nominales o estándar. Estas condiciones se han normalizado para una temperatura de funcionamiento de 25°C y una radiación solar de 1000 W/m<sup>2</sup>. La potencia de un módulo se expresa en vatios pico (Wp) y se refiere a la potencia que se suministra en condiciones normalizadas.

Por lo tanto, estos sistemas independientemente de su aplicación y potencia se pueden dividir en dos categorías: Sistema autónomo Off grid y sistema conectado a red On grid (Figura 5).

Figure 4 Clasificación sistema solar fotovoltaico



Nota. Fuente:

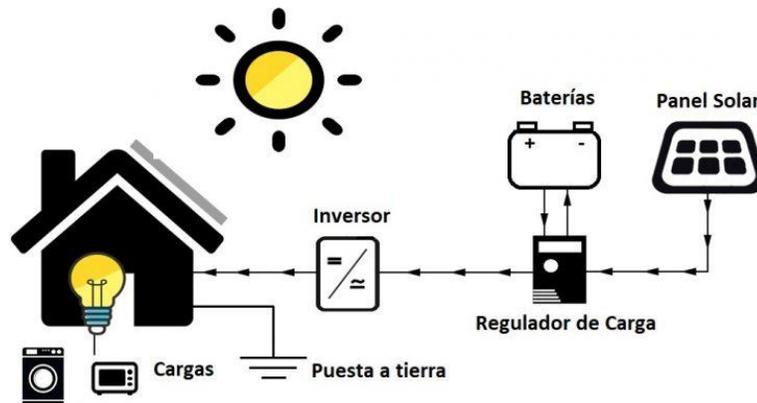
[https://web.ujaen.es/investiga/solar/documentacion\\_pv\\_in\\_bloom/Seminarios%20PV%20in%20Bloom.%20Introduccion%20a%20los%20SFCR.pdf](https://web.ujaen.es/investiga/solar/documentacion_pv_in_bloom/Seminarios%20PV%20in%20Bloom.%20Introduccion%20a%20los%20SFCR.pdf)

Los sistemas fotovoltaicos autónomos (Off grid) son sistemas que no dependen de la red eléctrica para funcionar. Su estructura varía en función de los componentes que los integran. Se pueden clasificar en tres tipos:

- Directamente conectados a una carga: Estos sistemas son los más simples. Los paneles fotovoltaicos generan electricidad que se consume directamente por las cargas.
- Con regulador de carga y batería: Estos sistemas incluyen un regulador de carga que controla la tensión y la corriente que se suministra a la batería. La batería almacena la energía eléctrica para su uso posterior.
- Con regulador de carga, batería e inversor: Estos sistemas incluyen un inversor que convierte la corriente continua generada por los paneles en corriente alterna, que es la que se utiliza en los hogares y empresas.

Los Sistemas Off grid se utilizan para cubrir la demanda de energía eléctrica en zonas aisladas que no hacen parte del sistema interconectado nacional.

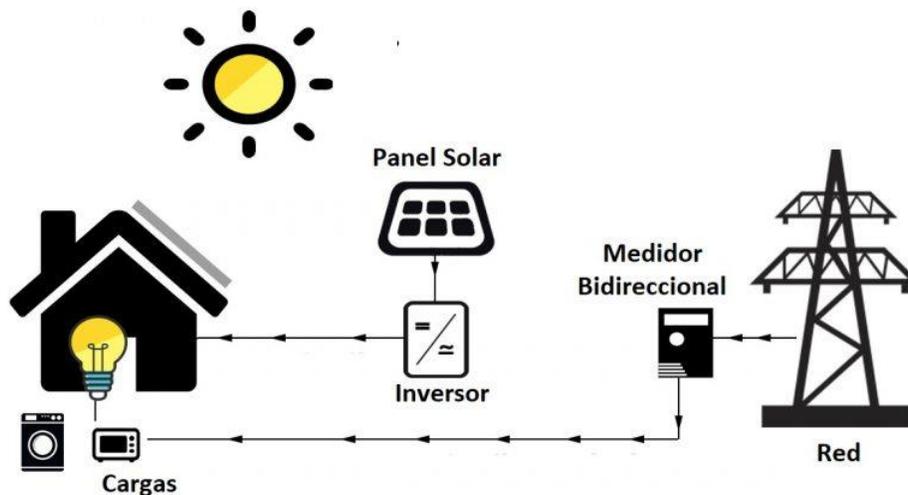
Figure 5 Esquema básico de un sistema solar fotovoltaico Off grid



Nota. Fuente: <https://engi.co/wp-content/uploads/2020/03/Componentes-Sistema-Solar-2.jpg>

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red (On grid) están formados por un generador fotovoltaico y un inversor que convierten la corriente continua generada por los paneles en corriente alterna, que es la que se utiliza en la red eléctrica. Los SFCR son compatibles con una amplia gama de instalaciones, desde centrales de varios megavatios hasta pequeños sistemas de unos cuantos kilovatios (Gómez & Mayorga, 2020; Cohaila, 2018).

Figure 6 Esquema básico de un sistema solar fotovoltaico On grid



Nota. Fuente: <https://engi.co/wp-content/uploads/2020/04/Autoconsumo-Esquema-1.jpg>

Además de los aspectos técnicos, para la implementación de módulos fotovoltaicos es importante tener en cuenta variables económicas como la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Presente Neto (VPN).

La TIR es el porcentaje de rentabilidad que se obtiene de una inversión a lo largo de su vida útil. Se calcula como la tasa de interés que hace que el valor presente neto de todos los flujos de caja del proyecto sea igual a cero.

El VPN es el valor actual de todos los flujos de caja futuros de un proyecto, descontados a una tasa de interés determinada. Se utiliza para comparar la rentabilidad de diferentes proyectos.

En el caso de los módulos fotovoltaicos, la TIR y el VPN son dos indicadores importantes para evaluar la viabilidad económica de un proyecto. Una TIR alta indica que el proyecto es rentable, mientras que un VPN positivo indica que el proyecto generará ganancias.

La TIR se suele calcular de forma anual para facilitar el análisis de proyectos con plazos de implementación prolongados.

El VPN hace referencia a traer a valor presente, utilizando una tasa de descuento adecuada, todos los flujos (positivos o negativos) que se relacionan en el proyecto. Es el que más se utiliza ya que pone en pesos de hoy tanto los ingresos como los egresos futuros, facilitando la decisión desde el punto de vista financiero, de realizar o no un proyecto. Esta variable se basa en la inversión económica la cual se utilizó desde un tiempo inicial hasta el resultado final del proyecto. Se debe determinar la inversión inicial, costos de mantenimiento y costo de reemplazo de equipos. Además, los ingresos de este, que en este caso es la energía que se genera por el sistema fotovoltaico. Esto da como resultado un ahorro para la empresa, pues se reducen los costos en la factura de energía (Crawford, 2019; Camacho, 2020).

La viabilidad económica de un proyecto fotovoltaico depende de una serie de factores, tanto técnicos como económicos. Entre los factores económicos, destacan la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Presente Neto (VPN).

La TIR es el porcentaje de rentabilidad que se obtiene de una inversión a lo largo de su vida útil. Se calcula como la tasa de interés que hace que el valor presente neto de todos los flujos de caja del proyecto sea igual a cero.

El VPN es el valor actual de todos los flujos de caja futuros de un proyecto, descontados a una tasa de interés determinada. Se utiliza para comparar la rentabilidad de diferentes proyectos.

Una TIR alta indica que el proyecto es rentable, mientras que un VPN positivo indica que el proyecto generará ganancias.

La TIR se suele calcular de forma anual para facilitar el análisis de proyectos con plazos de implementación prolongados.

## **Capítulo 1 Descripción del proyecto**

### **1.1 Descripción del proyecto**

El proyecto de implementación de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica en las oficinas de Constructora Bolívar se divide en cuatro fases: diagnóstico, estudios de mercado, diseño y prototipado.

La fase de diagnóstico tiene como objetivo identificar el estado de la infraestructura civil y eléctrica de las instalaciones de la constructora para determinar la serie de actividades necesarias para la implementación del sistema. El estudio de mercado tiene como objetivo identificar las diferentes tecnologías y modelos de negocio para su implementación. El diseño del sistema tiene como objetivo definir las características técnicas del sistema, como la potencia, el tipo de paneles solares, el inversor y determinar la mejor ubicación dentro de las instalaciones. El prototipado tiene como objetivo probar el diseño del sistema en una escala reducida en una sala de ventas de la compañía.

La implementación del sistema de generación de energía solar fotovoltaica en las oficinas de Constructora Bolívar tiene como objetivo reducir el consumo de energía eléctrica, generar energía limpia y renovable, y mejorar la imagen de sostenibilidad de la empresa.

## **1.2 Objetivo general**

Realizar la fase de diagnóstico, estudio de mercado, diseño y prototipado de la implementación de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica en las oficinas de la constructora Bolívar Bogotá en un plazo de ocho meses.

## **1.3 Objetivo organizacional**

Encontramos nuevas oportunidades en el mercado inmobiliario y nos expandimos geográficamente para continuar creciendo de manera sostenible rentable y en concordancia con las tendencias de la industria.

## **1.4 Objetivo de la triple restricción**

Desarrollar un prototipo de 6 kW de un Sistema Solar fotovoltaico para una sala de ventas de constructora Bolívar Bogotá en un período no mayor a un mes con una inversión máxima de cincuenta millones de pesos (\$50.000.000).

Definir la localización de la implementación del Sistema Solar fotovoltaico al interior de la compañía en función de los costos beneficios posibles restricciones de los espacios y generación de valor

Realizar los diseños y estimar el presupuesto del sistema de generación de energía solar fotovoltaica para atender un 30% de la energía demandada en las oficinas de constructora bolívar actividades a realizar en un periodo no mayor a 3 meses

Evaluar los modelos de negocio de la implementación del Sistema Solar fotovoltaico bajo los 2 posibles escenarios que son EPC (Engineering procurement and construction) y PPA (Power Purchase Agreement) para recomendar de acuerdo con los estudios económicos y financieros la mejor opción a implementar.

## **1.5 Justificación**

En concordancia con las nuevas tecnologías de generación de energía eléctrica mediante fuentes no convencionales y en aplicación de la ley 1715 de 2014 establecida por el congreso de la república, se pretende realizar la fase de estudio diseño y planeación de un proyecto de generación de energía eléctrica mediante un Sistema Solar fotovoltaico en las oficinas de constructora Bolívar Bogotá. En promedio hoy le cuesta a la compañía unos \$14.592.587 pesos mensuales, con este proyecto buscamos cubrir un 30% de la energía eléctrica demandada y reducir el impacto ambiental lo que le brindará a la empresa una ventaja competitiva en el mercado inmobiliario como una compañía líder en sostenibilidad

## **1.6 Entregables principales**

- Diagnóstico de las instalaciones eléctricas y de infraestructura para las oficinas de Constructora Bolívar Bogotá
- Prototipo del sistema solar para 6kW en una sala de ventas de Constructora Bolívar
- Diseños del sistema solar fotovoltaico para las oficinas de Constructora Bolívar
- Presupuesto del sistema solar fotovoltaico para las oficinas de Constructora Bolívar
- Análisis financiero del proyecto solar fotovoltaico para las oficinas de Constructora Bolívar en los escenarios EPC y PPA

## **1.7 Supuestos**

- La información suministrada por Constructora Bolívar es actualizada, coherente y oportuna
- Constructora Bolívar brindará acceso a las instalaciones, cuartos técnicos y cubiertas para el desarrollo del proyecto en la sede principal y sala de ventas.
- Constructora Bolívar tiene interés en el análisis del proyecto como alternativa para reducción de costos por pago de energía eléctrica.

- Constructora Bolívar tiene interés en desarrollar el proyecto por la contribución al medio ambiente y la innovación políticas ambientales

### **1.8 Exclusiones**

- No se realizará la implementación del sistema solar fotovoltaico en las oficinas de Constructora Bolívar
- Solo se contemplan recursos económicos desembolsables de Constructora Bolívar para la ejecución del prototipo del sistema solar fotovoltaico en una sala de ventas de la compañía
- No se intervendrán o modificarán las redes eléctricas existentes
- Solo se desarrollará el prototipado del sistema Solar Fotovoltaico en una sala de ventas de Constructora Bolívar

### **1.9 Restricciones**

- Corto periodo de tiempo para la implementación del sistema solar fotovoltaico en las oficinas. principales de Constructora Bolívar
- Se trabajará con una TRM \$4.741 (27/03/2023)

### **1.10 Presupuesto preaprobado**

Para el proyecto se tiene aprobado por parte de constructora Bolívar la suma de setenta y siete millones doscientos mil pesos 77.200.00 m/cte., de los cuales Cincuenta millones \$50.000.000 de pesos implican flujo de caja para constructora Bolívar, el valor restante corresponden a la valoración del recurso humano para el desarrollo del proyecto

Se destina un recurso monetario máximo de Cincuenta millones de pesos \$50.000.000 para la ejecución del prototipo del sistema solar fotovoltaico en una sala de ventas de Constructora Bolívar

---

## Capítulo 2 proceso de iniciación

### 2.1 Acta de constitución del proyecto

*Table 1 Resumen Project charter*

<b>Nombre del proyecto</b>	Fase de diagnóstico, estudios de mercado, diseño, prototipado de la implementación de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica en las oficinas de constructora Bolívar Bogotá.
<b>Patrocinador</b>	David Alfonso Ramírez
<b>Gerente del proyecto</b>	Brahian Alexander Narváz G.
<b>Colaboradores</b>	Deyanira Díaz Gómez Daniel Santiago Chinome
<b>Localización</b>	Oficinas Constructora Bolívar sede Gratamira Bogotá
<b>Dirección de ejecución</b>	Calle 134 # 72-31
<b>Fecha de inicio</b>	27 de marzo de 2023
<b>Fecha de finalización</b>	24 de noviembre de 2023
<b>Presupuesto para prototipo</b>	\$50.000.000
<b>Presupuesto total preaprobado</b>	\$77.200.000
<b>Entregables principales</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Diagnóstico de las instalaciones eléctricas e infraestructura civil</li><li>○ Prototipo del sistema solar para 6 kW en una sala de ventas</li><li>○ Diseño del sistema solar fotovoltaico para las oficinas</li><li>○ Presupuesto del sistema solar</li><li>○ Análisis financiero del proyecto Solar fotovoltaico</li></ul>

---

## **2.2 Identificación de grupo de interesados**

La matriz de interesado hace parte de los anexos a este documento.

Es de resaltar que el principal interesado es el Patrocinador del proyecto el Ing. David Ramírez jefe de grupo técnico en constructora Bolívar con quien debemos trabajar en total sintonía y debe estar involucrado todo el tiempo en la toma de decisiones técnicas como económicas en el desarrollo del proyecto.

El equipo de proyecto juega un papel muy importante durante el ciclo de vida del proyecto, por tal motivo se los debe mantener informados en todo momento y participe en la toma de decisiones.

El personal interno de Constructora Bolívar es interesado que deben estar siempre involucrados y mantenerlos actualizados en el desarrollo del proyecto ellos finalmente serán los usuarios que tendrán a disposición el prototipo como el sistema de generación solar en las oficinas en caso de ejecutarse.

El director del proyecto de grado es un interesado que se debe mantener monitoreado e informado del avance y desarrollo del proyecto

## **Capítulo 3 proceso de planeación**

### **3.1 Plan de gestión de la configuración**

#### ***3.1.1 Objetivo***

Indicar de manera clara y concisa los lineamientos de cómo y cuándo se deben realizar los cambios del proyecto, como versionar los documentos, dirigir y gestionar el trabajo del proyecto como el monitoreo y control.

### **3.1.2 Metodología del plan de configuración.**

En reunión de equipo del proyecto se diseñará un esquema visual que permita ver la globalidad del proyecto, con sus respectivos entregables y fechas. Del mismo modo, se definirán las acciones conducentes a tener un control tanto de la línea base del proyecto como de los planes subsidiarios, teniendo en cuenta:

#### **3.1.2.1 Desarrollar el acta de constitución del proyecto**

Será responsabilidad del gerente del proyecto generar, custodiar y compartir con el equipo del documento para mantener los objetivos en mente durante todo el proyecto.

#### **3.1.2.2 Desarrollar el plan para la dirección del proyecto**

En reuniones con el equipo del proyecto se definirá la forma correcta y más acertada para dirigir el proyecto, cómo se asignan los recursos y se realizará el monitoreo de cada una de las fases del proyecto teniendo en cuenta las líneas base de costo, tiempo y alcance

#### **3.1.2.3 Dirigir y gestionar el trabajo del proyecto**

Se usará un cuadro de mando integral que permitirá gestionar la información correspondiente a las líneas base del proyecto el cual estará desarrollado en Project.

#### **3.1.2.4 Gestionar el conocimiento del proyecto**

Se realizará el registro de las lecciones aprendidas en la herramienta que Constructora Bolívar tiene para tal fin llamada CC+4.

#### **3.1.2.5 Monitorear y controlar el trabajo del proyecto**

Mediante un listado de Check List, el gerente del proyecto realizará la verificación, aceptación y cumplimiento de cada uno de los entregables en las fechas definidas dentro del cronograma.

### **3.1.2.6 Realizar el control integrado de cambios**

Con el equipo de trabajo y Patrocinador se realizan reuniones quincenales para el análisis, revisión y aprobación de las diferentes solicitudes de cambio que se deban gestionar.

### **3.1.2.7 Cerrar el proyecto o fase**

En reuniones entre el equipo de trabajo y Patrocinador se socializarán los diferentes entregables finales para su aceptación y alimentar el libro virtual de la gerencia del proyecto.

## **3.2 Procesos de Planeación de la Gestión de interesados**

### ***3.2.1 Identificación de interesados***

Se socializará el proyecto con el personal de constructora y se tomará nota de cada uno de los asistentes para la identificación de interesados, personas que puedan ser afectadas de manera negativa o positiva por el proyecto como salida de este proceso se tendrá la Matriz de Interesados que permitirá identificar, evaluar y clasificar a los interesados, en los anexos se puede visualizar la totalidad de la matriz de interesados.

### ***3.2.2 Planificar el involucramiento de los interesados***

Mediante reuniones quincenales de socialización con los interesados, se analizarán los datos y se someterá a un juicio de expertos para el desarrollo de la salida del proceso que corresponde al Plan de involucramiento de los interesados donde se establece el nivel actual de involucramiento y el deseado de cada interesado y se clasifican según las estrategias de involucramiento

### ***3.2.3 Gestionar el involucramiento de los interesados***

En las reuniones de socialización con los interesados y presentación de avances del proyecto, se aplicarán las estrategias para involucrar a los interesados y se retroalimentará la matriz de interesados, como salidas de este proceso se tienen solicitudes de cambio, registro de cambios, registro de lecciones aprendidas

### ***3.2.4 Monitorear el involucramiento de los interesados***

Mediante reuniones con el equipo de trabajo de grado se revisará la matriz de interesados al final de cada fase del proyecto para verificar el estado y la evolución de cada uno de los interesados, como salida de este proceso se tiene la retroalimentación de la matriz de riesgos y el registro de lecciones aprendidas

## **3.3 Procesos de planeación de la Gestión del Alcance**

### ***3.3.1 Planificar la gestión del alcance***

En reuniones con interesados clave se realizarán preguntas estratégicas y mediante el apoyo del juicio de expertos (grupo técnico de Constructora Bolívar), se definirá y acotará las ideas para definir el alcance como salidas de este proceso se tienen el plan de gestión del alcance plan de gestión de los requisitos.

### ***3.3.2 Recopilar requisitos***

Se realizarán reuniones con grupo focales de Constructora Bolívar y Patrocinador, se realizará lluvia de ideas para recolectar recomendaciones y requerimientos, como salidas de este proceso se obtendrá documento de requisitos y matriz de requisitos.

### ***3.3.3 Definir el alcance***

Herramientas: Validación a través del juicio de expertos, reuniones con interesados clave, análisis de datos y toma de decisiones para el desarrollo de la lista de entregables, descripción del alcance de cada producto, criterios de aceptación, límites o exclusiones, restricciones del proyecto y supuestos del proyecto.

Salidas: documento que indica, lo que se hará y no se hará del proyecto, se presentará para aprobación del patrocinador del proyecto.

### **3.3.4 Crear la EDT/WBS**

Herramientas: Descomposición, se estructura y organiza con representación gráfica y jerárquica el alcance del proyecto, identificando tareas, los principales hitos, entregables y resultados, se procede a definir los paquetes de trabajo, se crea el diccionario de la EDT donde se incluye la descripción detallada de las actividades y sus características, el registro y la elaboración de la EDT se realizará mediante el Software WBS Schedule Pro.

Salidas: línea base del alcance, enunciado del alcance, WBS y diccionarios de la WBS.

### **3.3.5 Validar el alcance**

Herramientas: Se realizará inspecciones con el equipo de proyecto para validar si el trabajo y los entregables cumplen con los requisitos y criterios de aceptación del producto, se tomará como base la documentación de requisitos y la línea base del alcance, en la etapa final nos apoyaremos en los resultados y conclusiones que se deriven de la implementación del prototipo del proyecto, de encontrarse no conformidades se ajustaran los entregables de acuerdo con el juicio de expertos y retroalimentación de los interesados.

Salidas: Aceptación de entregables y solicitudes de cambio.

### **3.3.6 Controlar el alcance**

#### **3.3.6.1 Herramientas**

Se realizarán reuniones de equipo de proyecto cada 15 días para verificar el avance de los entregables y el cumplimiento de los mismos respecto a la línea base del alcance, se realizará el registro de lecciones aprendidas, se registrará la información del desempeño del trabajo de acuerdo con la línea base del alcance y se realizará con base en los cambios, variaciones, causas e impactos. Para monitorear el alcance y verificar que se esté dando cumplimiento con los intereses de los Stakeholders, se desarrollará una matriz para asegurar su trazabilidad.

Salidas: Control de cambios.

### **3.3.6.2 Requisitos de Negocio**

Comprometidos con las políticas de sostenibilidad, se deben implementar sistemas de generación de energía eléctrica a través de paneles solares, ser líderes en la implementación de fuentes no convencionales de energía en el sector de la construcción, realizar la reducción de la huella de carbono.

### **3.3.6.3 Requisitos del proyecto.**

Desarrollar un prototipo de un sistema solar fotovoltaico de 6kW para una sala de ventas de constructora Bolívar en 1 periodo no mayor a 1 mes con una inversión máxima de 50 millones Definir la localización óptima de la implementación del sistema solar fotovoltaico al interior de la compañía, en función de los costos, beneficios, restricción de espacio y generación de valor

Realizar los diseños, y estimar el presupuesto del sistema de generación solar fotovoltaica para atender un 30% de la energía demandada en constructora Bolívar

Evaluar los modelos de negocio de la implementación del sistema solar fotovoltaico, bajo los escenarios EPC, PPA y recomendar la mejor opción a implementar.

### **3.3.6.4 Requisitos del producto.**

Cumplir con los estándares de seguridad y calidad requeridos en los diseños, incluir la ubicación y disposición de los paneles solares, así como la configuración de los componentes adicionales, como inversores, cables y sistemas de montaje. La instalación de los paneles solares debe ser realizada por personal calificado y capacitado, siguiendo los estándares de seguridad y las mejores prácticas de la industria. Además, se debe realizar la conexión adecuada del sistema a la red eléctrica o a las baterías de almacenamiento, según sea necesario.

Pruebas y puesta en marcha: Después de la instalación, se deben realizar pruebas y verificaciones para garantizar que el sistema esté funcionando correctamente y cumpla con los requisitos de rendimiento y seguridad. Esto incluye pruebas de funcionamiento, pruebas de seguridad eléctrica y configuración de los parámetros del sistema.

Capacitación y mantenimiento: Es importante proporcionar capacitación adecuada a los propietarios o usuarios del sistema sobre su funcionamiento, mantenimiento y seguridad.

Además, se debe establecer un plan de mantenimiento regular para garantizar el rendimiento y la durabilidad a largo plazo del sistema de paneles solares.

Se presenta como anexo la EDT, Diccionario y requisitos.

### **3.4 Procesos de Planeación de la Gestión del Cronograma**

#### ***3.4.1 Planificar la Gestión del cronograma***

##### **3.4.1.1 Herramientas**

Reuniones de planificación equipo de trabajo de grado. Reuniones de planificación con interesados clave. Revisión de disponibilidad de recursos del equipo y disponibilidad de habilidades y recursos físicos. Análisis de datos: Determinación del grado de detalle del cronograma.

Salidas: Plan de gestión del cronograma incluyendo herramienta de programación: MS Project. Unidades de medida de tiempo de trabajo y cantidades. Determinación de frecuencia de revisión y actualización. Determinación de umbrales de control (%). Determinación de reglas de medición de desempeño (EV, % completado, SV, SPI). Frecuencia de presentación de informes.

Será responsabilidad del gerente del proyecto, generar, custodiar y compartir con el equipo de trabajo el documento para mantener los objetivos presentes durante el desarrollo del proyecto.

##### **3.4.1.2 Definir las actividades**

Herramientas: Descomposición del alcance (Descomposición de paquetes de trabajo). Planificación gradual: Definir nivel de detalle del trabajo de acuerdo con su ubicación en el ciclo de vida del proyecto (Actualizable durante el proyecto). Reuniones del equipo de trabajo de grado. Reuniones con interesados.

Salidas: Lista de actividades, lista de hitos (Con descripción del alcance del trabajo). Atributos de actividades. Solicitudes de cambio. Actualizaciones del plan para la dirección del proyecto.

### **3.4.1.3 Secuenciar las actividades**

Herramientas: Método de diagramación por precedencia, determinación e integración de la dependencia, adelantos y atrasos.

Salidas: Diagrama de red del cronograma del proyecto.

### **3.4.1.4. Estimar la duración de las actividades**

Herramientas: Estimación análoga, reuniones.

Salidas: Estimación de la duración de las actividades, base documental de todas las estimaciones.

### **3.4.1.5 Desarrollar el cronograma**

Herramientas: Análisis de la red del cronograma aplicando el diagrama de red de la ruta crítica. Registro de adelantos y retrasos.

Salidas: Todas las correspondientes del proceso.

### **3.4.1.6 Controlar el Cronograma**

Herramientas: Análisis del valor ganado, revisiones de desempeño, análisis de variación, método de la ruta crítica, adelantos y retrasos.

Salidas: Información del desempeño del trabajo en comparación de la línea base del cronograma, solicitudes de cambio, en caso de que se requieran modificaciones, registro lecciones aprendidas.

## **3.5 Procesos de Planeación de la Gestión de Costos**

### ***3.5.1 Planificar la Gestión de los Costos***

Herramientas: Juicio de expertos, proyectos similares, información de la industria, reuniones de planificación (con participación director, patrocinador, miembros del equipo del proyecto, interesados y equipo de abastecimiento en Constructora Bolívar para la ejecución del prototipo) para desarrollar logística y el plan de gestión de costos.

Salidas: Plan de gestión de costos con unidades de medida, recursos humanos, horas o días de trabajo.

Se definirá formato, presentación de informe de costos y procedimiento para registro de costos del proyecto. Para monitorear el desempeño de costos se definirán umbrales de variación antes de tomar medidas (% desviación línea base), definir puntos en los que se realizará medición de cuentas, establecer técnicas para la gestión del valor ganado (hitos, porcentaje completado), estimación a la conclusión.

### ***3.5.2 Estimar los Costos***

Herramientas: Estimación análoga recopilando información bibliográfica, juicio de expertos de acuerdo con la información recopilada, criterio y experiencia; estimación ascendente de acuerdo con las actividades planificadas, análisis de datos mediante el análisis de reserva de contingencias.

Salidas: Estimación del costo por hora de trabajo de los integrantes del grupo de trabajo de grado basados en la experiencia de cada uno de los integrantes, para la estimación del costo del prototipo se solicitará una cotización preliminar para un sistema de paneles solares On grid trifásico de 6 kW.

### ***3.5.3 Determinar el Presupuesto***

Herramientas: Juicio de expertos, reuniones de equipo de trabajo para determinar el costo de cada paquete de trabajo según la estructura de la EDT/WBS, teniendo en cuenta las restricciones de fechas, cuantificación de recursos y tiempos de trabajo en cada uno de los paquetes definidos, establecer reserva de gestión para el proyecto de un 10%.

En la EDT/WBS se utilizarán cuentas de control y se le asignará un responsable para seguimiento de temas contables a las cuentas de mayor valor.

Salidas: Mediante el uso del Software MS Project se determinará la línea base de costos (incluye contingencias) y reserva para gestión. La reserva de gestión se suma a la línea base de costos para obtener el presupuesto del proyecto. A medida que surjan cambios, se utilizará el

proceso de control de cambios para obtener la aprobación para pasar los fondos de la reserva de gestión aplicables a la línea base de costos.

Actualizaciones al cronograma del proyecto y al registro de riesgos.

### ***3.5.4 Controlar los Costos***

Herramientas: Análisis de datos aplicando el análisis de valor ganado, análisis de variación y análisis financiero; Índice de desempeño del trabajo por completar. Estas herramientas serán ejecutadas mediante Excel y Project.

Salidas: Información del desempeño del trabajo con inclusión de valores CV, CPI, EAC, VAC, TCPI

## **3.6 Procesos de planeación de la Gestión de calidad del proyecto**

### ***3.6.1 Planeación de la calidad***

Teniendo en cuenta que Constructora Bolívar no cuenta con políticas de calidad, nos apoyaremos en el juicio de expertos para determinar los criterios de aceptación en cada uno de los entregables del proyecto, como salida se tendrá el plan de gestión de calidad

### ***3.6.2 Medición de la calidad***

La calidad se medirá a partir de los requisitos del alcance del proyecto en sus entregables y producto del proyecto para lo cual se establecen los siguientes indicadores:

En términos económicos el presupuesto total aprobado para el proyecto se debe mover en un rango máximo de  $\pm 10\%$ .

En cuanto al tiempo del proyecto se establece una holgura respecto a la fecha límite de  $\pm 10$  días calendario.

En cada uno los entregables del proyecto se establece un indicador de  $\pm 5\%$  de cumplimiento en los requisitos esenciales del cliente definidos en el alcance del proyecto.

Para el producto final, se deberá cumplir con el 100% de los requisitos del cliente con respecto al producto en el tiempo determinado mediante un Check List de verificación de

requisitos, como salida de este proceso se tiene la definición de los indicadores de costo, tiempo, calidad de entregables y producto.

### ***3.6.3 Control de la calidad***

Se realizarán auditorías de calidad mensuales de cumplimiento en cada una de las fases del proyecto, se verificará el cumplimiento de los requisitos y los indicadores establecidos, se evaluará el desempeño logrado y se realizarán los cambios necesarios para cumplir con los estándares de calidad, la salida de este proceso será la verificación de calidad de cada uno de los entregables.

## **3.7 Proceso de planeación de la Gestión de Riesgos**

### ***3.7.1 Planificar la Gestión de los Riesgos***

Se realizarán reuniones con expertos, patrocinador y miembros del equipo de trabajo del proyecto para estructurar el plan de gestión de riesgos del proyecto, se definirá la estrategia, metodología (formatos), roles, responsabilidades, financiamiento, categoría de riesgo, definición de probabilidad e impacto de los riesgos y seguimiento, como salida de este proceso se tendrá el plan de gestión de riesgos.

### ***3.7.2 Identificar los Riesgos***

Mediante reuniones de socialización con patrocinador, expertos y equipo del proyecto se identificarán los posibles riesgos en las diferentes etapas del proyecto y se registraran en una matriz, como salida de este proceso se tendrá el registro de riesgos.

### ***3.7.3 Análisis Cualitativo de Riesgos***

En reuniones con el equipo del proyecto se analizará la probabilidad del suceso (%) y se realizará una clasificación visual por color, se analizará el impacto para el proyecto (alcance, cronograma, costos y calidad) y se priorizará el riesgo y se alimentará la matriz de riesgo.

### ***3.7.4 Análisis Cuantitativo de Riesgos***

Se realizarán reuniones para revisar el diagrama de red del cronograma, duraciones, analizar el efecto de los riesgos priorizados, definir la urgencia del riesgo y calcular el valor monetario esperado en tiempo y en costos, para tomar decisiones entre varias alternativas se utilizará como herramienta el árbol de decisión y se dejará registro de la información en la matriz de riesgo.

### ***3.7.5 Planificar la respuesta a los Riesgos:***

De acuerdo con la clasificación de los riesgos individuales que se obtenga en el análisis cualitativo de los mismos se determinará una respuesta acorde a la prioridad del riesgo, inicialmente se plantea de la siguiente manera:

Prioridad alta: Mitigar, transferir; Prioridad media: Mitigar; Prioridad baja: Aceptar. Si un riesgo de prioridad alta llegara a materializarse se dará uso a un plan de respuesta para contingencias que será diseñado de acuerdo con las características propias del riesgo Se realizará el análisis costo beneficio para los riesgos que se puedan calcular en términos monetarios, como salida de este proceso se tiene el plan de contingencia, solicitudes de cambio, registro de lecciones aprendidas.

### ***3.7.6 Implementar la respuesta a los riesgos:***

El director del proyecto y su equipo de trabajo serán los responsables de hacer el seguimiento a la implementación de las respuestas a los riesgos en el momento justo. Se apoyarán en el juicio de expertos para implementar las respuestas planificadas, como salida a este proceso se tienen solicitudes de cambio, registro de incidentes, registro de lecciones aprendidas.

### ***3.7.7 Monitorear los riesgos:***

Mediante reuniones mensuales se realizará una revisión de la matriz de riesgos y se evaluará los indicadores de probabilidad de suceso e impacto como también se registrarán nuevos riesgos según sea el caso, como salida de este proceso se tendrán solicitudes de cambio con

acciones correctivas o preventivas, registro de incidentes, registro de lecciones aprendidas, registro de riesgos, estructura de desglose de riesgos.

Se anexa matriz y plan de gestión de riesgos.

### 3.8 Acta de cierre de planeación

Cierre etapa de planificación del proyecto Fase de diagnóstico, estudio de mercado, diseño, prototipado de la implementación de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica en las oficinas de constructora Bolívar Bogotá. Se presenta los entregables de la etapa de planeación como el cronograma, EDT y su diccionario, registro de interesados y los planes de gestión que nos indican como se va a trabajar el proyecto en la etapa de ejecución. Se mantiene el presupuesto indicado en el Project Charter \$77.200.000

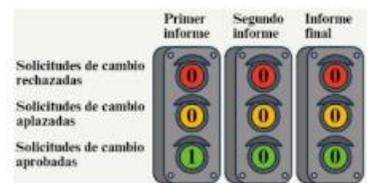
Como anexo se presenta el acta de cierre del proyecto.

## Capítulo 4 proceso de ejecución, seguimiento, control y cierre

### 4.1 Informes de gestión de cambios del proyecto

Figure 7 Control de cambios 001

PLANEACION 27 MARZO 2023	CONTROL DE CAMBIOS #1 15 SEPT DE 2023	VALIDACIÓN 03 NOV DE 2023	VALIDACIÓN 05 DE DIC 2023
LINEA BASE DEL ALCANCE V.0	LINEA BASE DEL ALCANCE V.1	LINEA BASE DEL ALCANCE V.1	LINEA BASE DEL ALCANCE V.1
LINEA BASE DEL CRONOGRAMA V.0	LINEA BASE DEL CRONOGRAMA V.1	LINEA BASE DEL CRONOGRAMA V.1.1	LINEA BASE DEL CRONOGRAMA V.1.1
LINEA BASE DEL COSTO V.0	LINEA BASE DEL COSTO V.1	LINEA BASE DEL COSTO V.1	LINEA BASE DEL COSTO V.1
P. G DE INTERSADOS V.0	P. G DE INTERSADOS V.1	P. G DE INTERSADOS V.1	P. G DE INTERSADOS V.1
P.G DE CALIDAD V.0	P.G DE CALIDAD V.1	P.G DE CALIDAD V.1	P.G DE CALIDAD V.1
P.G DE RIESGOS V.0	P.G DE RIESGOS V.1	P.G DE RIESGOS V.1	P.G DE RIESGOS V.1



#### ***4.1.1 Gestión de cambios con corte a 15 de septiembre de 2023***

##### **1. Descripción/Justificación**

Solicitud de cambio aprobadas: Uno (1)

La solicitud de cambio 001 se realizó el día 01 de septiembre de 2023, una vez finalizó la etapa de planeación, para adicionar hitos de cierre de Fases de Inicio, planeación, ejecución, control y fin del Proyecto. También se adicionaron las actividades de vacaciones, control de cambios, lecciones aprendidas, reunión de seguimiento de Gerencia en etapa de monitoreo y control, adquisición de prototipo con subtarear y adquisición de sistema de generación solar para sala ventas. Se eliminaron las reuniones de cierre de fase con el patrocinador, dada la limitación de agenda del patrocinador.

Decisión / Justificación: Aprobación de Solicitud de cambio 001

Dado que finalizaba la etapa de planeación y comenzaba la etapa de ejecución el equipo consideró pertinente revisar el cronograma de actividades y realizar modificaciones que fueran acordes a las necesidades del proyecto.

Impacto de los Cambios en líneas base de costo, tiempo, alcance y calidad.

Descripción del Impacto: Se mantuvo la fecha de finalización, el BAC del proyecto fue reducido de \$77.200.000 a \$76.165.000.

#### ***4.1.2 Gestión de cambios con Corte 03 de noviembre***

##### **1. Descripción/Justificación**

Solicitud actualización cronograma aprobada

La solicitud de cambio 002 se realizó el día 10 de octubre de 2023 para solicitar la modificación de la fecha de utilización de las reservas a 7-12-2023, con el fin de no generar retraso en el cronograma ya que en la planeación se había establecido el mes de mayo para la ejecución de dichas reservas. No hay impacto frente al presupuesto y tiempo de ejecución del proyecto.

Decisión / Justificación: Aprobación de Solicitud de Actualización de línea base de Cronograma.

No generar incoherencias en el cronograma, ya que de ser necesario se estima utilizar las reservas en una fecha posterior a la planeada inicialmente.

Impacto de los Cambios: No hay impacto frente al presupuesto y tiempo de ejecución del proyecto.

Descripción del Impacto: No se afecta la línea base, solamente se actualiza la fecha de posible uso de las reservas contempladas.

#### 4.1.3 Gestión de cambios con Corte 05 diciembre

Descripción/Justificación

Solicitud de actualización Matriz Riesgos.

Figure 8 Control de cambios 002

PLANEACION 27 MARZO 2023	CONTROL DE CAMBIOS #1 15 SEPT DE 2023	VALIDACIÓN 03 NOV DE 2023	VALIDACIÓN 05 DE DIC 2023
LINEA BASE DEL ALCANCE V.0	LINEA BASE DEL ALCANCE V.1 	LINEA BASE DEL ALCANCE V.1	LINEA BASE DEL ALCANCE V.1
LINEA BASE DEL CRONOGRAMA V.0	LINEA BASE DEL CRONOGRAMA V.1 	LINEA BASE DEL CRONOGRAMAV.1.1	LINEA BASE DEL CRONOGRAMAV.1.1
LINEA BASE DEL COSTO V.0	LINEA BASE DEL COSTO V.1 	LINEA BASE DEL COSTO V.1	LINEA BASE DEL COSTO V.1
P. G DE INTERSADOS V.0	P. G DE INTERSADOS V.1 	P. G DE INTERSADOS V.1	P. G DE INTERSADOS V.1
P.G DE CALIDAD V.0	P.G DE CALIDAD V.1 	P.G DE CALIDAD V.1	P.G DE CALIDAD V.1
P.G DE RIESGOS V.0	P.G DE RIESGOS V.1 	P.G DE RIESGOS V.1	P.G DE RIESGOS V.1

## 4.2 Informes de avance del proyecto

### 4.2.1 Primer informe de Seguimiento y Control con corte a 15 de septiembre

#### 4.2.1.1 Acta de cierre de planeación

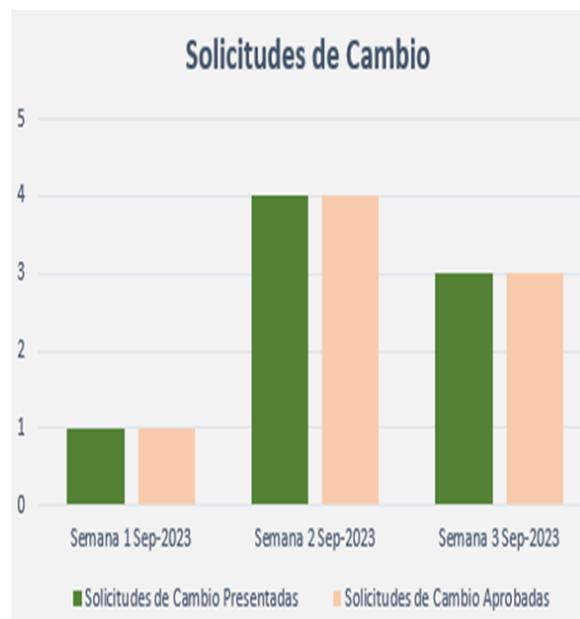
Incluye información del proyecto, patrocinador, equipo del proyecto, fecha, registro de las acciones realizadas, aprobaciones y firmas.

#### 4.2.1.2 Control de cambios

A la fecha de corte 15 de septiembre de 2023 se han presentado una solicitud de cambio el 1 de septiembre del año en curso, la cual ha sido aprobada por las personas responsables de este proceso. Una vez notificada la decisión a las partes involucradas se han realizado las modificaciones al plan de dirección y líneas base, según corresponde, asignando una nueva versión.

Figure 9 Control de cambios 002

PLANEACION 27 MARZO 2023	CONTROL DE CAMBIOS #1 13 SEPTIEMBRE DE 2023
LINEA BASE DEL ALCANE V.0	LINEA BASE DEL ALCANE V.1
LINEA BASE DEL CRONOGRAMA V.0	LINEA BASE DEL CRONOGRAMA V.1
LINEA BASE DEL COSTO V.0	LINEA BASE DEL COSTO V.1
P. G DE INTERSADOS V.0	P. G DE INTERSADOS V.1
P.G DE CALIDAD V.0	P.G DE CALIDAD V.1
P.G DE RIESGOS V.0	P.G DE RIESGOS V.1



### 4.3 Validación del alcance

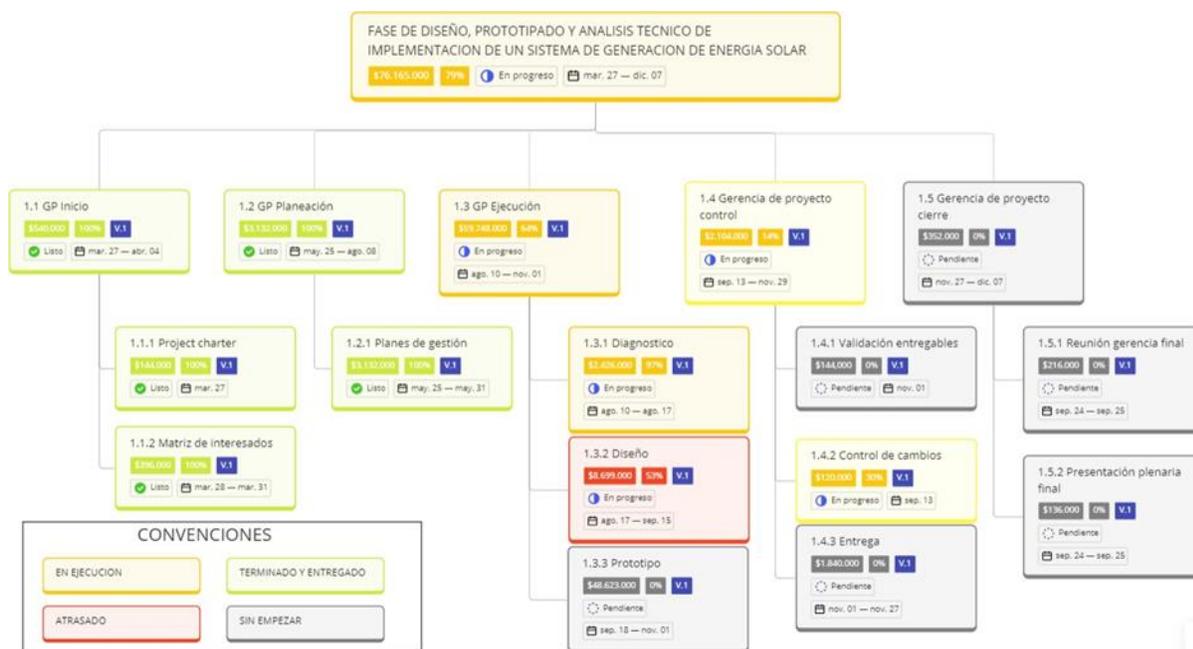
Los entregables de la fase de diagnóstico se completaron a tiempo y se encuentran con recibo a satisfacción por parte del Patrocinador. De igual manera, se recibieron a tiempo las ofertas técnico-económicas para implementación del sistema solar fotovoltaico en las oficinas de la Constructora Bolívar bajo el escenario PPA siendo aceptadas por la calidad de información proporcionada. Se encuentra no objetado el diseño de sistema de generación de energía fotovoltaica para la sala de ventas.

#### 4.3.1 Control del alcance

Se monitorea el estado de avance del alcance del producto y del proyecto. Se gestionaron las solicitudes de cambio del alcance para asegurar que los cambios y/o actualizaciones se realicen a través del control integrado de cambios. Se presenta a continuación la EDT del proyecto semaforizada.

#### 4.3.2 Control de la calidad

Figure 10 EDT



Se evaluó el indicador de calidad de información de las ofertas técnico-económicas para la implementación del sistema solar fotovoltaico bajo el escenario PPA y en términos económicos, dado que el presupuesto total aprobado para el proyecto se debe mover en un rango máximo del 10% y para el tiempo se establece una holgura respecto a la fecha límite de +- 10 días calendario, se evaluó el impacto de los cambios reportados y aprobados en este periodo frente a estos indicadores. El análisis se presenta en la matriz de calidad adjunta.

#### **4.4 Plan de configuración**

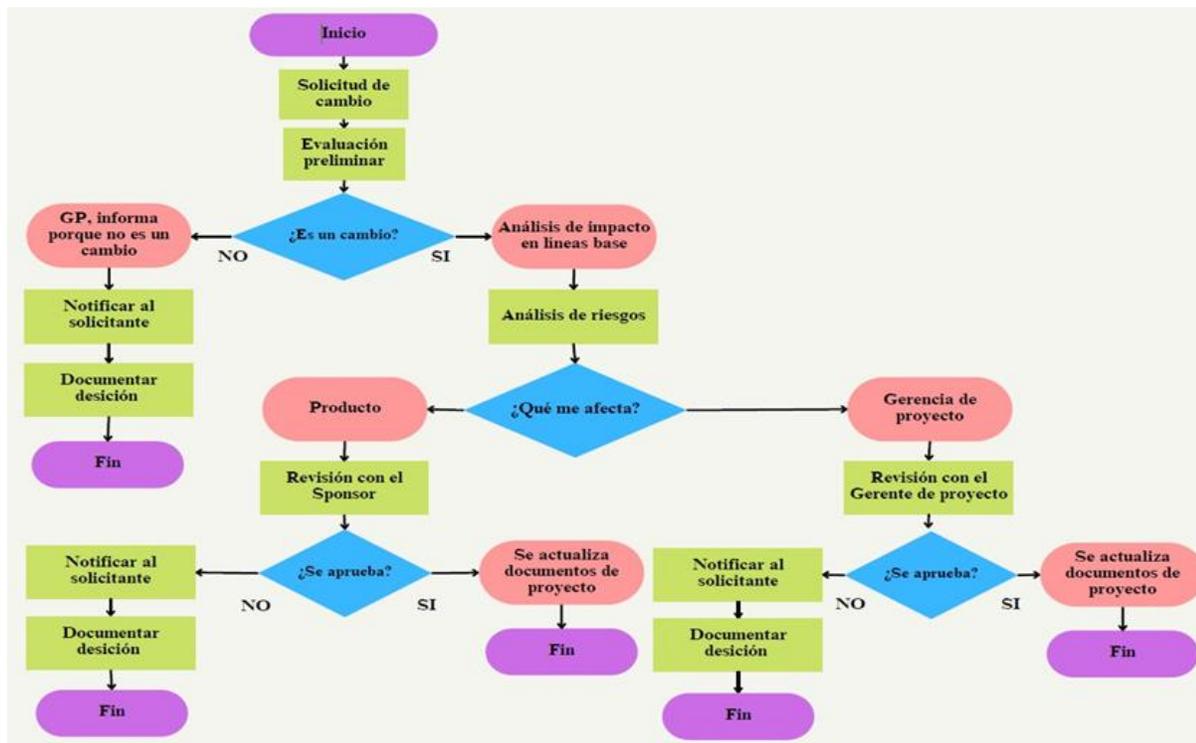
Este plan da los lineamientos para garantizar coherencia de los productos documentales que se generan en el ciclo de vida del proyecto. Se utilizará la plataforma Trello para el control de versiones y como repositorio principal de la información, se cuenta con la plataforma en la nube Google Drive, cuyo acceso se autoriza a través de las cuentas de Control del dominio@unbosque.edu.co, al cual tiene acceso el equipo del trabajo de grado.

Para almacenar los documentos de Gerencia, se utiliza la estructura de directorios y carpetas de la plataforma digital. En la configuración estándar para los trabajos de grado de la Especialización, se considera el código asignado "TDG-2023-006\_Título del Documento \_V.X. Y donde X es igual 0 cuando se crea el documento y se cambia al siguiente número entero, cuando el comité de cambios haya autorizado un cambio que genera impacto sobre las líneas base. Y= No existe en la versión inicial del documento y será 1 cuando el documento requirió actualización, corrección de errores u otros cambios que no afectan el objetivo central del documento, cada vez que existan cambios en el documento se cambiará al siguiente. En cada documento del proyecto y del producto se tendrá un control de versiones donde se registrará el número de revisión, la fecha en la cual entra en vigor ese documento, el cargo del responsable del cambio y la descripción del cambio. Los accesos y permisos están definidos bajo las políticas de la especialización.

Como resultado se genera un documento maestro de control, donde se mantiene una clasificación y versionamiento coherente con los principales documentos y planes del proyecto, ver matriz.

#### 4.4.1 Flujograma del proceso del control integrado de cambios

Figure 11 Flujograma del proceso de control integrado de cambios



A la fecha de corte 3 de noviembre de 2023 el proyecto presentaba en total 2 solicitudes de cambio. Las 2 solicitudes de cambio fueron aprobadas. La solicitud de cambio 001 se realizó, una vez finalizó la etapa de planeación, para adicionar hitos de cierre de Fases de Inicio, planeación, ejecución, control y fin del Proyecto. También se adicionaron las actividades de vacaciones, control de cambios, lecciones aprendidas, reunión de seguimiento de Gerencia en etapa de monitoreo y control, adquisición de prototipo con subtareas y adquisición de sistema de generación solar para sala ventas. Se eliminaron las reuniones de cierre de fase con el patrocinador, dada la limitación de agenda del patrocinador. Las modificaciones mantuvieron la

fecha de finalización del proyecto, el BAC del proyecto fue reducido de \$77.200.000 a \$76.165.000. y hubo impacto en las líneas base de costo, tiempo, alcance y calidad. La otra solicitud de cambio 002 no ha alterado ninguna línea base del proyecto, solo ha producido actualización del cronograma.

#### 4.4.2 Alcance

En el proceso de control de alcance se tiene la herramienta de EDT semaforizada que nos permite revisar el estado de avance de cada uno de los paquetes de trabajo del proyecto. Analizando la EDT para las 2 fechas de corte se evidencia que la GP Ejecución presentó avance de 64% (primer informe) a 97% (segundo informe) de los paquetes de trabajo completados. Para el primer informe (15 de septiembre) se tenían aprobados y completados 3 PT mientras que para el 3 de noviembre de 2023(corte segundo informe) se tienen completados y aprobados 6 Paquetes de trabajo.

##### 4.4.2.1 Primer informe con fecha de corte 15 de septiembre de 2023

Paquetes terminados  
Paquetes en ejecución  
Paquetes no iniciados

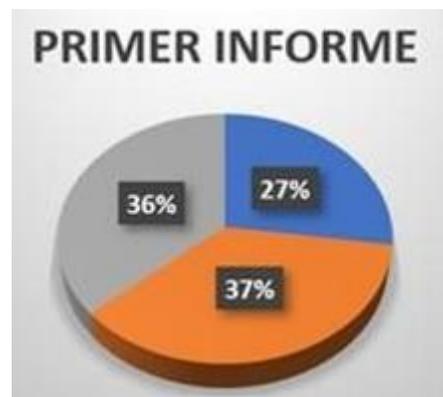
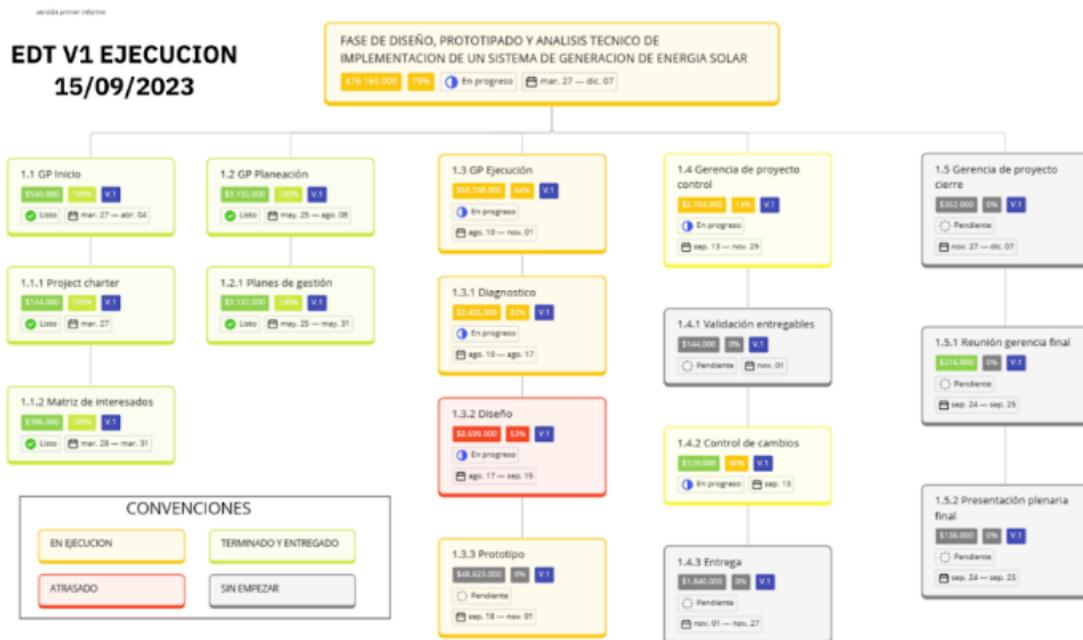


Figure 12 EDT con corte a 15 de septiembre de 2023

**Primer informe 15/09/2023**



**4.4.2.2 Segundo informe con fecha de corte 03 de noviembre de 2023**

Paquetes terminados  
 Paquetes en ejecucion  
 Paquetes no iniciados



Figure 13 EDT con corte a 03 de noviembre de 2023



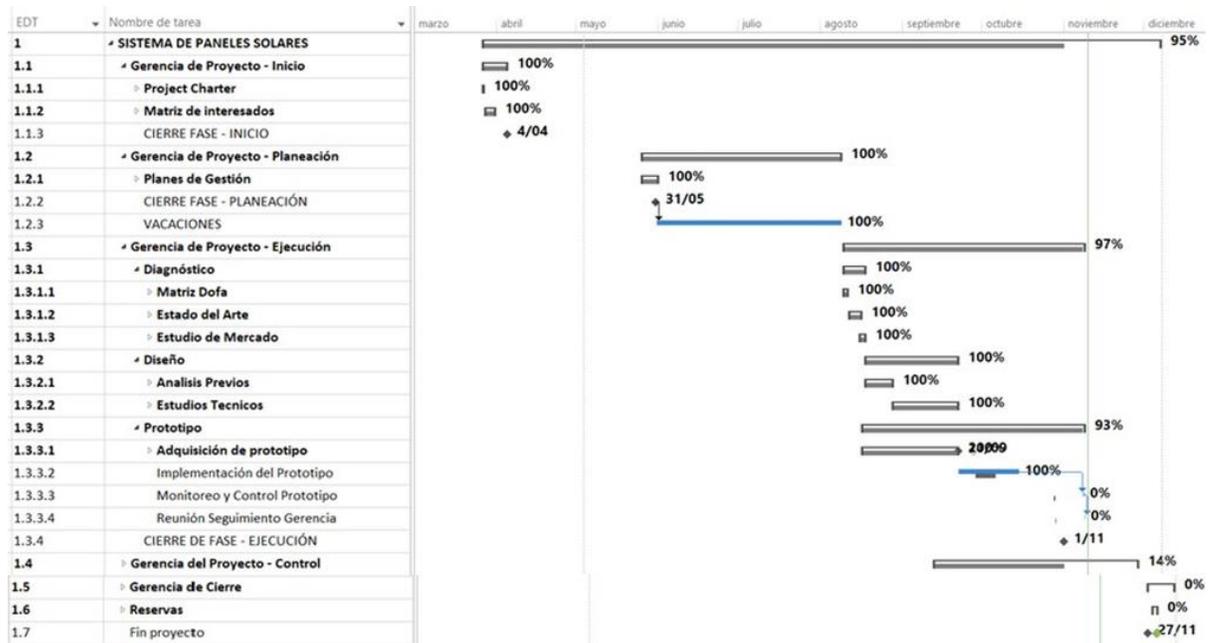
#### 4.4.3 Validación y seguimiento a requisitos

Teniendo en cuenta los 10 requisitos recopilados para el proyecto, se evidencia que para el primer informe (15 de septiembre) 5 de estos requisitos ya estaban finalizados y aprobados (50%), los cuales pertenecían a la GP de ejecución. Haciendo un comparativo de los requisitos aprobados y finalizados del primer y segundo informe para el 3 de noviembre (segundo informe) se tiene un avance significativo, logrando 7 requisitos ya verificados y aprobados (70%) quedando en GP ejecución realizar pruebas y verificaciones del sistema de paneles solares (10%) y requisitos no iniciados la capacitación y manual de mantenimiento (20%) pertenecientes a la GP de control.

#### 4.4.4 Cronograma

Con corte al 03 de noviembre se evidencia que el desarrollo del proyecto va lento y con sobrecosto. De acuerdo con esto, se propone como medida correctiva aplicar la técnica de fast tracking en las siguientes actividades: 1.3.3.3 Monitoreo y control de prototipo y 1.4.3.1 Informe

final. Al igual que ejecutar simultáneamente 1.4.3.2 Socialización y Divulgación del Proyecto y 1.4.3.4 Lecciones aprendidas, trabajo realizado por los mismos recursos (Equipo de Trabajo de Grado). Con esto se logra reducir el cronograma en 3 días, procurando realizar las reuniones de cierre en el tiempo planeado



#### 4.4.5 Calidad

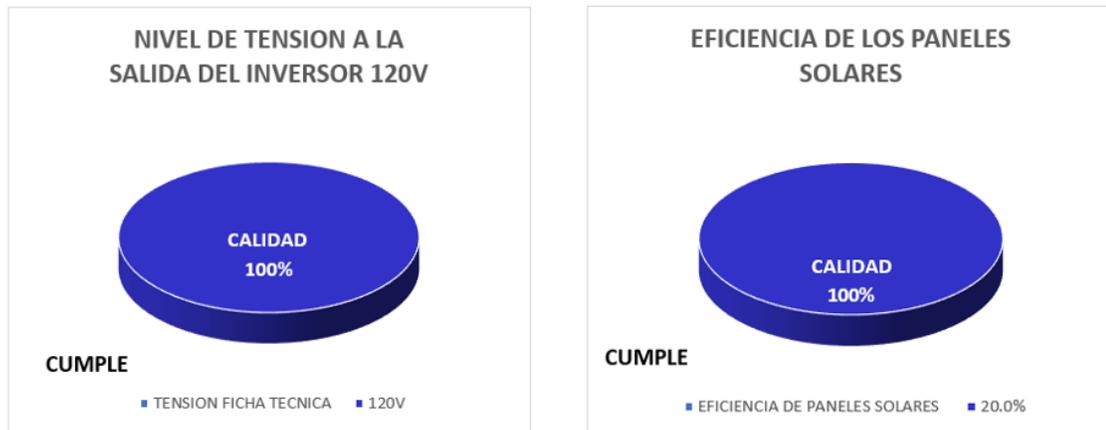
Se realiza el análisis teórico de eficiencia de los paneles solares y nivel de tensión, también se realizan medición del prototipo una vez instalado para contrastar la calidad teórica vs la real

Figure 14 Criterios de calidad paneles e inversores

120V ± 3%	Cumple
120V ± 7%	Cumple parcialmente
120V ± 10%	No cumple

>20%	Cumple
>18% - <19%	Cumple parcialmente
<17%	No cumple

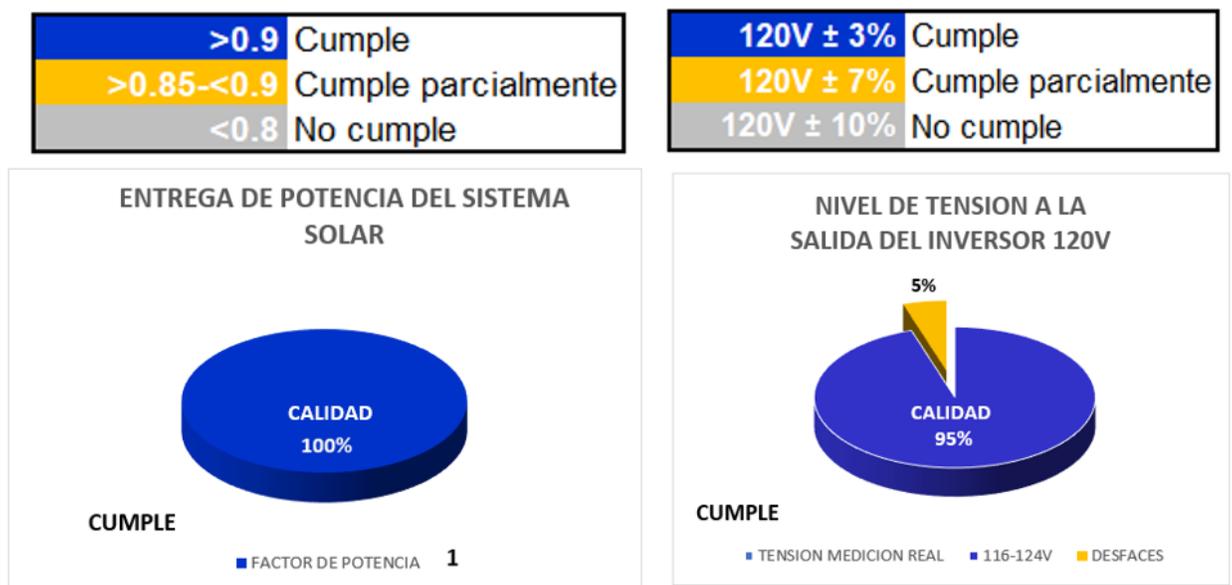
Figure 15 Evaluación teórica de la calidad de paneles e inversor



Análisis de métrica de Calidad del Producto

De acuerdo con las métricas establecidas y las tolerancias permitidas de los resultados obtenidos del indicador de tensión con corte a 15 de septiembre y 3 de noviembre se encuentra que el inversor por ficha técnica cumple con el nivel de tensión y las mediciones reportadas por el contratista coinciden con ficha técnica, sin embargo, estas mediciones se verificarían nuevamente en la etapa de monitoreo con la extracción de datos que arroje el inversor.

Figure 16 Entrega de potencia de los inversores y nivel de tensión



### Análisis de métrica de Calidad del Proyecto

CPI: Menor o igual a 0.95 Sobre costeadado, Mayor a 1.05 Ahorrando y Entre 0.95 y 1.05

Aprobado

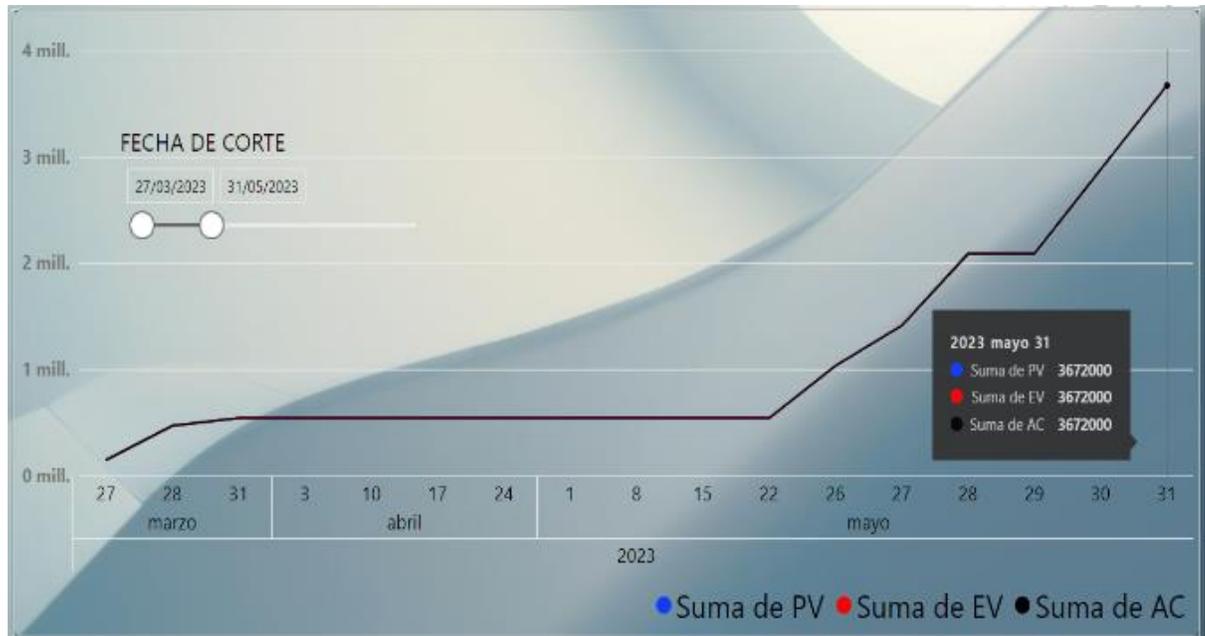
SPI: Menor o igual a 0.88 Atrasado Mayor a 1.11 Adelantado Entre 0.88 y 1.11 Aprobado

De acuerdo con las métricas establecidas y la tolerancia permitida de 5% en los indicadores SPI y CPI para el primer informe (corte 15 de septiembre) el proyecto se encontraba en atraso con un SPI (0.76) y sobre costeadado CPI (0.88). Dado que se adelantaron las fechas de licitación, adjudicación del sistema solar e instalación de prototipo se recuperaron tiempos de trabajo, para el 3 de noviembre (segundo informe) el KPI de cronograma volvió a límites permitidos SPI (97) sin embargo persiste un sobrecosto en el índice de costo CPI (0.92)

## 4.5 Dashboard

Para la elaboración y presentación del proyecto se desarrolló un tablero de control utilizando la herramienta Power Bi de Microsoft. Se trata de un tablero dinámico que se encarga de leer los datos de avance del proyecto desde una base de datos de Excel, datos que son exportados desde Project, el tablero permite realizar seguimientos no solo en las fechas solicitadas por el programa sino de todo el desarrollo del proyecto con solo desplegar la fecha de seguimiento de nuestro interés, a continuación, se muestran los datos obtenidos en las fechas de corte solicitadas por el programa de especialización en gerencia de proyectos

Figure 17 Curva S en la etapa de planeación



En la etapa de planeación el proyecto se fue desarrollando con un cumplimiento en tiempo y costo del 100% teniendo en cuenta que las actividades solo dependían del equipo de trabajo de grado, en las siguientes fechas de corte el cumplimiento y la medición del CPI SPI comienzan a variar al depender de otras áreas o personas

Figure 18 primer informe fecha de corte 15 de septiembre de 2023



Figure 19 Curva S con fecha de corte 15 de septiembre de 2023

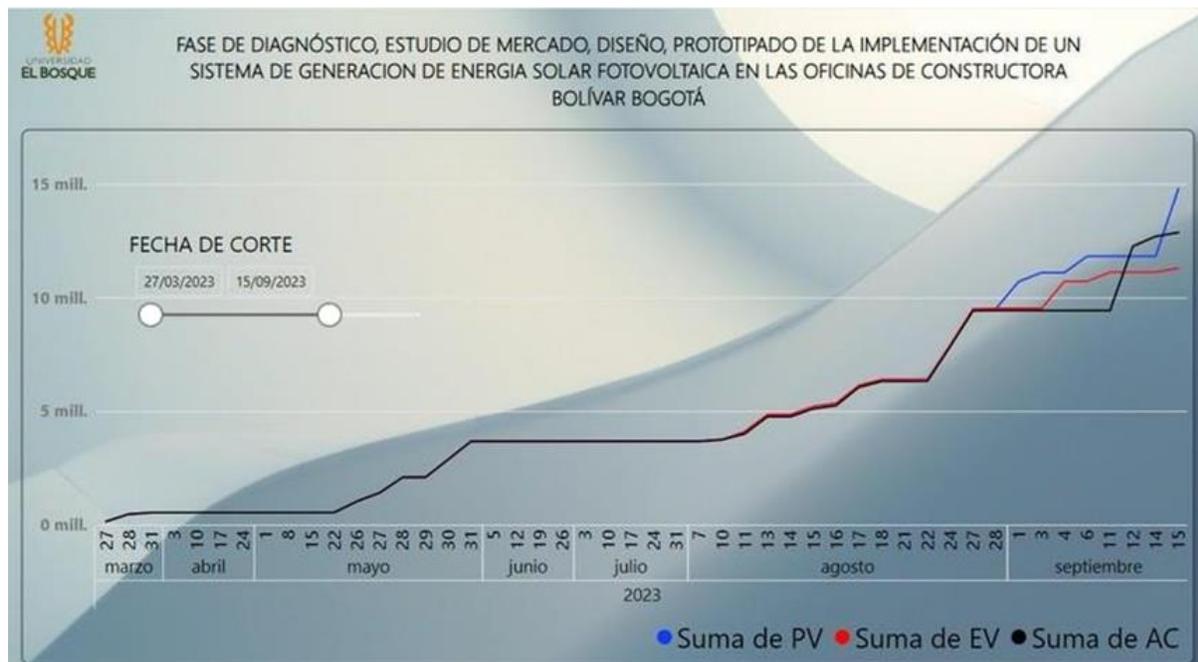
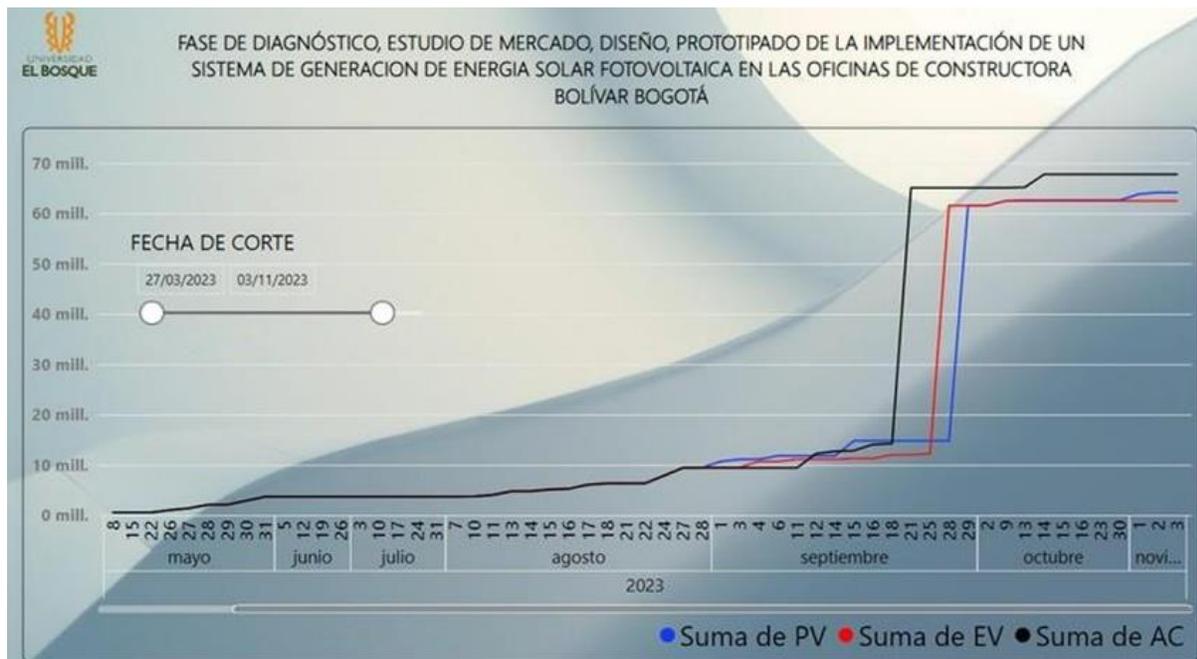


Figure 20 Segundo informe fecha de corte 03 de noviembre de 2023



Figure 21 Curva S con fecha de corte 03 de noviembre de 2023



Variaciones, indicadores de rendimiento y proyecciones.

- Para el 15 de septiembre (informe 1) se tenía un valor planeado (PV) \$ \$14.797.000, sin embargo, se ganó trabajo (EV) por \$11.290.000. En el desarrollo del trabajo, se gastó (AC) \$ 12.869.000, es decir tuvo una variación en el costo (CV) de -\$1.579.000 y un atraso respecto a la planeación (SV) de-\$3.507.000. Lo anterior arrojaba un indicador de cumplimiento del cronograma (SPI) del 0.76 y una eficiencia en costo (CPI) de 0.87, es decir se tenía un sobre costo de 13% en las actividades desarrolladas con fecha de corte de 15 de septiembre. Falta gastar a esta fecha de corte \$73.948.306 para finalizar el proyecto. Con este ritmo de trabajo, el costo al finalizar el proyecto (EAC) es de \$86.817.306, por lo que se estima gastar (VAC)\$10.652.306 más de lo presupuestado, se debe entonces mejorar la eficiencia en 2%. Los sobre costos en este periodo se presentaron por demoras en el diseño del prototipo del sistema solar y en el análisis económico y financiero al requerir más días para culminar las actividades.

- Para el 3 de noviembre (fecha de corte del segundo informe) se tiene un trabajo planeado (PV) de \$64.168.000, trabajo ejecutado (EV) \$62.504.000 por las actividades ganadas de diagnóstico, diseño y prototipo y costos reales (AC) \$67.773.000. Variación en el costo (CV) \$ -5.269.000 y variación en el cronograma (SV) -\$1.664.000, lo que indica que el proyecto va lento. SPI 0.97 y CPI 0.92. Falta gastar \$14.812.613 para finalizar el proyecto. Se estima gastar (VAC) \$6.420.603 más de lo presupuestado, por lo que se va a revisar y reportar en el siguiente informe de seguimiento, si las demoras en entregables fueron determinadas como riesgos y cuál fue su plan de tratamiento, a fin de que el Gerente de proyectos revise la opción de activar la reserva de contingencia, si lo considera oportuno. De otra parte, como medida correctiva para las actividades faltantes o pendientes de iniciar, se considera plantear un Fast Tracking para recuperar días, de acuerdo con lo explicado en el numeral C. Cronograma del tablero. También se revisa la opción de realizar las reuniones y socializaciones de manera virtual, con el fin de minimizar los costos de transporte del equipo de trabajo. Un TCPI de 1.63% con corte a 3 de noviembre, reafirma que el proyecto debe mejorar la eficiencia en costos ahorrando 63% en las actividades siguientes para evitar salirse de lo presupuestado.

- Si bien es cierto, en el primer informe, el CSI con un valor de 0.66 indicó que el proyecto estuvo en riesgo. Para el segundo informe, el haber adelantado las actividades de

licitación, adjudicación del sistema solar fotovoltaico e implementación del prototipo para la sala de ventas mejoró ese índice (CSI=0.89). Se recomienda seguir revisando con periodicidad el desempeño del proyecto.

- Respecto a los costos reales, los meses con mayor inversión son agosto y septiembre por la actividad representativa de adjudicación de sistema solar \$46.656.000 distribuidos con 50% de anticipo, 45% avance y 5% de socialización y entrega del prototipo de paneles instalados en la sala de venta.

Figure 22 Curva S con fecha de corte 05 de diciembre de 2023

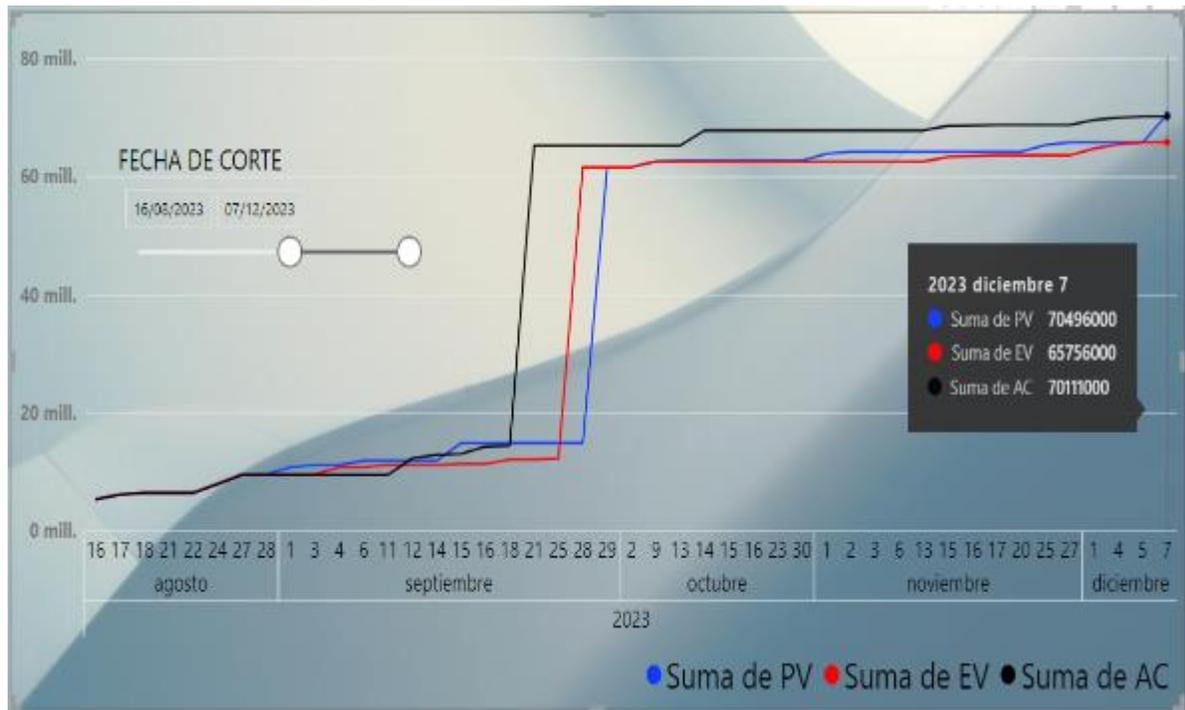


Figure 23 Indicadores con fecha de corte 05 de diciembre de 2023



Para evaluar el estado de avance del proyecto (costo y tiempo) en relación con su línea base se utilizan los indicadores PV, EV, AC, BAC. Para estimar el valor ganado se recopila la información sobre el porcentaje de terminación de entregables que para esta etapa de planeación corresponden al Project charter y los planes de gestión con un cumplimiento del 100%. Multiplicando estos porcentajes de terminación de las actividades por su respectivo costo total, se obtiene el valor trabajado. A la fecha de corte no hay variación en costo, ni en cronograma Calidad.

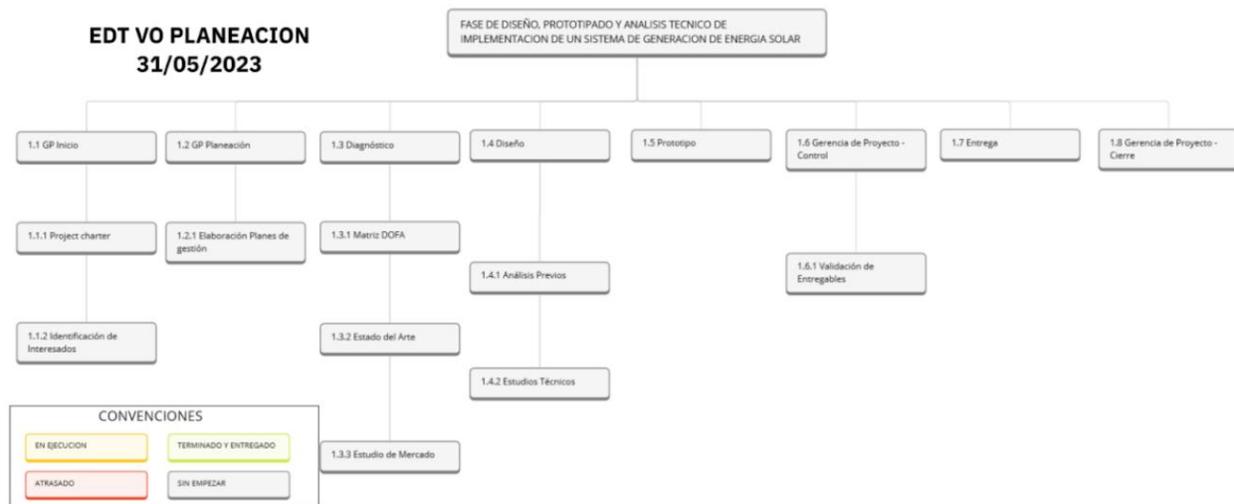
Para el 5 de diciembre (Fecha en que finalizó el proyecto) se tiene un trabajo planeado (PV) de \$65,740,000, trabajo ejecutado (EV) \$65,756,000 por las actividades ganadas de Monitoreo y control de prototipo, verificaciones de entregables, informe final, socialización y divulgación del proyecto, reunión Gerencia final y lecciones aprendidas y costos reales (AC) \$70,111,000. Variación en el costo (CV) \$-4,355,000 gastado más de lo trabajado y variación en el cronograma (SV) \$16,000, lo que indica que el proyecto terminó antes de lo planeado (2 días). SPI = 1 CPI = 0,94 El proyecto cumplió la meta al 100%. Se activó la reserva de

contingencia al materializar los riesgos por demoras en los estudios técnicos y retardos en insumos del prototipo. La reserva de gestión no se utilizó en el proyecto.

#### 4.6 Informe de cierre

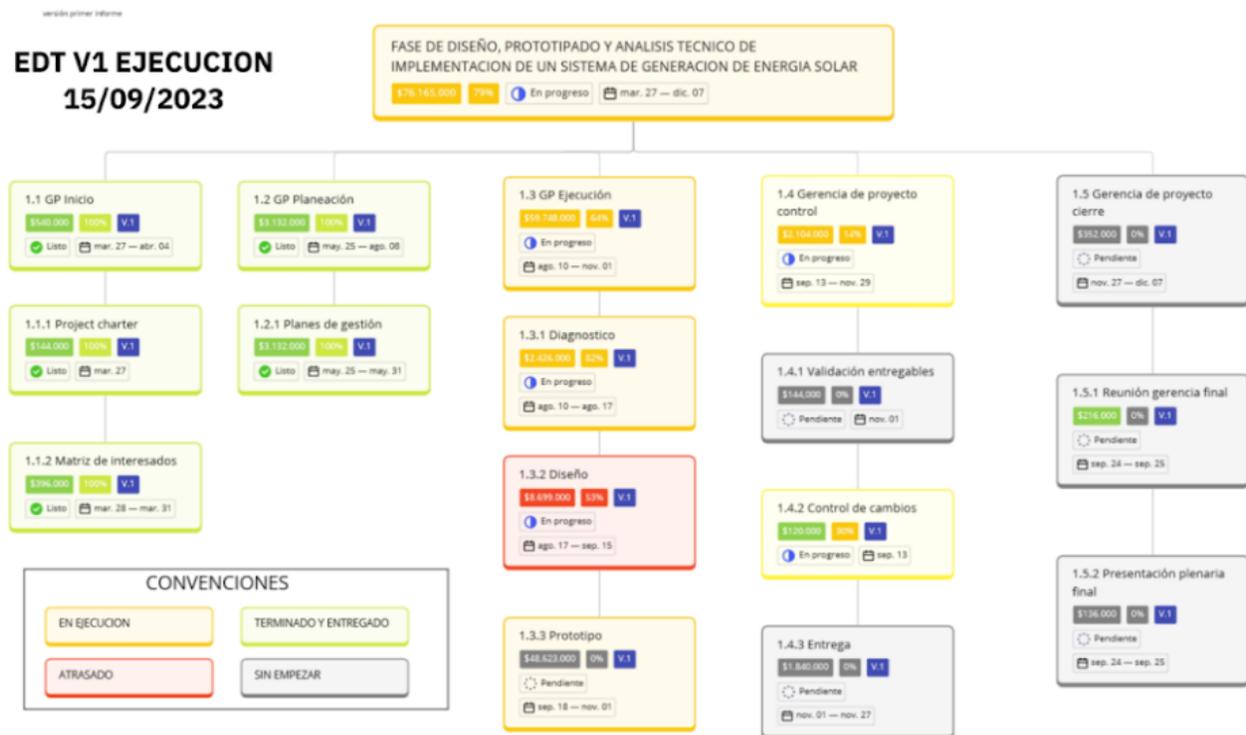
Se analiza ala EDT en su premier versión correspondiente a la etapa de finalización de la planeación donde se evidencia un 0% de avance en la ejecución.

Figure 24 EDT V0 etapa de planeación con corte a 31 de mayo de 2023



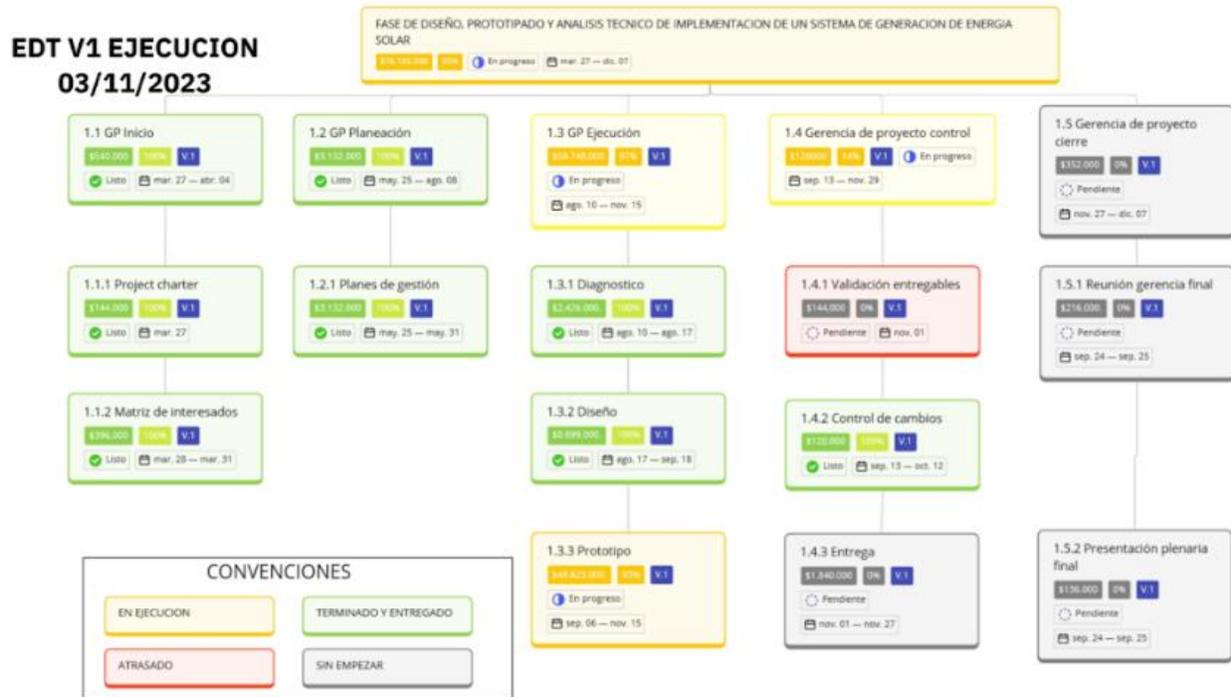
Se realiza el primer informe de seguimiento con fecha de corte al 15 de septiembre de 2023 logrando un avance bastante significativo del 79% y 5 paquetes de trabajo entregado al 100% como se evidencia en la actualización de la EDT.

Figure 25 EDT con fecha de corte al 15 de septiembre de 2023



Se realiza el siguiente corte con fecha del 03 de noviembre de 2023 y se cuenta con un avance del proyecto del 95% y 8 paquetes de trabajo finalizados al 100%.

Figure 26 EDT con fecha de corte al 03 de noviembre de 2023



Finalmente se realiza el ultimo corte del proyecto al cierre de este con fecha de corte del 05 de diciembre de 2023 obteniendo un avance del 100% y la finalización de este.

Figure 27 EDT con fecha de corte al 05 de diciembre de 2023



### Validación - seguimiento a requisitos y entregables

Teniendo en cuenta los 10 requisitos recopilados para el proyecto, se evidencia que para el primer informe (15 de septiembre) 5 de estos requisitos ya estaban finalizados y aprobados (50%), los cuales pertenecían a la GP de ejecución. Haciendo un comparativo de los requisitos aprobados y finalizados del primer y segundo informe para el 3 de noviembre (segundo informe) se tiene un avance significativo, logrando 7 requisitos ya verificados y aprobados (70%) quedando en GP ejecución realizar pruebas y verificaciones del sistema de paneles solares (10%) y requisitos no iniciados la capacitación y manual de mantenimiento (20%) pertenecientes a la GP de control. Finalmente, a corte 5 de diciembre se cuenta con el total de requisitos aprobados y finalizados.

Figure 28 Matriz de requisitos

ID	Entregable	Criterio de aceptación	Fecha de aceptación
1	3 cotizaciones para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en las oficinas de Constructora Bolívar	Entrega de oferta técnico económica para implementación sistema solar fotovoltaico bajo escenario PPA	18/08/2023
2	Diseño eléctrico y configuración del sistema solar Prototipo	Diseños con su respectiva autodeclaración	16/09/2023
3	Cotización del sistema de generación solar fotovoltaica para la Sala de ventas	Presupuesto por Item	17/09/2023
4	Diseño de prototipo de 6KW para sala de ventas de Constructora Bolívar	Documento de detalle con las características técnicas del sistema solar	21/09/23
5	Certificado de experiencia del proveedor del Prototipo	Certificado de experiencia	25/09/2023
6	Análisis técnico/ económico	Informe con variables económicas y conclusiones	5/10/2023
7	Prototipo de un sistema solar fotovoltaico de 6kW para una sala de ventas de Constructora Bolívar	Entrega de prototipo funcional instalado en sala de ventas	1/11/2023
8	Reporte de pruebas del sistema solar del sistema solar prototipo	Sistema operando	17/11/2023
9	Manual de Mantenimiento del sistema solar Prototipo	Manual digital o impreso en idioma español	30/11/2023
10	Capacitación personal Constructora Bolívar	1 hora de capacitación	4/12/2023

	Aprobados a corte 01	15/09/2023
	Aprobados a corte 02	09/11/2023
	Aprobados a corte final	05/12/2023

### Registro de costos reales detallados

En la etapa de planeación el valor ganado es igual al costo real ejecutado lo que indica que la etapa se desarrolló sin contratiempo y se obtuvieron los entregables de acta de constitución y planes de gestión sin sobrecostos.

Figure 29 Estado de los costos con fecha de corte a 15 de septiembre de 2023

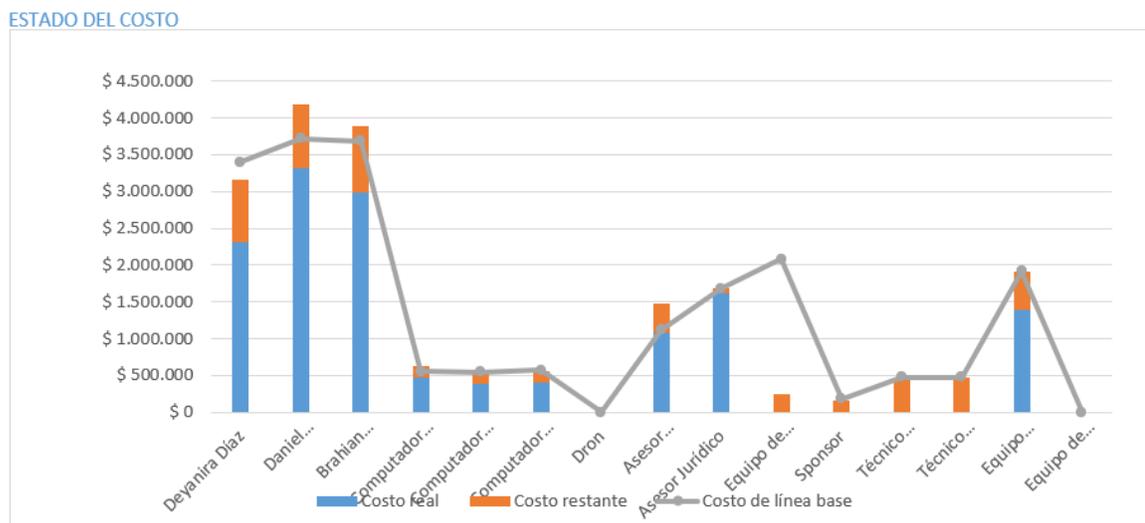


Figure 30 Distribución de costos con fecha de corte a 15 de septiembre de 2023

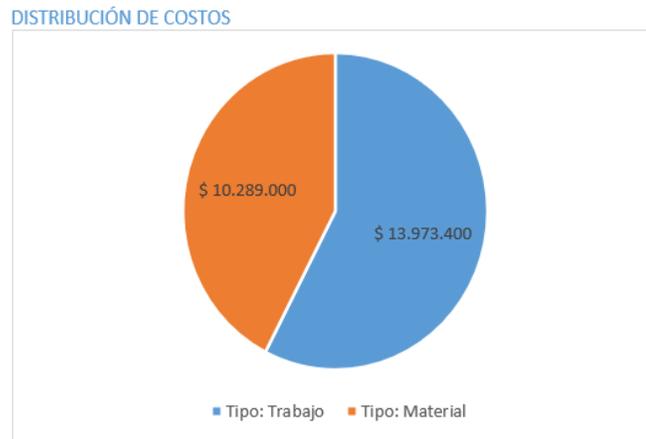


Figure 31 Detalle de costos con fecha de corte a 15 de septiembre de 2023

DETALLES DE COSTOS

Nombre	Trabajo real	Costo real	Tasa estándar
Deyanira Díaz	105 horas	\$ 2.310.000	\$ 22.000/hora
Daniel Santiago Chinome	150,5 horas	\$ 3.311.000	\$ 22.000/hora
Brahian Narvaez	136 horas	\$ 2.992.000	\$ 22.000/hora
Computador No. 1	239,9 horas	\$ 479.800	\$ 2.000/hora
Computador No. 2	190,4 horas	\$ 380.800	\$ 2.000/hora
Computador No. 3	203,9 horas	\$ 407.800	\$ 2.000/hora
Dron	0 horas	\$ 0	\$ 75.000/hora
Asesor Financiero	54 horas	\$ 1.080.000	\$ 20.000/hora
Asesor Jurídico	54 horas	\$ 1.620.000	\$ 30.000/hora
Equipo de abastecimiento	0 horas	\$ 0	\$ 26.000/hora
Sponsor	0 horas	\$ 0	\$ 40.000/hora
Técnico Electricista 1	0 horas	\$ 0	\$ 10.000/hora
Técnico Electricista 2	0 horas	\$ 0	\$ 10.000/hora
Equipo técnico CB	46,4 horas	\$ 1.392.000	\$ 30.000/hora
Equipo de desarrollo POWER BI	0 horas	\$ 0	\$ 18.000/hora

Figure 32 Estado de los costos con fecha de corte a 03 de noviembre de 2023

ESTADO DEL COSTO

Estado de costo de los recursos de trabajo.

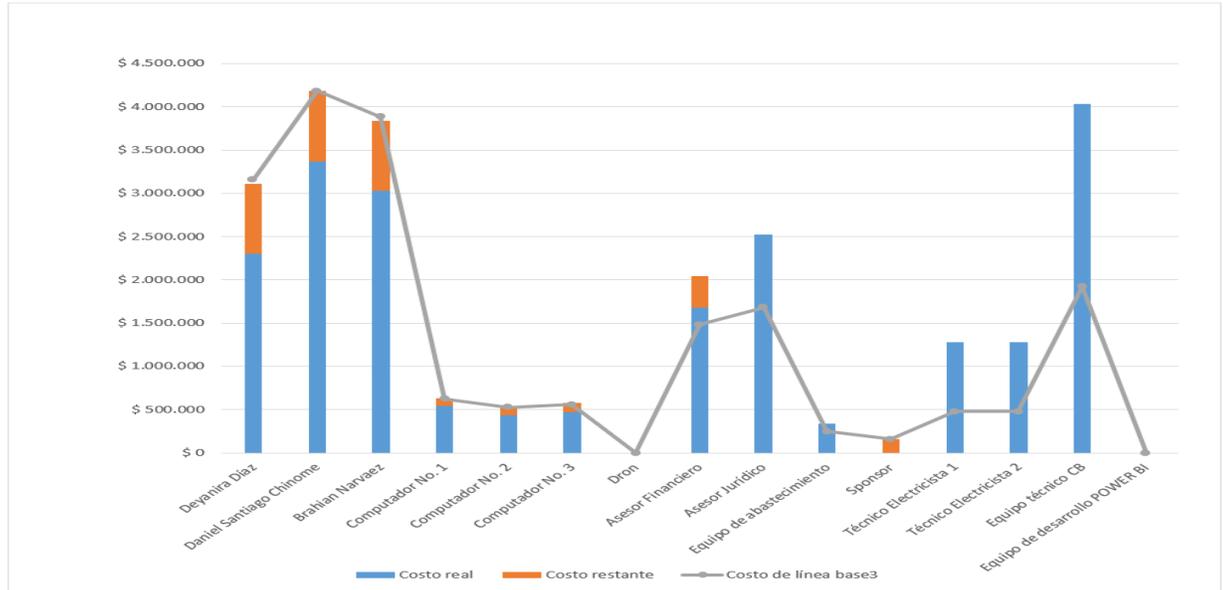


Figure 33 Distribución de costos con fecha al 03 de noviembre de 2023

DISTRIBUCIÓN DE COSTOS



Figure 34 Detalle de costos con fecha de corte a 03 de noviembre de 2023

DETALLES DE COSTOS			
Nombre	Trabajo real	Costo real	Tasa estándar
Deyanira Díaz	104,5 horas	\$ 2.299.000	\$ 22.000/hora
Daniel Santiago Chinome	153 horas	\$ 3.366.000	\$ 22.000/hora
Brahian Narvaez	137,5 horas	\$ 3.025.000	\$ 22.000/hora
Computador No. 1	271 horas	\$ 542.000	\$ 2.000/hora
Computador No. 2	219,5 horas	\$ 439.000	\$ 2.000/hora
Computador No. 3	236 horas	\$ 472.000	\$ 2.000/hora
Dron	0 horas	\$ 0	\$ 75.000/hora
Asesor Financiero	84 horas	\$ 1.680.000	\$ 20.000/hora
Asesor Jurídico	84 horas	\$ 2.520.000	\$ 30.000/hora
Equipo de abastecimiento	13 horas	\$ 338.000	\$ 26.000/hora
Sponsor	0 horas	\$ 0	\$ 40.000/hora
Técnico Electricista 1	128 horas	\$ 1.280.000	\$ 10.000/hora
Técnico Electricista 2	128 horas	\$ 1.280.000	\$ 10.000/hora
Equipo técnico CB	134,4 horas	\$ 4.032.000	\$ 30.000/hora
Equipo de desarrollo POWER BI	0 horas	\$ 0	\$ 18.000/hora

Figure 35 Estado de los costos con fecha del 05 de diciembre de 2023

ESTADO DEL COSTO

Estado de costo de los recursos de trabajo.

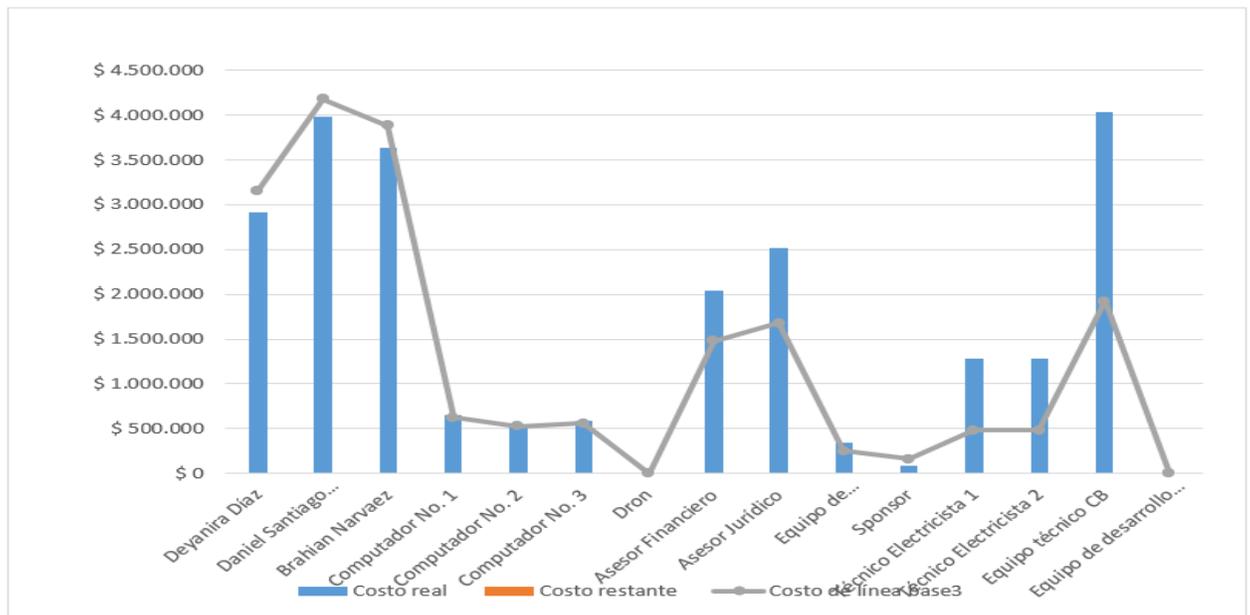


Figure 36 Distribución de costos con fecha de corte 03 de diciembre de 2023



Figure 37 Detalle de costos con fecha de corte a 03 de diciembre de 2023

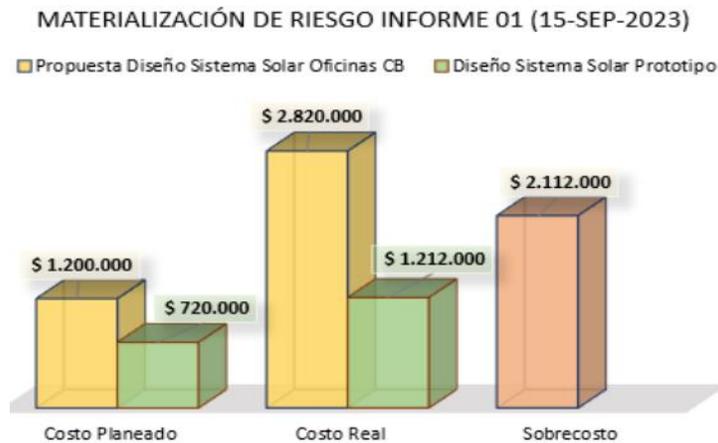
DETALLES DE COSTOS

Nombre	Trabajo real	Costo real	Tasa estándar
Deyanira Díaz	132,5 horas	\$ 2.915.000	\$ 22.000/hora
Daniel Santiago Chinome	181 horas	\$ 3.982.000	\$ 22.000/hora
Brahian Narvaez	165,5 horas	\$ 3.641.000	\$ 22.000/hora
Computador No. 1	327 horas	\$ 654.000	\$ 2.000/hora
Computador No. 2	276,5 horas	\$ 553.000	\$ 2.000/hora
Computador No. 3	294 horas	\$ 588.000	\$ 2.000/hora
Dron	0 horas	\$ 0	\$ 75.000/hora
Asesor Financiero	102 horas	\$ 2.040.000	\$ 20.000/hora
Asesor Jurídico	84 horas	\$ 2.520.000	\$ 30.000/hora
Equipo de abastecimiento	13 horas	\$ 338.000	\$ 26.000/hora
Sponsor	2 horas	\$ 80.000	\$ 40.000/hora
Técnico Electricista 1	128 horas	\$ 1.280.000	\$ 10.000/hora
Técnico Electricista 2	128 horas	\$ 1.280.000	\$ 10.000/hora
Equipo técnico CB	134,4 horas	\$ 4.032.000	\$ 30.000/hora
Equipo de desarrollo POWER BI	0 horas	\$ 0	\$ 18.000/hora

## Materialización de riesgos

Se analizan los diferentes escenarios de fechas de corte para identificar los riesgos materializados

Figure 38 Riesgos con fecha de corte 15 de septiembre de 2023



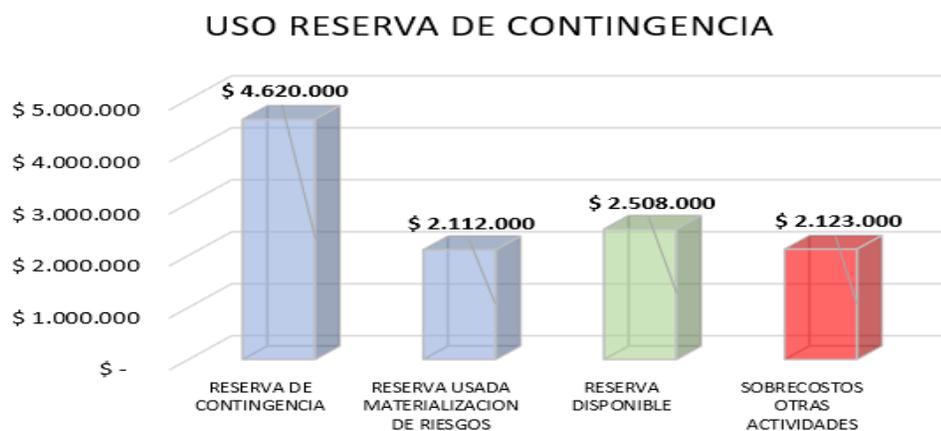
Se presenta la materialización del riesgo de demoras en el diseño del sistema solar fotovoltaico. Si bien la actividad inició el 4 de septiembre como estaba estipulado en la planeación, su finalización debía darse el día 06 de septiembre lo cual no ocurrió y a la fecha de corte 15 de septiembre no se ha recibido el diseño por parte del equipo técnico de Constructora Bolívar. Se procedió a informar al GP para realizar la gestión respectiva y de esta forma poder recibir el diseño y culminar la actividad. Considerando que fue un riesgo que se estimó, se hace necesario una vez finalizada la actividad, cuantificar el sobrecosto para activar el uso de la reserva de contingencia.

Figure 39 Riesgos con fecha de corte a 03 de noviembre de 2023



No se presentan variaciones con respecto al informe No.1 con fecha de corte 15 de septiembre de 2023. No se presentó materialización del riesgo No. 2 "Conflictos internacionales que afecten el tiempo estimado de adquisiciones". De acuerdo con la revisión de la ejecución actual del proyecto se evalúa la posibilidad de solicitar al Patrocinador una reasignación de recursos destinados a cubrir sobrecostos generados por materialización de riesgos.

Figure 40 uso de reservas



El equipo realiza la revisión de ejecución del presupuesto del proyecto, determinando que después del uso de la reserva de contingencia para cubrir los sobrecostos de la materialización de riesgos que ascendieron a \$2.112.000; queda un saldo de la reserva por valor de \$2.508.000. Se solicita al Patrocinador su aprobación para utilizar el saldo existente de reserva de contingencia para cubrir los demás sobrecostos generados en el desarrollo del proyecto. El saldo final después del cubrimiento de los sobrecostos es de \$385.000; dicho valor será reembolsado al Patrocinador.

#### 4.7 Acta de cierre

Se revisó toda la información del proyecto para asegurar que no quedó nada pendiente y que se cumplieron los objetivos. Se ratificó la aceptación formal de los entregables. Se actualizó la información y se recopilaron las lecciones aprendidas.

Se anexa acta de Cierre.

## **4.8 Lecciones Aprendidas**

### ***4.8.1 Hacer más***

La evaluación realista de tiempo y recursos es esencial para evitar retrasos y excesos presupuestarios.

Evaluar los costos a largo plazo es clave para determinar la viabilidad financiera del proyecto. Considerar no solo los costos iniciales sino también los costos de mantenimiento, reemplazo de componentes y posibles mejoras a lo largo del tiempo.

El seguimiento riguroso del presupuesto es necesario para evitar desviaciones significativas, seguir capacitándonos y practicando en la herramienta project para aprovechar todo su potencial continuar en la búsqueda de nuevos proveedores e inversionistas que estén interesados en el modelo de negocio PPA.

### ***4.8.2 Comenzar a hacer***

Revisar actividades que se pueden gestionar en paralelo para ganar tiempos y/o acortar el cronograma, aplicar técnicas de recuperación al cronograma, realizar los controles de cambio y/o actualizaciones para mantener documentado y controlado el proyecto y reuniones de socialización en etapas tempranas con nuevos interesados clave

### ***4.8.3 Seguir haciendo***

Seguir investigando y entendiendo la regulación colombiana en cuanto a incentivos tributarios para la implementación de soluciones solares, mantenimiento regular de los paneles es esencial para garantizar un rendimiento óptimo y prolongar la vida útil del sistema. Se aconseja un programa de mantenimiento que incluya la limpieza de los paneles e inspección de conexiones, capacitación adecuada del personal y la conciencia sobre el uso y mantenimiento son esenciales, análisis de variaciones para determinar causas y diferencias entre la línea base y el desempeño real, reuniones cortas de seguimiento para verificar el progreso y anticiparnos a posibles problemas y/o retrasos que pueden afectar la calidad de los entregables.

#### **4.8.4 Hacer menos**

Actividades con predecesoras solo las realmente necesarias para identificar y orientar esfuerzo en las actividades que son críticas.

Gold plating, aquellos extras que se le dan al cliente por el esfuerzo adicional de un miembro del equipo por hacer lo mejor posible.

Subestimar los riesgos por más insignificantes o con poca probabilidad de ocurrencia

Asignar tareas a más de un responsable, al final la responsabilidad está compartida y no hay un responsable directo.

Estimar el tiempo de duración de las actividades con un tiempo muy justo sin antes haber analizado todos los riesgos.

## **Capítulo 5 Evidencias del producto**

### **5.1 fase de análisis**

#### **5.1.1 Matriz Dofa**

Se realizó el análisis del comportamiento interno de la empresa Constructora Bolívar con el fin de conocer sus debilidades, fortalezas, oportunidades y amenazas, para determinar la mejor alternativa de implementación de un sistema de generación solar fotovoltaica, los respectivos análisis forman parte de los anexos a este documento.

#### **5.1.2 Estudio de mercado**

Se espera que el mercado de energía solar de Colombia registre una CAGR de más del 10,5 % durante el período de pronóstico. Con la pandemia de COVID-19, el mercado no había presenciado ningún impacto negativo importante. El mercado creció alrededor de un 18,8 % en 2020, a pesar de los desafíos relacionados con la disponibilidad de mano de obra, la cadena de suministro y algunos otros. Los principales impulsores del mercado incluyen iniciativas gubernamentales como la medición neta para promover la energía renovable, reducir las emisiones de GEI y tener una forma de energía sostenible. Además, se espera que el mercado colombiano de energía solar aumente con el aumento de la demanda de electricidad, que se

espera que se genere a partir de sus próximos proyectos de energía solar fotovoltaica en construcción. Sin embargo, es probable que la creciente adopción de fuentes alternativas de energía limpia obstaculice el crecimiento del mercado de la energía solar en el período de pronóstico.

- Se espera que el segmento solar fotovoltaico (PV) domine el mercado durante el período de pronóstico, debido a las mayores inversiones.
- Colombia tiene una radiación solar promedio alta debido a su ubicación en la zona ecuatorial. Esto ha creado enormes oportunidades para explotar la energía solar del área con el mejor recurso solar.
- El factor antes mencionado, combinado con recursos de energía solar y extensos proyectos solares, brinda una oportunidad para el crecimiento del mercado de energía solar en Colombia, que se espera que cree una oportunidad para que el mercado crezca en un futuro cercano.

#### **5.1.2.1 Tendencias clave del mercado**

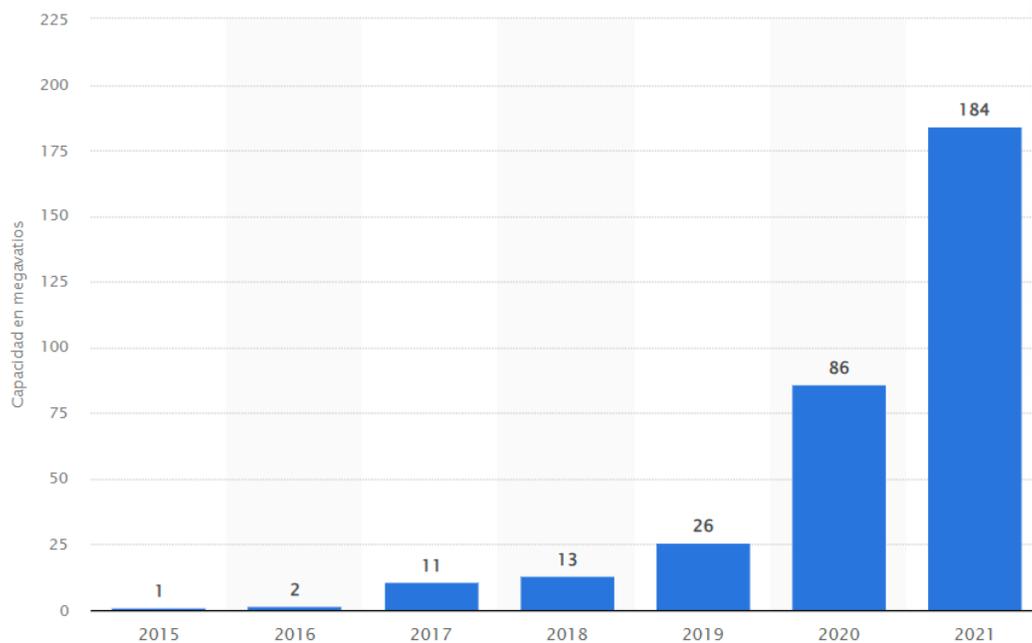
##### **Solar fotovoltaica para dominar el mercado**

Colombia tiene una radiación solar promedio más alta que la mayoría de los países de Europa o Estados Unidos. La península de la Guajira en el noreste y la llanura del Orinoco en el este de Colombia alcanzaron los valores nacionales más altos de 6,0 kWh/m<sup>2</sup>.

- Colombia cuenta con una excelente radiación solar durante todo el año, especialmente en departamentos como La Guajira, Atlántico, Antioquia y Valle del Cauca. El posicionamiento geográfico del país es una de las razones por las que se ha convertido en un importante generador de energía solar. El efecto de la energía solar dura hasta 12 horas al día.
- A partir de 2021, la planta solar de El Paso fue la planta solar más grande construida hasta la fecha en el país, con 86,2 MW de capacidad total. La instalación, ubicada en el departamento de Cesar en el norte de Colombia, representa por sí sola el 80% de la capacidad solar instalada del país. El Paso tiene el potencial de producir alrededor de 176 GWh cada año, cubriendo las necesidades energéticas anuales de aproximadamente 102.000 hogares colombianos, equivalentes a unas 400.000 personas, evitando la emisión anual de alrededor de 100.000 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

- A octubre de 2021, el gobierno colombiano adjudicó 11 nuevos proyectos solares a gran escala, que se espera generen una inversión de alrededor de USD 875 millones y entren en operación a principios de 2023.
- La energía solar se ha acelerado desde 2019, con un aumento de la capacidad total de más del 10 % y alcanzando los 107 MW en 2020. En general, el sector de energía solar de Colombia experimentará un crecimiento decente.

Figure 41 Capacidad instalada de energía solar en Colombia a 2021



Nota. Fuente: <https://cdn.statcdn.com/Statistic/1235000/1238176-blank-355.png>

### 5.1.2.2 Aumento de la demanda de energía solar para impulsar el mercado

- Colombia tiene una de las matrices energéticas más limpias del mundo. Sin
- como los paneles solares en las plantas hidroeléctricas, se están implementando en todo el mundo.

- Colombia disfruta de radiación solar durante todo el año, especialmente en departamentos como La Guajira, Atlántico, Antioquia y Valle del Cauca. La capacidad solar instalada del país alcanzó los 107 MW en 2020.
- Alrededor del 70 % de la electricidad del país ya proviene de la energía hidroeléctrica, pero Colombia se enfoca en aumentar rápidamente la participación de la energía solar y eólica al 9 %, lo que equivale a alrededor de 1500 MW para fines de 2022. Colombia ha adjudicado contratos para energía eólica y eólica. proyectos solares por un valor aproximado de 2.200 millones de dólares.
- Con proyectos de energía solar próximos y en construcción, la demanda de energía solar está impulsando el mercado.
- Colombia ha adjudicado contratos para energía eólica y eólica. proyectos solares por un valor aproximado de 2.200 millones de dólares.
- Con proyectos de energía solar próximos y en construcción, la demanda de energía solar está impulsando el mercado.

### **5.1.2.3 Panorama competitivo**

El mercado colombiano de energía solar está moderadamente consolidado. Algunos de los jugadores clave en el mercado incluyen Celsia SA ESP, Enel Green Power SpA, Trina Solar Ltd., Solen Technology y Solar Energy Colombia. Además, grades empresas como EPM, Codensa le apuntan a este mercado en auge.

### **5.1.2.4 Power Purchase Agreement o PPA**

Se trata de una modalidad de negocio presentada como un contrato a largo plazo entre un generador de energía y un potencial consumidor. Para el caso objeto de análisis el vendedor oferta instalar un sistema de generación solar fotovoltaico en el lugar donde disponga el cliente, los costos de instalación, funcionamiento y mantenimiento del sistema de generación corren por cuenta del ofertante de generación y este cobrará la energía que sea consumida por el cliente.

#### **Ventaja:**

- El costo de inversión y mantenimiento para el cliente es cero siempre y cuando no haya que hacer adecuaciones civiles de gran envergadura, bajo ese escenario el riesgo de inversión es cero.
- El costo de la energía pactado entre las partes es mucho más bajo al que oferta el operador de la red.
- No aplican cargos fijos ni impuestos a la factura de energía. Como cargos por confiabilidad o recargos por escasos o cobros adicionales de transmisión distribución o pérdidas.

**Desventaja:**

- Para que estos sistemas sean viables se debe firmar contratos a largo plazo que pueden oscilar entre los 10 o 20 años y esto en la experiencia y desconocimiento de este tipo de contratos genera una barrera de desconfianza del cliente para aplicar estas tecnologías.
- Para que una empresa esté interesada en este tipo de inversiones por lo general se deben estructurar proyectos de más de 80 kW en potencia instalada lo que implica que el potencial cliente debe de disponer de un área efectiva considerable para la instalación del arreglo solar.

**Precio:**

De manera general el precio de la energía kWh se puede llegar a fijar entre un 10 a un 30% por debajo del costo del kWh que oferta el operador de red y se fija una tasa de incremento anual con el cliente que puede estar sujeta al IPC o directamente relacionada con los incrementos del kWh que se subasta en el mercado de la energía.

**5.1.2.5 Power Purchase Cost o PPC**

En este caso no se tiene un contrato de compra de energía, el cliente compra en su totalidad los activos de la solución fotovoltaica y es el cliente quien se encarga de la manipulación y mantenimiento del sistema con ayuda del vendedor.

**Ventaja:**

- No se tienen contratos a largo plazo.

- Se tiene acceso a los beneficios tributarios de la ley 1715 de energías renovables.
- Se puede generar venta de energía a la red.
- Se puede modificar el sistema a consideración del cliente.

**Desventaja:**

- Se tiene que realizar una alta inversión inicial.
- Los costos de mantenimiento corren por cuenta del cliente.
- Tiene un alto riesgo de inversión si no se realizan adecuadamente los estudios.

**Precio:**

En este caso el cliente puede ver la inversión como un ahorro. Para este caso en sistemas de generación On grid se puede estimar costos que entre los \$ 10'000.000 por kW instalado para sistemas menores a 30kW instalados y de \$5'000.000 por kW para sistemas de más de 30kW. Sin embargo, cada proyecto se debe analizar de acuerdo con los requerimientos del cliente su ubicación geográfica y el tipo de tecnología a implementar.

## **5.2 Diseño**

### **5.2.1 Análisis previos**

Para realizar un correcto análisis de las instalaciones como de las necesidades que se tienen en las instalaciones de constructora Bolívar se procedió a solicitar la mayor cantidad de documentación disponible para su análisis como son:

- Recibos de energía de los últimos 6 meses
- Planos arquitectónicos
- Planos estructurales
- Planos de redes eléctricas

Con toda esta información se procede a realizar los respectivos análisis y se puede concluir:

- Las instalaciones de cubierta cuentan con espacio disponible para realizar la instalación de paneles solares.

- No es necesario realizar ninguna adecuación del tipo estructural en los dos edificios
- La torre A cuenta con un ducto eléctrico desde sótano a cubierta que permite realizar la instalación de las redes eléctricas del sistema solar.
- La Torre B no cuenta con un ducto que permita la instalación de las acometidas eléctricas del sistema solar por lo que se deberá manejar una instalación por fachada posterior a la vista
- La torre A y B cuentan con espacios técnicos disponibles en cubierta y/o terraza en el caso de la Torre B para la instalación de los inversores y equipos de transferencia o transformadores elevadores en caso de ser necesario.
- Las cubiertas de Torre A y B cuentan con techo en fibrocemento lo cual no es lo mas recomendable para la implementación de paneles solares de modo que la constructora debe realizar el cambio de la teja de sus dos edificios.
- En caso de que las cubiertas no cuenten con el área suficiente para la instalación de paneles solares se puede disponer del área de parqueaderos hasta 1000m<sup>2</sup> y se evaluara la instalación de paneles solares en estructura de car ports.

## ***5.2.2 Evaluación de infraestructura existente***

### **5.2.2.1 Arquitectura**

Desde el punto de vista arquitectónico identificamos los espacios técnicos como cuartos y ductos al interior de los dos edificios como el área disponible para la instalación de paneles solares en cubierta, que de manera gráfica y con el apoyo de fotos aéreas podemos identificar.

Figure 42 Cubiertas Constructora Bolívar

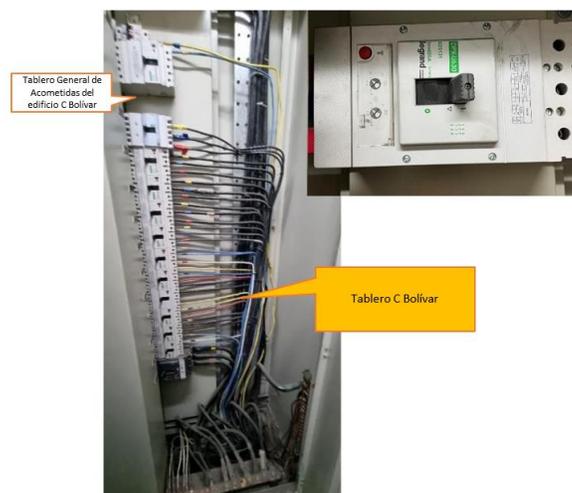


Nota. Fuente: propia

### 5.2.2.2 Redes eléctricas

Al interior de las oficinas se cuenta con dos subestaciones que abastecen la energía a cada uno de los edificios donde resaltamos los tableros generales de alimentadores siendo estos los tableros aptos para recibir la inyección de energía del sistema solar.

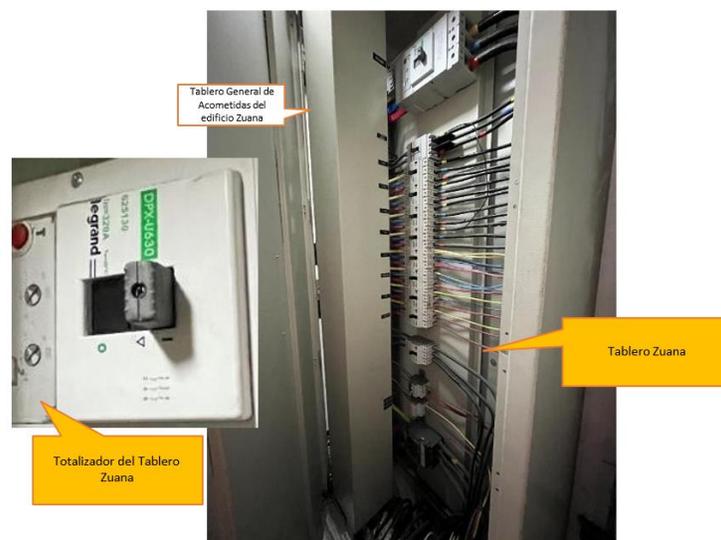
Figure 43 Tablero general de alimentadores en subestación de Torre A



Nota. Fuente: propia

Para la torre A (Edificio constructora Bolívar), se tiene un tablero general de distribución de acometidas alimentado desde una subestación de uso exclusivo de 150 kVA y un breaker totalizador de 400A, se debe realizar una adecuación al tablero eléctrico para ubicar la protección adicional que se requiere por parte del sistema solar para realizar la inyección de energía a la red, por diseño el sistema solar requiere de una protección de 100A.

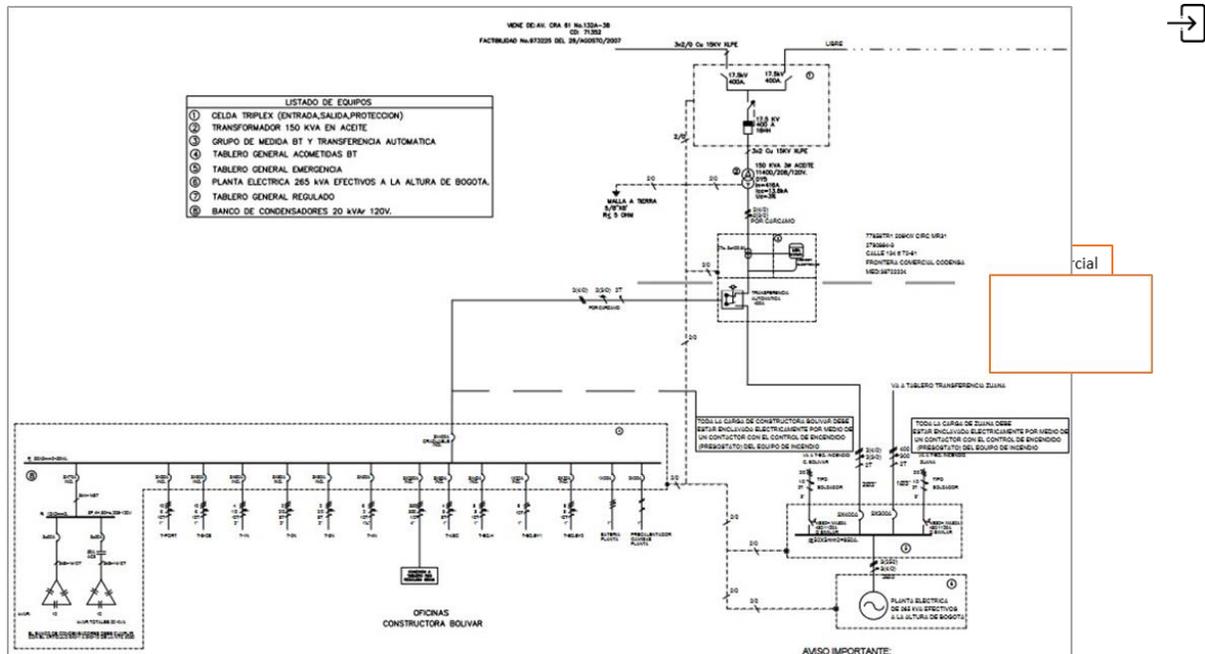
*Figure 44 Tablero general de alimentadores en subestación de Torre B*



*Nota.* Fuente: propia

Para la torre B (Edificio Zuana), se tiene un tablero general de distribución de acometidas alimentado desde una subestación de uso exclusivo de 112.5 kVA y un breaker totalizador de 320A, se debe realizar una adecuación al tablero eléctrico para ubicar la protección adicional que se requiere por parte del sistema solar para realizar la inyección de energía a la red, por diseño el sistema solar requiere de una protección de 80A.

Figure 45 Diagrama unifilar Torre A



Nota. Fuente: Grupo técnico constructora Bolívar

El Edificio Constructora Bolívar Gratamira dispone de una frontera comercial en baja tensión a 208V, el tablero general de acometidas de 400 A es alimentado por un transformador de 150 kVA, la frontera comercial se encuentra en nivel I (identificado en diagrama unifilar).

Se evaluará la capacidad de la barra del tablero general de distribución, para la misma deberá estar acorde a lo especificado en el diagrama unifilar, la corriente a inyectar es de 100 A para la cual requerirá evaluar la corriente en conjunto de la red y del sistema FV

### 5.2.2.3 Análisis estructural de cubiertas

Cubierta mediante vigas de concreto cargueras, conectadas con correas en cajón (perlines en C empaquetados) y sin templetos arriostrantes, para sostener las tejas tipo fibro cemento como se indica en la siguiente imagen

*Figure 46 Estructura de cubierta Oficinas Constructora Bolívar*



*Nota.* Fuente: propia

De acuerdo con el análisis y considerando el peso de los equipos instalados como del personal que debe transitar por estas cubiertas para instalaciones y labores de mantenimiento para garantizar la seguridad de los operarios como equipos se debe realizar el cambio de las tejas de Cubiertas.

Figure 47 Cubierta Torre B, edificio Zuana

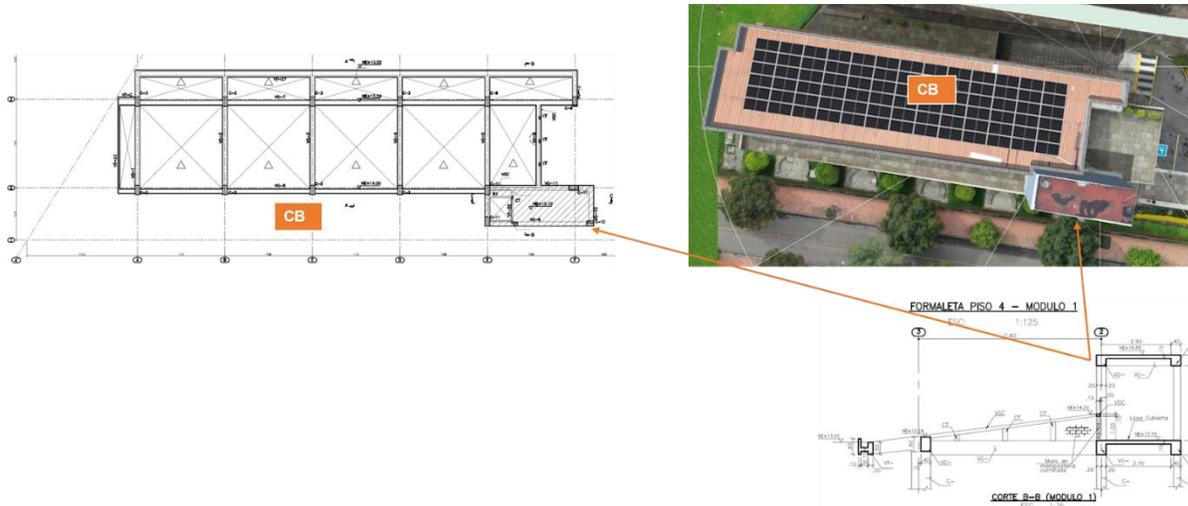


Nota. Fuente: propia

Table 2 Diagnostico cubierta Torre B, Zuana

CUBIERTA	
Denominación	Cubierta ZUANA
Área disponible en cubierta	278,22 m2 Aproximadamente.
Tipo de cubierta	TEJA Asbesto Cemento- SIN MANTO TPO
Ficha técnica de la teja	No se cuenta con información por parte del cliente
Acceso seguro a la cubierta	Cuenta con acceso seguro. El cliente deberá proporcionar la documentación requerida (ver consideraciones). Y garantizar que el sistema de TSA cuenta con inspección y certificación anual de conformidad con la resolución 4272 de 2021.
Puntos de anclaje	No cuenta con puntos de anclaje. El cliente deberá proporcionar la documentación requerida (ver consideraciones). Y garantizar que el sistema de TSA cuenta con inspección y certificación anual de conformidad con la resolución 4272 de 2021.
Líneas de vida	No cuenta con líneas de vida. El cliente deberá proporcionar la documentación requerida (ver consideraciones). Y garantizar que el sistema de TSA cuenta con inspección y certificación anual de conformidad con la resolución 4272 de 2021.

Figure 48 Cubierta Torre A, edificio Bolívar



Nota. Fuente: propia

Table 3 Diagnostico cubierta Torre A, Bolívar

CUBIERTA	
Denominación	Cubierta CB
Área disponible en cubierta	356,47 m2 Aproximadamente.
Tipo de cubierta	TEJA Asbesto Cemento- SIN MANTO TPO
Ficha técnica de la teja	No se cuenta con información por parte del cliente
Acceso seguro a la cubierta	Cuenta con acceso seguro. El cliente deberá proporcionar la documentación requerida (ver consideraciones). Y garantizar que el sistema de TSA cuenta con inspección y certificación anual de conformidad con la resolución 4272 de 2021.
Puntos de anclaje	No cuenta con Puntos de Anclaje. El cliente deberá proporcionar la documentación requerida (ver consideraciones). Y garantizar que el sistema de TSA cuenta con inspección y certificación anual de conformidad con la resolución 4272 de 2021.
Líneas de vida	No cuenta con líneas de vida. El cliente deberá proporcionar la documentación requerida (ver consideraciones). Y garantizar que el sistema de TSA cuenta con inspección y certificación anual de

Planta de cubierta objetivo consta de 2 cubiertas a una sola agua con pendientes del 7% aproximadamente. Material de las tejas asbesto cemento. No se evidencian puntos de acumulación de agua en cubierta. La cubierta no cuenta con un sistema Trabajo Seguro en Alturas (requiere certificaciones).

#### 5.2.2.4 Condiciones sísmicas de la estructura

Se debe garantizar que la estructura se encuentra en la zona operacional bajo el delta de carga ocasionado por el sistema solar planeado. (Certificado y concepto por parte de diseñador para el ejercicio se estima sobrecarga de 18kg/m<sup>2</sup>)

Figure 49 Análisis estructural Torre A



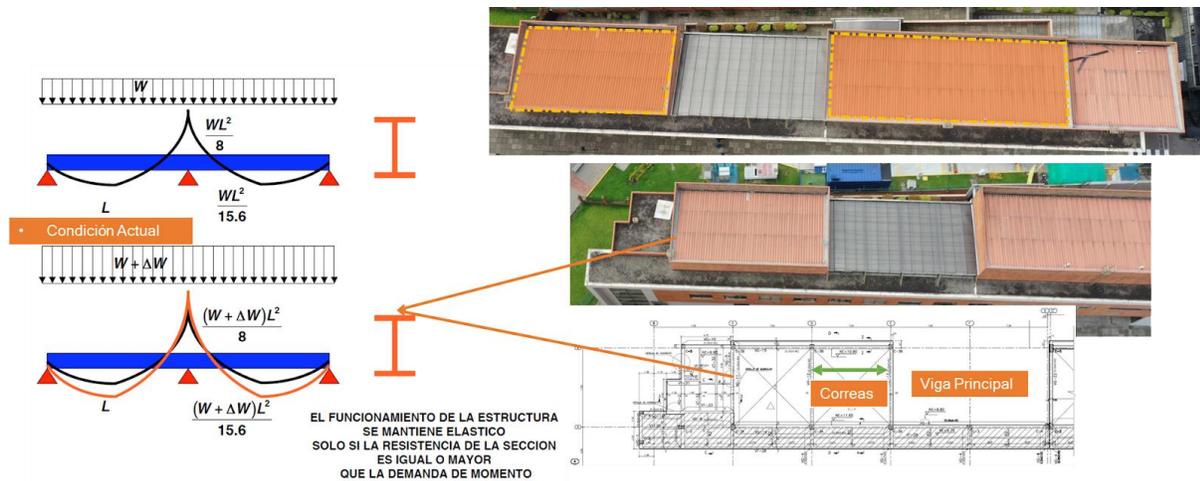
Nota. Fuente: propia

Se considera un delta de carga = 18kg/m<sup>2</sup>

Dentro de la visita se hace un reconocimiento de la calidad y construcción de la estructura (se puede percibir que es buena)

Se validan las cargas sobreimpuestas de 18kg/m<sup>2</sup>, es importante denotar que se convalida bajo las memorias de cálculo

Figure 50 Análisis estructural Torre B



Nota. Fuente: propia

Figure 51 Tipo de teja, correas y carga en cubierta



Nota. Fuente: propia

Condiciones de la cubierta, configuración de correas tope a tope, no cuenta con luminarias suspendidas sobre el entramado metálico en cubierta, no se evidencian las redes de sistema contraincendios suspendidos de la cubierta. Tejas de asbesto cemento, sin tejas traslúcidas; se debe considerar un cambio de cubierta.

### **5.2.2.5 Condiciones de los materiales en la Estructura Existente**

No se cuenta con la información base de diseño estructural el cual puede considerar cuantitativamente los materiales y sus resistencias; cualitativamente se establecieron las respectivas protecciones a los elementos estructurales, lo que indica que el fenómeno de corrosión y protección utilizado en la construcción son adecuados.

Sugerencias de protección típicas: Recubrimiento epóxico, ánodos de sacrificio acero inoxidable, fibra de vidrio, etc.

El estado de la calidad de los materiales es bueno y en la inspección visual no se evidencian focos de corrosiones principalmente en la zona de las tejas.

Se cuenta con canales suficientes para la evacuación de aguas lluvias. El cliente debe suministrar puntos de agua en cubierta para el mantenimiento del sistema.

### **5.2.3 Estudios técnicos**

Para la elaboración de los estudios técnicos bajo el modelo de negocio PPA nos apoyamos en posibles empresas inversionistas como son EPM, Celsia e internacional de eléctricos, cada una de ellas maneja sus propios modelo de negocio y propuestas en cuanto a costo de kWh y carga instalada, como base de análisis todas parten del consumo energético de los 6 últimos meses en las oficinas, datos que se pueden obtener fácilmente desde la página de Enel Colombia y bajando los últimos recibos de energía como también se pueden realizar estudios de carga a través de analizadores de red que pueden dar datos muchos más precisos de consumo de energía minuto a minuto analizando algunos días del mes (mientras el equipo este instalado), como dato de entrada se tiene la ubicación del proyecto y a través de datos históricos de radiación solar que se pueden consultar en la página de la NASA se procede a realizar las respectivas simulaciones.

Figure 52 Ubicación de las oficinas de Constructora Bolívar



Nota. Fuente: Google <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.

Figure 53 Resultados de radiación solar

Mes	GHI kWh/m <sup>2</sup>	DNI kWh/m <sup>2</sup>	DIF kWh/m <sup>2</sup>	D2G	GTL <sub>opta</sub> kWh/m <sup>2</sup>	TEMP °C	WS m/s	CDD Grados día	HDD Grados día
Ene	166.9	154.1	66.3	0.397	175.6	14.6	1.4	12	118
Feb	144.9	116.4	65.2	0.450	149.3	14.9	1.4	11	100
Mar	148.5	92.8	83.0	0.559	149.1	14.8	1.3	9	107
Abr	133.8	78.4	79.6	0.595	131.5	14.8	1.4	5	102
May	139.6	90.2	80.0	0.573	134.7	14.7	1.6	4	107
Jun	139.3	98.3	76.2	0.547	132.9	14.4	1.9	3	110
Jul	149.4	106.8	79.9	0.535	143.2	14.4	2.1	4	117
Ago	149.0	100.2	82.3	0.553	145.1	14.6	2.0	8	113
Sep	144.0	96.0	79.7	0.553	143.4	14.8	1.8	12	108
Oct	141.3	94.7	78.3	0.554	144.0	14.6	1.4	9	115
Nov	135.8	102.3	70.7	0.520	141.4	14.5	1.1	7	112
Dic	152.6	136.5	68.0	0.446	161.3	14.5	1.3	10	117
<b>Anual</b>	<b>1745.1</b>	<b>1266.8</b>	<b>909.1</b>	<b>0.521</b>	<b>1751.6</b>	<b>14.6</b>	<b>1.6</b>	<b>95</b>	<b>1326</b>

Inclinación/azimut óptimo para GTL<sub>opta</sub> 7° / 180°

Nota. Fuente: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Figure 54 Propuesta de ubicación de paneles solares



Nota. Fuente: Cotización sistema solar Celsia

El sistema propuesto para la alimentación se va a dividir en 2 teniendo en cuenta que cada edificio cuenta con su propia subestación y medida en baja tensión, uno de los sistemas se instalará sobre la cubierta del edificio A (constructora Bolívar) y el segundo sistema de generación solar, sobre la cubierta del edificio B (Zuana) como se indica en la anterior imagen (Figure 16).

Los dos sistemas de generación solar inyectarán la energía producida directamente a cada uno de los tableros de distribución de la red eléctrica existente en corriente alterna con una configuración del sistema trifásico 5 hilos.

*Figure 55 Datos técnicos del sistema solar para torre A*

Rendimiento anual espec.	1.340,54 kWh/kWp
Coefficiente de rendimiento de la instalación (PR)	79,57 %
Reducción de rendimiento por sombreado	6,5 %/Año
Energía de generador FV (Red CA)	57.037 kWh/Año
Consumo propio	41.104 kWh/Año
Limitación en el punto de inyección	0 kWh/Año
Inyección en la red	15.933 kWh/Año
Proporción de consumo propio	72,0 %
Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas	28.721 kg / año

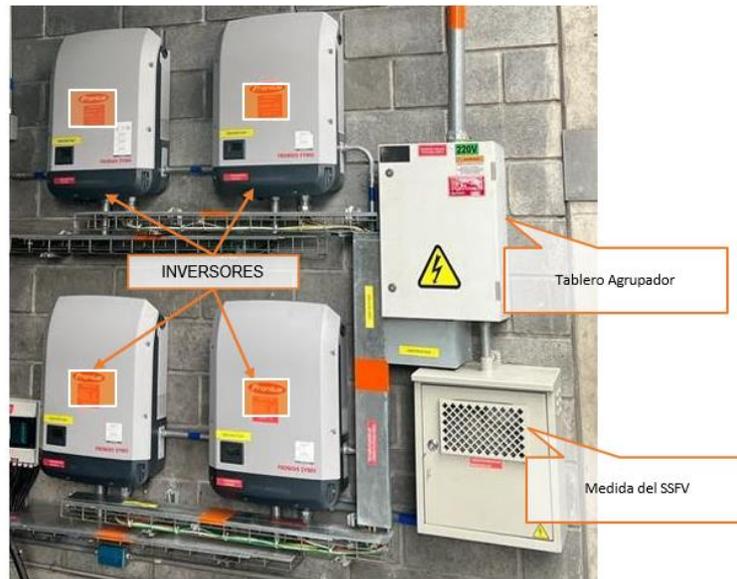
El sistema de generación Solar para el edificio No. 1 (Constructora Bolívar), se ha dimensionado con una potencia pico de 42,51 kWp el cual entregaría una energía de 57.037 kWh/año, la disminución de Emisiones de CO<sub>2</sub> es de 28,72 Toneladas se dimensiona considerando los espacios con mayor viabilidad y considerando el concepto de ingeniería estructural.

*Figure 56 datos técnicos del sistema solar para torre B*

Instalación FV	
Potencia generador FV	32,70 kWp
Rendimiento anual espec.	1.425,25 kWh/kWp
Coefficiente de rendimiento de la instalación (PR)	82,88 %
Reducción de rendimiento por sombreado	2,6 %/Año
Energía de generador FV (Red CA)	46.656 kWh/Año
Consumo propio	38.562 kWh/Año
Limitación en el punto de inyección	0 kWh/Año
Inyección en la red	8.094 kWh/Año
Proporción de consumo propio	82,6 %
Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas	23.489 kg / año

El sistema de generación Solar para el edificio No. 2 (Zuana), se ha dimensionado con una potencia pico de 32.7 kWp el cual entregaría una energía de 46.656 kWh/año, la disminución de Emisiones de CO<sub>2</sub> es de 23,49 Toneladas se dimensiona considerando los espacios con mayor viabilidad y considerando el concepto de ingeniería estructural.

Figure 57 Propuesta de ubicación de inversores



Nota. Fuente: Cotización sistema solar Celsia

ubicados tipo interior o a la intemperie sin embargo de eso puede depender la vida útil de los equipos, como recomendación se deben dejar previstos tipo interior y coordinar el espacio con el personal de mantenimiento de la constructora.

### 5.3 Análisis económico y financiero

Los indicadores financieros más utilizados en la formulación y evaluación de proyectos son: VPN (Valor presente Neto), PRI (periodo de repago o periodo de recupero de la inversión), TIR (tasa interna de retorno) y relación beneficio- Costo. Se utilizan para justificar o descartar proyectos de inversión o para seleccionar entre alternativas de proyectos.

VPN: Mide la rentabilidad del proyecto en la moneda del día de hoy después de recuperar la inversión y el costo de oportunidad del dinero. Un proyecto será rentable sólo si el valor del

flujo de beneficios netos que genera es positivo. Siempre que el VPN sea positivo, desde el punto de vista financiero, conviene llevar a cabo el proyecto

Si  $VPN > 0 \Rightarrow$  Proyecto Rentable  $\Rightarrow$  Invertir

Si  $VPN < 0 \Rightarrow$  Proyecto No Rentable  $\Rightarrow$  No Invertir

TIR: La tasa interna de retorno es la tasa de descuento que hace que el VPN sea igual a cero. Este indicador mide la rentabilidad del proyecto en términos porcentuales. Cuando la TIR es superior a la tasa de descuento (costo de oportunidad del dinero o tasa de interés), el proyecto es rentable. Supuesto: Al principio flujos negativos y luego positivos.

PRI: Periodo de repago o periodo de recupero de la inversión, mide el número de años que se necesitarán para que los beneficios netos amorticen la inversión. Es un criterio muy utilizado porque los empresarios quieren saber en cuantos años estiman que se recuperará la inversión. No existe un criterio definido que mencione cual es el PRI óptimo de un proyecto. No se debe seleccionar un proyecto por su PRI sin evaluar antes su VPN

Relación beneficio Costo

La relación beneficio costo consiste en dividir el valor actual de los beneficios por el valor actual de los costos (incluyendo la inversión inicial)

Si  $B/C > 1 \Rightarrow$  Invertir (El VPN es positivo)

Si  $B/C < 1 \Rightarrow$  No invertir (El VPN es negativo)

Este indicador lleva a la misma toma de decisiones que utilizar el VPN

Para el análisis económico se toma como punto de partida la potencia de cada uno de los sistemas a proyectar según las diferentes ofertas que se tienen como propuesta para un modelo PPA, se cuenta con 3 propuestas de implementación bajo el modelo PPA, las potencias de cada una de las propuestas son variables dependiendo del cierre financiero de las empresas oferentes

Los análisis de costo como las diferentes cotizaciones obtenidas para la implementación del sistema solar se presentan como anexos a este documento.

## **5.4 Análisis ambiental**

Se tiene presente que por más que una propuesta sea positiva y sean evidentes sus beneficios, siempre van a existir impactos negativos que afecten tanto las condiciones naturales como los seres que habitan el lugar de la propuesta en cuestión,

### **5.4.1 Beneficios**

La propuesta de una instalación fotovoltaica solar lleva consigo diversos beneficios porque utiliza energía de una fuente inagotable y renovable como lo es el Sol, promoviendo el avance de una transición energética a energías más limpias. De igual manera, esto aporta a que se reduzca el consumo de energías provenientes de procesos que alteran ecosistemas, como lo son las hidroeléctricas o las combustiones, las cuales generan una gran cantidad de emisiones directas o equivalentes de CO<sub>2</sub> en su funcionamiento.

De acuerdo con la UPME, el factor de emisiones de CO<sub>2</sub> por consumo de electricidad es de 0,126 Kg CO<sub>2</sub>/kWh. Si se multiplica este factor por la energía que produce el proyecto en un mes (12000 kWh) da como resultado un total de 18.14 Ton\*CO<sub>2</sub>/año, esta será la cantidad aproximada de CO<sub>2</sub> que la empresa emite al año por concepto de energía eléctrica, si el proyecto contempla suplir un 30% de la energía demandada, en la misma proporción se disminuirían las emisiones de Co<sub>2</sub> equivalentes a dejar de emitir 5.45 Ton\*CO<sub>2</sub>/año, de esta manera se puede decir que el proyecto aporta a combatir el calentamiento global mediante la disminución de la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero.

Ahora bien, este dato de toneladas de CO<sub>2</sub> por año que se evitan, pueden ser representados de manera gráfica mediante equivalencias de diversas actividades presentes con cantidad de vehículos a combustión que dejan de circular o el equivalente al número de árboles que dejan de consumir esa cantidad de Co<sub>2</sub>, estos datos permiten dimensionar a escala, la

cantidad de emisiones que se evitaría y si lo analizamos dentro de la vida útil de los paneles que puede oscilar entre 25 y 30 años, el ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub> tendría ese mismo multiplicador en años

#### **5.4.2 Impactos**

Los paneles solares están fabricados con una variedad de materiales, algunos de los cuales son peligrosos y tóxicos, como el plomo, el cadmio y el silicio. Estos materiales pueden ser perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente si no se gestionan adecuadamente.

Se estima que, en el año 2030, se habrán generado 60 millones de toneladas de residuos de paneles solares en todo el mundo. Esta cifra se multiplicará por 10 en el año 2050.

Conclusión:

La gestión de los residuos de las instalaciones fotovoltaicas es un desafío importante que debe abordarse para garantizar la sostenibilidad de esta tecnología.

Ahora bien, si se consideran los pesos y cantidades de los paneles utilizados, se puede estimar que, al finalizar la vida útil de la instalación fotovoltaica, se generarán aproximadamente 12,59 toneladas de residuos peligrosos. Esta cifra no incluye los residuos de los inversores y los reguladores.

Adicionalmente, si la constructora decide aplicar nuevamente el proyecto una vez se acabe la vida útil del primero, esto se convertirá en una generación constante de residuos peligrosos. Esta cifra podría aumentar si la empresa decide extender el proyecto del uso de energía fotovoltaica a más zonas.

Cabe aclarar que los paneles solares no se disponen en su estado de uso. Para su correcta disposición, es necesario separar cada parte de ellos (marco, cubierta, capas antirreflejantes internas y celdas), ya que cada material que compone estas partes debe ser tratado de forma diferente.

El aprovechamiento y desensamble de los paneles se realiza mediante separación manual y mecánica para las partes de mayor tamaño, como el cableado, el vidrio y los marcos. Por otra parte, el proceso que incluye temperatura alta sirve para recuperar y separar las partes de las celdas fotovoltaicas, como el silicio y los metales de alta toxicidad.

Figure 58 Diagrama de gestión de residuos



Nota. Fuente: <https://gestionderesiduosonline.com/reciclaje-de-paneles-fotovoltaicos/>

Frente a esto, es importante mencionar que la producción excesiva de residuos de paneles solares podría equilibrarse si se implementa un plan posconsumo adecuado para cada material que compone las partes del panel. Por ejemplo, se podría aprovechar el aluminio y el vidrio removidos para fabricar otros productos, o se podrían recuperar los metales de las celdas mediante un proceso de fundición y utilizarlos para producir nuevos paneles. De esta manera, se aseguraría que los residuos producidos se incorporarían al ciclo productivo, evitando su disposición final.

## 5.5 Prototipo

Se entregan evidencias que demuestran la elaboración de los entregables aprobados por el comité evaluador

Evidencia 1

Prototipo de Sistema Solar fotovoltaico de 6KW

*Figure 59 Instalación paneles solares en sala de ventas San Mateo*



*Figure 60 Panel solares instalados en la sala de ventas San Mateo*



Junto con la entrega del prototipo se entrega el manual de mantenimiento del sistema solar y se presenta como anexo a este documento

Figure 61 Manual de mantenimiento paneles solares



Figure 62 Extracción de datos desde el inversor





*Figure 65 Evidencia reuniones con Patrocinador y equipo de trabajo*



Figure 66 Evidencia capacitación personal constructora Bolívar

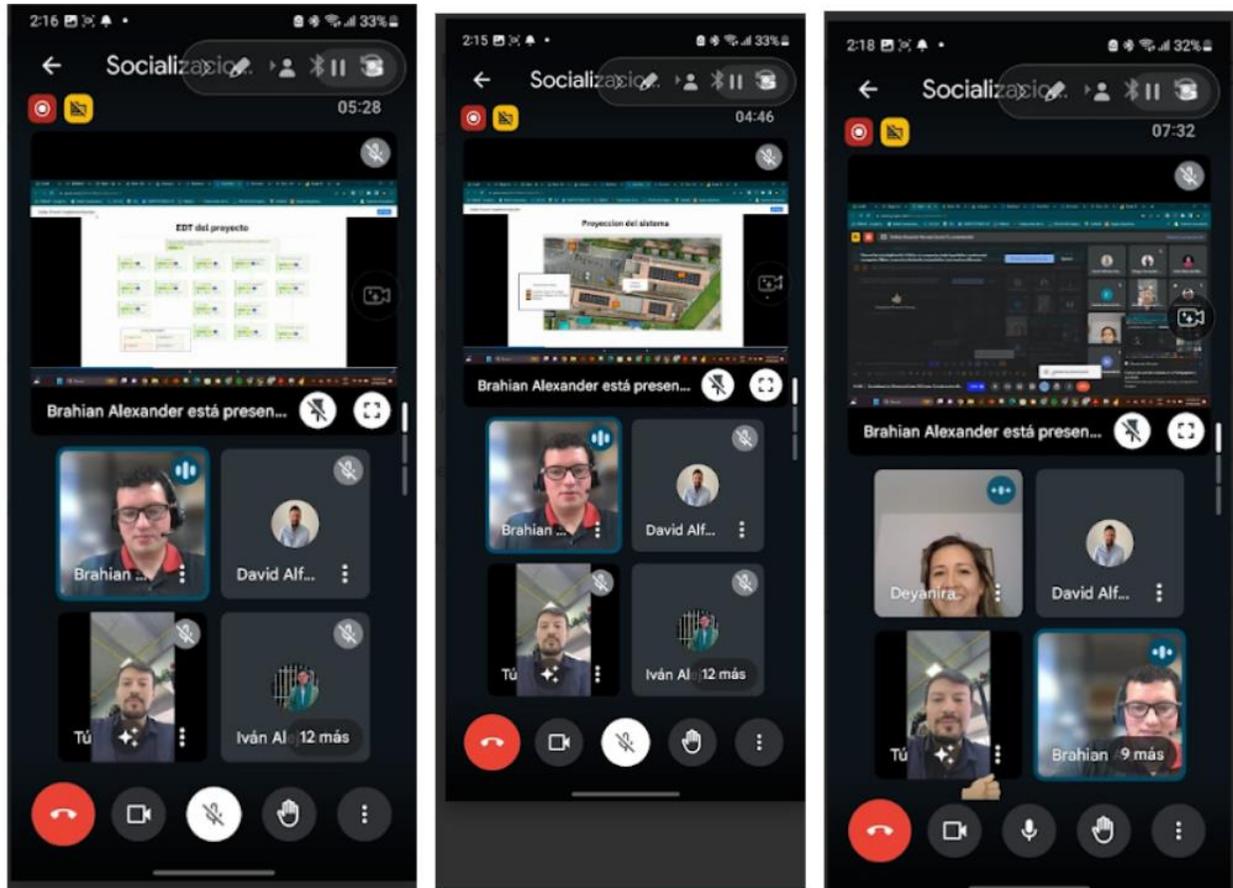
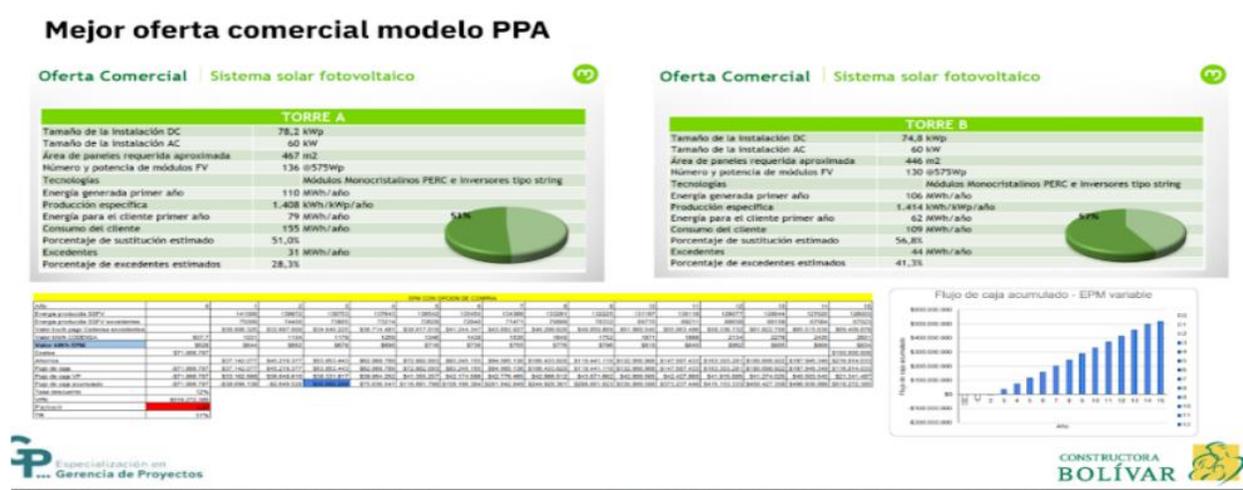




Figure 69 Evidencia cotización sistema solar PPA



Figure 70 Evidencia análisis económico modelo de negocio PPA



Fase de diagnóstico, estudios de mercado, diseño, prototipado de la implementación de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica en las oficinas de constructora Bolívar Bogotá.

---

## Referencias

- Sarmiento Cruz, D. A., Rodríguez Núñez, V. A., Marrugo Redondo, J. M., & Chaparro Acosta, F. A. (2019). Fase de diseño de un sistema de generación eléctrica basado en paneles solares para la Clínica Cooperativa de Colombia. [https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/6642#.Y\\_D8EtGPM6I.mendeley](https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/6642#.Y_D8EtGPM6I.mendeley)
- Estupiñan Duran, L. V., & Alvarado Macana, C. (2022). Estudio de factibilidad técnico - económico para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en la planta de producción de Industrias La Coruña S.A.S. [https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/6587#.Y\\_DnuCWiyP8.mendeley](https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/6587#.Y_DnuCWiyP8.mendeley)
- Colombia, C. d. (13 de 05 de 2014). *funcionpublica.gov.co*. (C. d. Colombia, Productor) Recuperado el 2023, congreso de la republica de colombia <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>
- Marcelo García, J. S. (2022). Análisis económico y ambiental de la implementación de energía fotovoltaica en las instalaciones de Fresenius Medical Care como alternativa frente al alto consumo energético. [https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/9460#.Y\\_DpJ6jmhG4.mendeley](https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/9460#.Y_DpJ6jmhG4.mendeley)
- Marcelo García, J. S. (2022). Análisis económico y ambiental de la implementación de energía fotovoltaica en las instalaciones de Fresenius Medical Care como alternativa frente al alto consumo energético. [https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/9460#.Y\\_DpJ6jmhG4.mendeley](https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/9460#.Y_DpJ6jmhG4.mendeley)
- Risco, D. A. (2021). Diseño de un sistema solar fotovoltaico para reducir el consumo de energía eléctrica en viviendas unifamiliares, tarapoto - 2021.
- Project Management Institute, I. (2017). *Guia de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guia del PMBOK) Sexta edición*. Newtown Square, Pennsylvania: Project Management Institute, Inc.

## **Anexos**

Como anexo a este documento se presentan las tablas cotizaciones entregables que se desarrollaron a lo largo de todo el proyecto cómo también actas de aprobación y aceptación de cada uno de los entregables y reuniones que se fueron desarrollando durante el desarrollo de este.