FASES DE DISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO A ESCALA PARA LA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE GAS NATURAL BUENAVISTA DE LA EMPRESA PBI SAS -YOPAL

Mary Gissel Rosales Delgado
Gustavo Emilio Henriquez Vélez
Carlos Eduardo Vélez Barrantes
Mayo 2024.

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
POSGRADOS FACULTAD DE INGENIERÍA
Especialización En Gerencia de Proyectos

Nota Aclaratoria

Este proyecto es un estudio de prefactibilidad para el diseño de la Planta Solar Buenavista aislada de red, descrita en detalle en este documento. El trabajo realizado proporciona un insumo que podría llegar a ser utilizado por la empresa PBI SAS para la ingeniería de detalle que se utilizará en el diseño final de la planta solar.

Resumen

El documento se basa en un estudio sobre la implementación de un sistema de generación eléctrica utilizando energía solar en la Planta de Procesamiento de Gas Natural Buenavista de la empresa PBI SAS, ubicada en Yopal, Casanare. El objetivo principal es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por los moto-generadores de electricidad a gas, alineándose con la ruta de transición energética de la ley 2169 o ley de acción climática de Colombia.

El proyecto busca ser un insumo que puede llegar a ser utilizado por la empresa PBI SAS para la ingeniería de detalle en el diseño final de la planta solar, con el objetivo de reemplazar el sistema actual, con la intención de reducir hasta 512 toneladas de CO2 equivalentes anualmente de las 944 toneladas emitidas actualmente con los motogeneradores. Se realizarán simulaciones de la planta solar fotovoltaica, evaluando costos y beneficios, asegurando que la planta mantenga condiciones operativas y ambientales adecuadas en el futuro.

Este enfoque forma parte de una estrategia más amplia para enfrentar el cambio climático y promover el uso de energías renovables, en línea con compromisos internacionales como el Acuerdo de París y el protocolo de Kioto, y contribuir a los Objetivos de Desarrollo Sostenible. El proyecto está apoyado por la empresa PBI SAS y se incluye dentro de una tendencia global hacia la reducción de dependencia de combustibles fósiles y la mejora de la sostenibilidad energética.

Glosario

1. Inversor: Equipo electrónico que convierte la corriente continua (DC) generada por los paneles solares en corriente alterna (AC) utilizada en la red eléctrica.
2. Energía solar fotovoltaica: Energía eléctrica generada a partir de la conversión directa de la radiación solar mediante paneles solares fotovoltaicos.
3. Estructura de montaje: Sistema de soporte que sostiene y posiciona los paneles solares en la instalación.
4. Sistema de almacenamiento solar: Tecnología que permite almacenar la energía solar generada durante el día para su uso durante la noche o en momentos de baja irradiación.
5. Índice de radiación solar: Medida que indica la cantidad de energía solar recibida en una ubicación específica durante un período determinado.
6. Medidor de energía: Es un dispositivo utilizado para medir y registrar la cantidad de energía eléctrica consumida por un hogar, empresa, industria u otro tipo de instalación
7. Controlador: Es un dispositivo utilizado para gestionar y regular el suministro y consumo de energía eléctrica en un sistema específico.

Tabla de Contenidos

Introducción 8
Capítulo 1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y CONTEXTUAL 9
Marco teórico 10
Estado del arte 15
Capítulo 2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 18
Situación problema 19
Justificación del proyecto 19
Capítulo 3 21
MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN 21
EDT 21
1. PLANIFICACIÓN: 22
1.1 INICIO Y PLANIFICACIÓN: 23
1.2 REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN INICIAL DEL PROYECTO. 26
2. DISEÑO 27
2.1. DISEÑO DE LA PLANTA SOLAR 27
Diseño de la Planta Solar 31
Ubicación de la Planta Solar Buenavista - Yopal, Casanare 32
Evaluación Económica 33
Cálculo de la reducción de las emisiones de CO2 34
2.2 DISEÑO DEL PROTOTIPO A ESCALA 34
2.3 DIRECCIÓN DEL PROYECTO (ejecución, seguimiento y control) 36
3. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS 36
4. CIERRE 41
CRONOGRAMA 45
TECNICAS E INSTRUMENTOS 47
Capítulo 4 49
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 49
Capítulo 5 53
CONCLUSIONES 53

Lista de tablas

Tabla 1. Listado de entregables del proyecto..... 22
Tabla 2. Planes de la dirección del proyecto..... 26
Tabla 3. Máximos de la potencia aparente de la Planta Buenavista. 29
Tabla 4. Máximos de la potencia activa de la Planta Buenavista. 30
Tabla 5. Máximos de la potencia reactiva de la Planta Buenavista. 30
Tabla 6. Especificaciones de los componentes de la Planta Solar Buenavista. 31
Tabla 7. Especificaciones de los componentes del prototipo de la Planta Solar Buenavista..... 35

Lista de figuras

Figura 1. EDT del Proyecto. 21
Figura 2. Perfil eléctrico de generación de la Planta Buenavista..... 28
Figura 3. Comportamiento eléctrico de generación de la Planta Buenavista 29
Figura 4. Componentes de la Planta Solar Buenavista 32
Figura 5. Ubicación de la Planta Solar Buenavista..... 32
Figura 6. Componentes del prototipo de la Planta Solar Buenavista..... 35
Figura 7. Esquema de conexionado del prototipo de la Planta Solar Buenavista..... 37
Figura 8. Prototipo construido de la Planta Solar Buenavista 38
Figura 9. Visualización del funcionamiento del prototipo de la planta solar en la app Smar Life39
Figura 10. Visualización del comportamiento eléctrico del prototipo de la planta solar en la app Smar Life. 40
Figura 11. Data bruta de generación eléctrica de la Planta Buenavista..... 47
Figura 12. Data organizada de generación eléctrica de la Planta Buenavista..... 48

Introducción

En la actualidad tenemos la tendencia a ser cada vez más conscientes de la importancia de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles. Este proyecto se enfoca en proporcionar un insumo que puede llegar a ser utilizado por la empresa PBI SAS para la ingeniería de detalle que se podría utilizar en el diseño final de la planta solar.

La planta de procesamiento de gas natural Buenavista es una instalación clave en la región, que desempeña un papel fundamental en la producción y distribución de gas natural. Sin embargo, el consumo energético asociado con sus operaciones presenta desafíos en términos de sostenibilidad y costos operativos. La implementación de un sistema de generación eléctrica solar ofrece una oportunidad para disminuir la huella ambiental de la planta, disminuyendo los costos de energía a largo plazo y mejorar su resiliencia energética.

El presente documento está organizado en cuatro capítulos. En el capítulo 1 se presenta una fundamentación y contextualización del proyecto. En el capítulo 2 se muestra la formulación del problema. En el capítulo 3 se presenta el marco metodológico, que hace referencia a la planificación, a la revisión de la información inicial del proyecto, al diseño tanto de la planta como del prototipo, la dirección, la implementación, las pruebas y el cierre del proyecto. Por último, se tiene en el capítulo 4, los resultados, hallazgos y conclusiones obtenidos del proyecto.

Capítulo 1

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y CONTEXTUAL

Actualmente el mundo vive en una época crucial para el futuro a razón de factores como las emisiones de gases de efecto invernadero, que trae como consecuencia el incremento de temperatura, desfases en las estaciones anuales, aumento promedio del nivel del mar, erosión costera, deforestación, entre otros.

En la 26ª Conferencia de las Naciones Unidas sobre cambio climático (COP26), se mencionó que países como Estados Unidos, Rusia, China, Brasil e Indonesia, son los principales contribuyentes al cambio climático debido a la quema de combustibles fósiles, transformaciones en el uso del suelo y producción de cemento. No obstante, los seres humanos emiten aproximadamente 2,5 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO2) a la atmósfera, y de no iniciar con un cambio a partir de este momento, los cambios serán irreversibles.

La buena noticia, es que países como los mencionados, Colombia entre otros, ya iniciaron un cambio en los diferentes sectores económicos, para contribuir positivamente a esta situación, como son la creación de políticas para la reducción de impuestos y aranceles en la importación de equipos destinados a proyectos de energías limpias, incentivos tributarios para proyectos de gestión eficiente de la energía entre otras

Marco teórico

Diariamente el planeta tierra nos envía señales de advertencia sobre los enormes problemas que está sufriendo a causa de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), como son la alteración del clima, aumento del nivel del mar, estaciones climáticas extremas, erosión costera entre otros. La ONU en la COP 26 comenta que "Los efectos del cambio climático nos afectan a todos. Si no se toman medidas drásticas desde ya, será mucho más difícil y costoso adaptarse a sus efectos en el futuro", descrito en la página oficial de la ONU (2023). La Comunidad internacional ha realizado 2 tratados muy importantes para mitigar las emisiones de GEI como son el protocolo de Kioto y el acuerdo de Paris. El primero busca fortalecer la respuesta mundial al cambio climático. A este acuerdo se sumaron 83 países, pero solo 46 lo ratificaron, hoy son 192 países que se suman a este acuerdo. Este acuerdo obliga jurídicamente a los países que la conforman a cumplir metas de emisiones de GEI. Lo anterior esta descrito en la página oficial de la ONU (2023).

El acuerdo de parís se realizó en el 2015, y se dio un acuerdo histórico en donde participaron todas las naciones del mundo por primera vez, con la iniciativa de combatir el cambio climático y adaptarse a sus efectos. El 22 de abril de 2016, 175 líderes firmaron el acuerdo de París. Lo anterior esta descrito en la página oficial de la ONU (2023).

En las plantas de tratamiento de gas natural se genera principalmente energía eléctrica con moto generadores a gas debido a que el gas está presente en los diferentes procesos y sistemas de estas plantas. Las emisiones de GEI son más bajas cuando se generan electricidad con generadores a gas que cuando se utiliza motogeneradores con ACPM, gasolina o GLP, lo cual hace a el gas el

combustible óptimo para generar electricidad en este tipo de plantas que son aisladas de las redes eléctricas nacionales, y debido a que generan menos emisiones de GEI dentro de los combustible fósiles, el gas es catalogado como el combustible de la transición energética, pero aun así genera emisiones GEI considerables para el medio ambiente.

En las últimas décadas el calentamiento global a causa de las emisiones de GEI ha tomado gran importancia en el mundo debido a los problemas climáticos que se están originando a causa de estas emisiones, la Organización De Las Naciones Unidas (ONU) en sus diferentes cumbres llamadas COP está buscando generar acuerdos con todos los países que la conforman para reducir las emisiones de gases invernadero. La última cumbre de acción climática de la ONU *Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (COP27)* realizada entre el 6 al 20 de noviembre de 2022 en Egipto se basó en adoptar medidas esenciales para hacer frente a la emergencia climática, que incluyen desde la reducción urgente de las emisiones de gases de efecto invernadero, el fortalecimiento de la resiliencia y la adaptación a las consecuencias inevitables del cambio climático, hasta el cumplimiento de los compromisos de financiación de la acción climática en los países en vías de desarrollo, descrita en la página oficial de la ONU (2022).

Colombia como parte de los países que conforman la ONU está generando políticas y leyes que impulsan a los diferentes sectores productivos y económicos de Colombia a disminuir las emisiones de GEI y alcanzar el carbono neutralidad descrita en la Ley 2119 (2022, Artículo 5, 6 y 7).

“La ODS 13 pretende introducir el cambio climático como cuestión primordial en las políticas, estrategias y planes de países, empresas y sociedad civil, mejorando la respuesta a los problemas que genera, e impulsando la educación y sensibilización de toda la población en relación al fenómeno”, descrito en la ODS (2023).

A través de los años se ha incursionado en la implementación de energías renovables en pro de la mitigación de la contaminación ambiental y que paralelamente cuenten con la capacidad de suplir la demanda energética en diferentes ámbitos industriales. Esta práctica ha permitido desarrollar nuevas tecnologías innovadoras cuyas características operacionales y funcionales desarrollan de forma efectiva las actividades energéticas que se desarrollan con los métodos convencionales. En el caso específico de los paneles solares actualmente encontramos diferentes diseños operativos como lo describe Oriol Planas (2015).

La capacidad instalada de energía solar en todo el mundo se ha incrementado rápidamente para satisfacer las demandas energéticas. La capacidad instalada de tecnología fotovoltaica de 2010 a 2020 aumentó de 40 334 a 709 674 MW, mientras que la capacidad instalada de aplicaciones de energía solar concentrada, que era de 1266 MW en 2010, después de 10 años había aumentado a 6479 MW. Por tanto, la tecnología solar fotovoltaica tiene más instalaciones implementadas que las aplicaciones que la energía solar concentrada. Por lo tanto, las plantas solares fotovoltaicas independientes y las plantas fotovoltaicas a gran escala conectadas a la red se utilizan ampliamente en todo el mundo y en aplicaciones espaciales. (Maka, A. “&”, Alabid, j., 2022).

Geometría del movimiento terrestre:

El planeta tierra al girar alrededor de sol describe 2 movimientos, uno llamado traslación y otro llamado rotación, en el movimiento de traslación la tierra se desplaza alrededor del Sol siguiendo una elipse de baja excentricidad en la que el Sol ocupa uno de los focos. La distancia entre Sol y Tierra durante el movimiento de traslación es variable. Por lo tanto, la cantidad de energía e forma de luz y calor que se puede transformar en energía eléctrica con paneles solares también es variable a lo largo del año. (Perpiñán. O, 2023).

Radiación Solar:

La radiación solar es considerada una onda electromagnética que es emitida por la superficie del Sol, en donde las reacciones de fusión convierten los átomos de hidrógeno en helio. Este flujo de energía nuclear se convierte en energía térmica y se transporta hacia la superficie de la estrella y es liberada en forma de radiación electromagnética. La radiación que llega a la superficie de la Tierra se ve alterada por una serie de factores como es la inclinación del eje de la Tierra y la atmósfera que provoca tanto la absorción como la reflexión de parte de la radiación entrante. (Bosshard. P, 2006).

La energía solar es obtenida a partir del aprovechamiento de la energía de las ondas electromagnéticas provenientes del sol, esta fuente es considerada como fuente de energía limpia o renovable, y consiste en el aprovechamiento del calor y de la luz de sol a través de captadores como celdas fotovoltaicas, que convierten esta luz o calor en energía eléctrica o térmica. (Puello. J, 2016).

Panel Solar:

Un conjunto de paneles solares fotovoltaicos consta de uno o más módulos fotovoltaicos conectados eléctricamente, cada uno contiene muchas células solares individuales, integradas con hardware de equilibrio del sistema, componentes, como cajas combinadores, inversores, transformadores, estanterías, cableado, desconexiones y recintos. (Schmalensee et al., 2015).

Existen 3 tipos comunes de paneles solares monocristalino, policristalino y amorfos de película delgada. Los Paneles monocristalinos tienen una estructura uniforme y su eficiencia es más alta que otros paneles en condiciones de baja luz, los policristalinos se destacan por su color azul único y su eficiencia es menor que los monocristalinos y por consiguiente son más económicos, y los amorfos se caracterizan por su película delgada, pero son menos eficientes que los 2 anteriores, se caracterizan por ser flexibles y su vida útil es más corta. (Grijalva et al., 2020).

Baterías:

El sistema de baterías fotovoltaicas evalúa varias estrategias desde una perspectiva financiera. La valiosa vida útil de la batería está limitada a 5.000 ciclos o al tiempo de vida previsto de 20 años. El mantenimiento de las actividades y sistemas de gasto anuales fotovoltaicos y recargables se fija en el 1,5% del coste especulativo. Supongamos que el sistema de costes de la batería y el sistema fotovoltaico es comparable a su tamaño. (Khamisani, A., 2023).

Inversores

Un inversor solar es el dispositivo que nos ayuda a convertir la corriente eléctrica directa DC en corriente eléctrica alterna AC. En u n sistema fotovoltaico se logra el mayor rendimiento cuando cada módulo solar funciona continuamente en su punto de máxima potencia. Esto se puede alcanzar mediante el uso de inversores integrados en módulos, ya que cada módulo solar tiene su propio controlador. (Piebalgs, A. “&”, Potocnik, J., 2009).

Para poder establecer las condiciones climáticas optimas donde se requiere realizar el proyecto, es importante tener en cuenta que la irradiación emitida por el sol, es decir que la densidad de potencia incidente a la tierra es 63.500 KW/m2 y no toda llega a la superficie. Asimismo, la radiación que atraviesa a la atmosfera va disminuyendo por efectos como reflexión, difusión y absorción. Mencionado lo anterior, los paneles fotovoltaicos reciben diferentes tipos de radiación como radiación difusa y radiación de Albedo (reflejada del suelo). (Alvarado. J, 2023)

Estado del arte

En el contexto actual de crisis climática global, el aumento en la concentración de **gases de efecto invernadero (GEI)** en la atmósfera representa una de las amenazas más significativas para el equilibrio ecológico del planeta. Las emisiones derivadas de la quema de combustibles fósiles, como el gas natural, son una fuente considerable de estos gases, lo que contribuye al calentamiento global y a la alteración del clima a nivel mundial.

La Planta de Procesamiento de Gas Natural Buenavista, operada por la empresa PBI SAS y ubicada en Yopal, Casanare, no es una excepción en este escenario. Actualmente, la planta

depende en su totalidad de moto-generadores de electricidad a gas para su operación. Estos moto-generadores son responsables de la emisión de aproximadamente 944 toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO2e) anualmente. Aunque el gas natural es menos perjudicial en términos de emisiones de GEI comparado con otros combustibles fósiles, como el carbón o el petróleo, sigue siendo una fuente significativa de contaminación.

Este problema no solo afecta el entorno local en términos de calidad del aire y contribuye a la huella de carbono de la región, sino que también plantea desafíos más amplios en términos de sostenibilidad energética y cumplimiento de las normativas internacionales y nacionales sobre cambio climático. Colombia, como parte de la comunidad internacional, ha firmado acuerdos globales como el Acuerdo de París y se ha comprometido a reducir sus emisiones de GEI en un 51% para el año 2030 respecto a los niveles de referencia.

La necesidad de encontrar soluciones alternativas y sostenibles para la generación de energía es imperativa. En este sentido, el proyecto busca proporcionar un insumo que podría llegar a ser utilizado por la empresa PBI SAS para la ingeniería de detalle que se utilizará en el diseño final de la planta solar, no solo para disminuir la dependencia de combustibles fósiles sino también para alinear las operaciones de la planta con las políticas de transición energética del país y los compromisos ambientales globales.

Este enfoque no solo es crucial para mitigar los efectos del cambio climático, sino que también se alinea con la necesidad de promover tecnologías limpias y eficientes que aseguren un futuro sostenible para las próximas generaciones.

En los campos petroleros, los costos operativos son diversos, pero uno de los más significativos es el costo de la energía, especialmente porque estos campos se encuentran en áreas remotas

donde no hay acceso a la red eléctrica y se depende de generadores diésel y a gas. En Colombia, la mayoría de los campos petroleros se encuentran en regiones con alta radiación solar, lo que ofrece una oportunidad para aprovechar la energía solar a través de la instalación de paneles solares. Varias empresas, incluida Ecopetrol, han comenzado a utilizar este recurso y están implementando parques solares para mejorar la eficiencia de sus operaciones. (Diego Alejandro Bernal barragán & Juan Felipe Ríos Torres & Álvaro Latorre Cabra, 2022, p.13)

En la actualidad los organismos gubernamentales en Colombia promueven el uso de energías renovables (fuentes no convencionales de energía) mediante incentivos fiscales, según lo establecido en la Ley 1715 de 2014. Esta ley fomenta la investigación, desarrollo e inversión en la producción y uso de energía a partir de fuentes no convencionales de energía. Los contribuyentes obligados a declarar impuestos que realicen inversiones directas en este ámbito tienen derecho a una deducción del 50% del valor total de la inversión realizada anualmente durante los 5 años siguientes al año fiscal en que se realizó la inversión. Sin embargo, el monto deducible no puede exceder el 50% de la renta líquida del contribuyente antes de restar el valor de la inversión. (Ley 1715, 2014, Articulo 11).

En la actualidad, el avance en la generación solar a gran escala en nuestro país ha permitido la ejecución y puesta en operación de proyectos solares de alta capacidad, como el Parque Solar Cuestecitas (600 MW), Puerta de Oro (300 MW), SC Solar San Martín (240 MW) y el Parque PV de Altamira (200 MW), entre otros. Celsia Solar Yumbo, un proyecto desarrollado por EPSA, fue la primera planta de generación solar a gran escala en entregar energía al Sistema Interconectado Nacional (SIN) con una capacidad de 9,8 MW. (C.E. Salazar Vanegas, 2022, p.13).

El 20 de abril de 2022 se inauguró el primer parque de energía solar en el departamento del Casanare, en el municipio de Villanueva Aguazul. Este proyecto, de gran relevancia, constituye un hito histórico para Colombia en su transición energética y en la reducción de emisiones de dióxido de carbono. La petrolera Parex Resources Colombia junto a Celsia ejecutaron este proyecto que consta de 7.200 paneles solares y 30 inversores, con una capacidad instalada de 4MVA. Este proyecto busca generar una producción de energía anual estimada de 5.900.000 kilovatios hora (kWh) y el cual se integró al sistema eléctrico del Campo Kitaro/ Akira. Lo anterior esta descrito en la página oficial de Ectricol (2022).

Otra empresa que se está sumando en el departamento del Casanare a la implementación de estrategias de reducción de emisiones de CO2 es Geopark, esta empresa abastece El Bloque Llanos 34 con energía 100% renovable. La conexión total de Llanos 34 al Sistema Interconectado Nacional reducirá en 100.000 toneladas por año la emisión de gases de efecto invernadero de este bloque, lo anterior este descrito en la sección de rueda de prensa de Geopark (2022).

Capítulo 2

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas por los moto-generadores de electricidad a gas en la Planta de Procesamiento de Gas Natural Buenavista de la empresa PBI SAS ubicada en la ciudad de Yopal- Casanare.

Situación problema

La empresa PBI SAS Sponsor del proyecto, con el objetivo de seguir la ruta de lo dispuesto por la ley 2169 o ley de acción climática, la cual busca minimizar en un 51% las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) al año 2030, está trabajando en disminuir las emisiones de GEI por la generación eléctrica con gas en la Planta Buenavista que ascienden anualmente a 944t CO2e. Dentro de sus proyectos se encuentra la instalación de una planta solar fotovoltaica parar emplazar la generación actual, con la cual se busca reducir hasta 512 tCO2e anualmente. Como parte de esta solución el proyecto es un estudio de prefactibilidad para el diseño de la Planta Solar, que podría servir como insumo para la ingeniería de detalle para la instalación de esta planta solar en la Planta de Gas Buenavista.

Justificación del proyecto

Colombia se ha sumado a contribuir de alguna u otra forma con el cambio que el planeta necesita. Con La ley 2169 de 2021 o ley de acción climática, el país busca minimizar en un 51% las emisiones **de gases de efecto invernadero (GEI)** al año 2030 respecto al escenario de referencia para este año, a través del sector de minas y energía, industrial y de transporte.

Por lo anterior, la empresa PBI SAS Sponsor del proyecto, al tener una matriz energética compuesta el 100% de gas natural para el procesamiento de este recurso, ha decidido sumarse a las compañías colombianas que buscan la disminución de GEI a través de la transición energética, implementando una metodología basada en energía solar fotovoltaica para generar electricidad, garantizando las condiciones operativas y ambientales actuales y a futuro.

Pregunta de investigación

¿Cómo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas por los moto-generadores de electricidad a gas en la Planta de Procesamiento de Gas natural Buenavista de la empresa PBI SAS?

Objetivo general

- Simular un sistema de generación eléctrica a partir de energía solar e implementar un prototipo para la Planta de Procesamiento de Gas Natural Buenavista.

Objetivos específicos

- Realizar las simulaciones de la planta solar fotovoltaica para reemplazar el sistema actual de generación eléctrica de la Planta de Procesamiento de Gas Natural Buenavista.
- Elaborar un prototipo de la Planta solar Fotovoltaica.
- Determinar los costos del cambio a energía solar fotovoltaica en la planta de Procesamiento de gas natural Buenavista.

Capítulo 3

MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

EDT

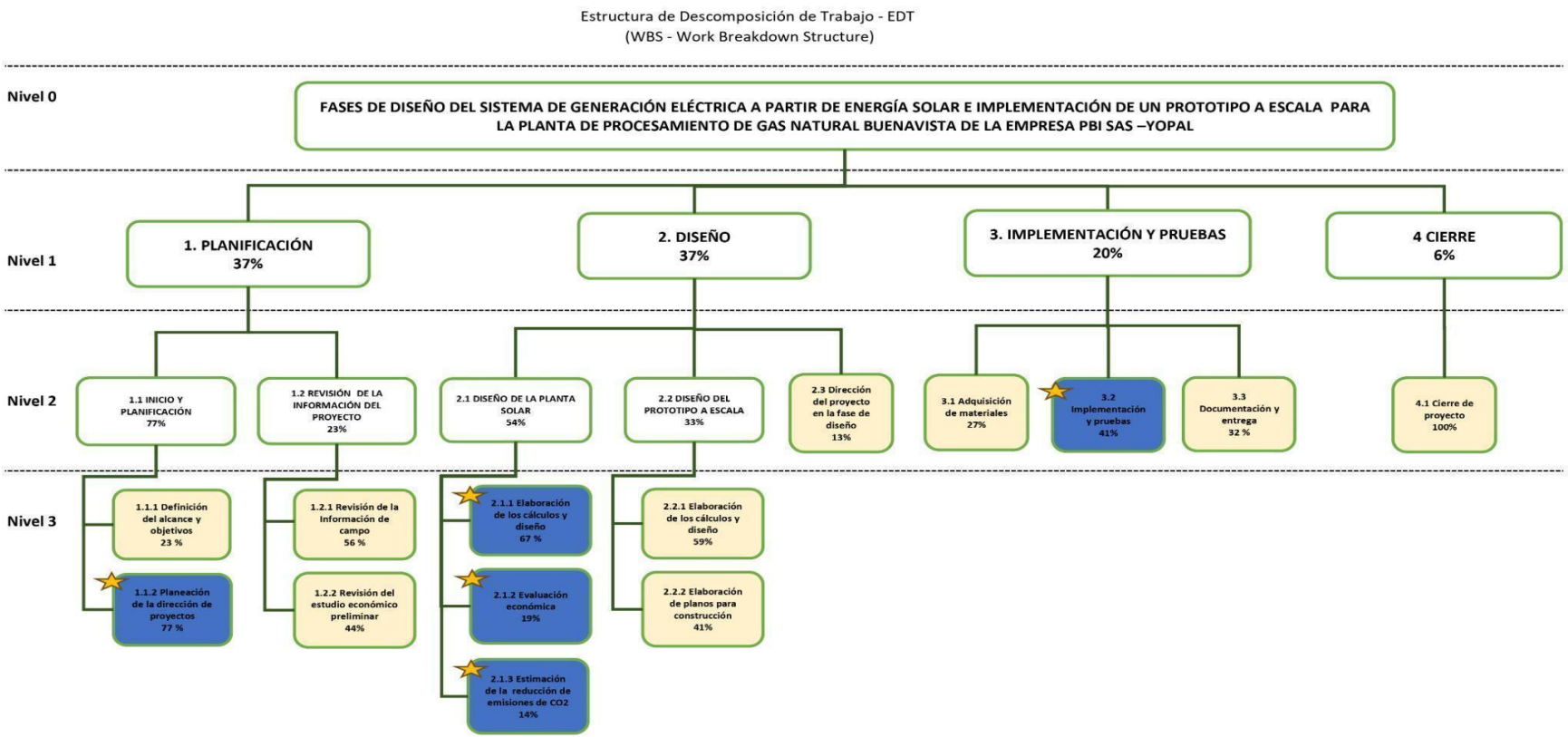


Figura 1. EDT del Proyecto.

Fuente: Autoría propia

- Listado de entregables del Proyecto

Descripción		Cumple los Criterios de Aceptación		
Entregable	**Estado**	**SI**	**NO**	**PARCIAL**
Evaluación Económica del Proyecto	100%	✓		
Diseño de la Planta Solar Fotovoltaica.	100%	✓		
Proyección de la reducción de las emisiones de CO2.	100%	✓		
El plan para la dirección del proyecto.	100%	✓		
Prototipo a escala de la Planta Solar.	100%	✓		

Tabla 1. Listado de entregables del proyecto.

1. PLANIFICACIÓN:

Esta etapa del proyecto comenzó el 20 de septiembre de 2023 y concluyó el 6 de diciembre de 2023. Inicialmente, se llevó a cabo la identificación y definición del alcance y los objetivos del proyecto a un alto nivel, seguido por la firma del acta de constitución del proyecto. Durante esta fase, se desarrollaron todos los planes del proyecto y las líneas base del alcance, tiempo y costos. La fase culminó con la elaboración del plan de dirección del proyecto y la firma del acta de cierre de la planificación.

1.1 INICIO Y PLANIFICACIÓN:

En esta cuenta de control se elaboraron todos los planes de la dirección del proyecto, Líneas bases y documentos complementarios del proyecto**.**

Plan	Descripción	Documentos	Link Repositorio oficial
1. Plan de gestión de la Integración	El Plan de Gestión de la Integración proporciona la estructura detallada y una guía para la coordinación, supervisión y control de todas las actividades del proyecto.	Project Chárter	Project Charter
		Formatos diseñados para el control de cambios	Control de cambios
		Formatos y plantillas para las actas de reuniones	Formatos de reuniones
		Formatos y plantillas para llevar las lecciones aprendidas	Acta lecciones aprendidas
2. Plan de gestión de los Interesados	El plan de gestión de interesados contiene la descripción de estrategias de gestión adecuadas para lograr la participación eficaz de los interesados a lo largo del ciclo de vida del proyecto, basado en el análisis de sus	Identificación de los interesados (clasificación y estrategia)	Matriz de Interesados
		Plan de involucramiento de los interesados	Plan de Involucramiento

	necesidades e intereses, teniendo en cuenta el posible impacto en el éxito del proyecto		
3. Plan de gestión del Alcance	El plan de gestión del alcance, explica la manera en la cual se va a definir, validar y controlar el alcance del presente proyecto. Este documento se encuentra basado principalmente en los requerimientos de las partes interesadas y del Project chárter. s.	Plan de gestión del alcance	Plan del Alcance
		Enunciado del alcance	Enunciado del Alcance
		EDT	EDT
		Diccionario de la EDT	Diccionarios de EDT
		Matriz de requerimientos	Matriz de Requerimientos
		Matriz de trazabilidad	Matriz de Trazabilidad
4. Plan de gestión del Cronograma	El plan de gestión de cronograma es un componente esencial de la gestión de proyectos que describe cómo se gestionará, desarrollará y controlará el cronograma del proyecto. Este plan se	Plan de gestión del cronograma	Plan de Cronograma
		Diagrama de red (Definir, secuenciar y Estimar actividades)	Diagrama de Red
		Cronograma (Desarrollar el	Cronograma MS Project

	basa en la línea base de alcance, que incluye la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) y sus diccionarios asociados.	cronograma MS Project)	
		Diagrama de gantt	Diagrama de Gantt
5. Plan de gestión de los Costos	El plan de gestión de los costos contiene las pautas para estimar, controlar y gestionar eficientemente los recursos requeridos para llevar a cabo cada una de las fases del proyecto durante los el periodo de desarrollo y ejecución.	Plan de gestión de los costos	Plan de Costos
		Presupuesto	Presupuesto Línea Base
		Reserva de contingencia	Reserva de Contingencia
		Curva S	Curva S
6. Plan de gestión de los Riesgos	El Plan de Gestión de Riesgos tiene como objetivo identificar, analizar y abordar eficientemente los posibles riesgos asociados al proyecto. El propósito principal es aumentar la probabilidad e impacto de los riesgos positivos, también conocidos como oportunidades, mientras se busca	Plan de gestión de riesgos	Plan de riesgos
		Identificación y registro de los riesgos (análisis cualitativo)	Registro de riesgos
		Plan de respuesta a los riesgos	Plan de respuesta
		Mapa de calor	Mapa de Calor

	disminuir la probabilidad de los riesgos negativos que podrían afectar el éxito del proyecto.		
7. Plan de gestión de la Calidad	El Plan de Gestión de Calidad tiene como objetivo establecer las directrices y procesos necesarios para asegurar que el proyecto cumpla con los estándares de calidad definidos.	Plan de gestión de calidad	Plan de Calidad
		Matriz identificación de indicadores de calidad del proyecto y del producto	Matriz de calidad
		Definición de métricas	Métricas de calidad

Tabla 2. Planes de la dirección del proyecto.

1.2 REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN INICIAL DEL PROYECTO.

En esta cuenta de control se solicitó, revisó y acondicionó la información de generación eléctrica de la Planta de Tratamiento de Gas Natural Buenavista con el objetivo de generar el perfil eléctrico de generación, Adicionalmente se socializo al equipo de trabajo el estudio económico preliminar del proyecto realizado por el Sponsor PBI.

Desde el a 01 de diciembre 2023 hasta 07 de diciembre 2023 la empresa PBI SAS ESP suministro diariamente (vía correo electrónico) la data del moto-generadores a gas G3412

Caterpillar #2, dicho equipo se encontraba suministrando la energía eléctrica de la Planta Buenavista.

Los archivos en formato Excel recibidos fueron los siguientes:

- DATA HISTORIAL GEN CAT N°2 01-12-2023
- DATA HISTORIAL GEN CAT N°2 02-12-2023
- DATA HISTORIAL GEN CAT N°2 03-12-2023
- DATA HISTORIAL GEN CAT N°2 04-12-2023
- DATA HISTORIAL GEN CAT N°2 05-12-2023
- DATA HISTORIAL GEN CAT N°2 06-12-2023
- DATA HISTORIAL GEN CAT N°2 07-12-2023

2. DISEÑO

Esta Fase del proyecto inició el 15 de enero de 2024 y concluyó el 10 de abril de 2024, esta fase del proyecto consistió en realizar la simulación de la Planta Solar Buenavista, la evaluación económica de la implementación de dicha planta solar y su comparativo con la generación actual con motogeneradores a gas. Adicionalmente, se calcularon las emisiones de CO_2 que ahorraría dicha planta solar.

Con los datos obtenidos de la Planta Solar Buenavista, se realizó el diseño del prototipo de la Planta Solar Buenavista, con el objetivo de presentarle visualmente al Sponsor el modo de funcionamiento de dicha planta.

2.1. DISEÑO DE LA PLANTA SOLAR

Este paquete de trabajo inició con la elaboración del perfil eléctrico de generación/consumo de la Planta de Tratamiento de Gas Natural Buenavista con los datos suministrados de campo.

- **Análisis del perfil eléctrico.**

El consumo de energía eléctrica en la Planta Buenavista es cambiante durante el día, originado por el cargue de los módulos de GNC. Se puede evidenciar que el consumo promedio de la Planta Buenavista es de aproximadamente 227.4 KVA (potencia aparente), 213.2 KW (potencia activa) y 78.8 KVAR (potencia reactiva). Las potencias máximas registradas fueron 320.7 KVA (potencia aparente), 289 KW (potencia activa) y 174 KVAR (potencia reactiva)

- **Perfil eléctrico de la Planta Buenavista**

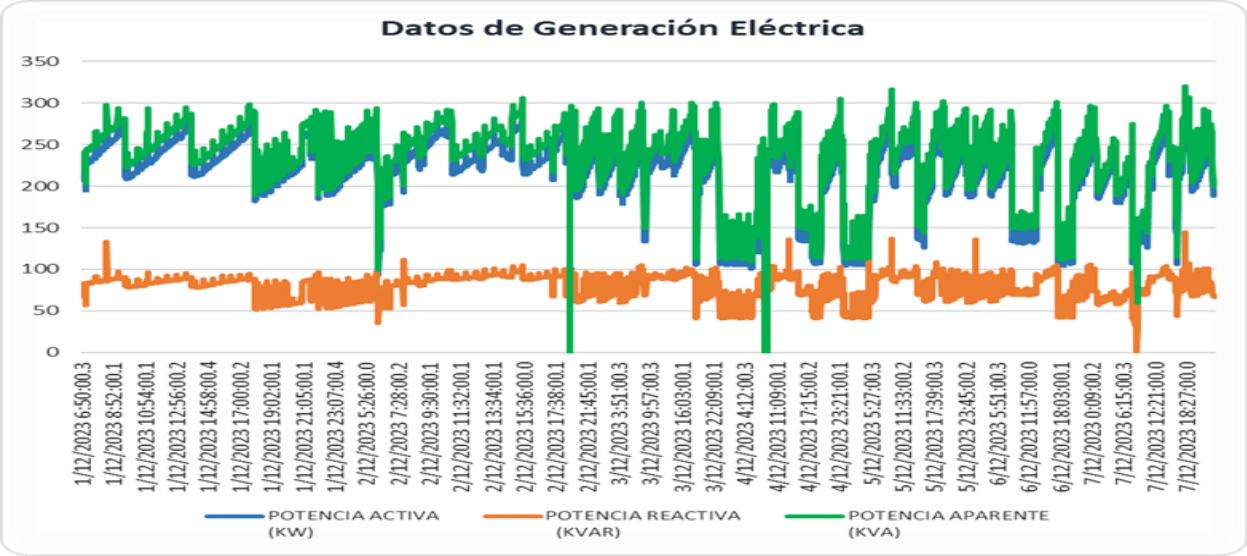


Figura 2. Perfil eléctrico de generación de la Planta Buenavista

Fuente: Autoría propia

- **Comportamiento eléctrico**

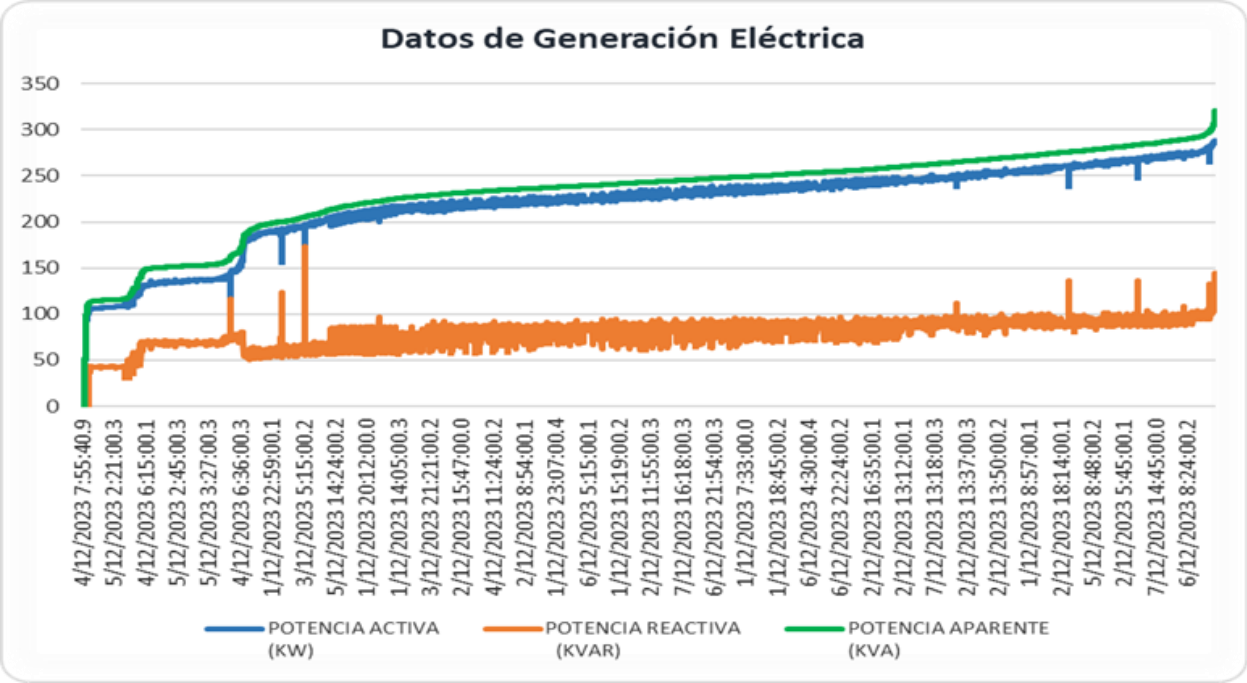


Figura 3. Comportamiento eléctrico de generación de la Planta Buenavista

- **Máximos de la potencia aparente.**

						REVOLUCIONES	POTENCIA ACTIVA (KW)	POTENCIA REACTIVA (KVAR)	POTENCIA APARENTE (KVA)	FACTOR DE POTENCIAL CAL KW/KVA		FACTOR DE POTENCIA
Di	Num	Reason	Date	Time	FECHA	RPM	Pwr	Q	S	PF		PF
7	-161	Time stamp	7/12/2023	18:15:00.2	7/12/2023 18:15:00.2	1787	286	145	320,7	0,89	0,00	0,89
5	-298	Time stamp	5/12/2023	9:27:00.3	5/12/2023 9:27:00.3	1790	286	137	317,1	0,90	0,00	0,9
7	-146	Time stamp	7/12/2023	19:00:00.3	7/12/2023 19:00:00.3	1800	288	107	307,2	0,94	0,00	0,94
2	-296	Time stamp	2/12/2023	15:31:00.1	2/12/2023 15:31:00.1	1803	288	105	306,5	0,94	0,00	0,94
7	-147	Time stamp	7/12/2023	18:57:00.1	7/12/2023 18:57:00.1	1802	287	107	306,3	0,94	0,00	0,94
4	-28	Time stamp	4/12/2023	23:30:00.1	4/12/2023 23:30:00.1	1799	287	103	304,9	0,94	0,00	0,94
7	-152	Time stamp	7/12/2023	18:42:00.1	7/12/2023 18:42:00.1	1800	285	108	304,8	0,94	-0,01	0,93
2	-298	Time stamp	2/12/2023	15:29:00.2	2/12/2023 15:29:00.2	1794	286	105	304,7	0,94	0,00	0,94
2	-297	Time stamp	2/12/2023	15:30:00.3	2/12/2023 15:30:00.3	1803	286	104	304,3	0,94	0,00	0,94
5	-101	Time stamp	5/12/2023	19:18:00.3	5/12/2023 19:18:00.3	1800	285	101	302,4	0,94	0,00	0,94
7	-151	Time stamp	7/12/2023	18:45:00.3	7/12/2023 18:45:00.3	1805	283	106	302,2	0,94	0,00	0,94
6	-135	Time stamp	6/12/2023	17:18:00.3	6/12/2023 17:18:00.3	1800	283	105	301,9	0,94	0,00	0,94
7	-153	Time stamp	7/12/2023	18:39:00.2	7/12/2023 18:39:00.2	1802	282	107	301,6	0,93	0,01	0,94
3	-118	Time stamp	3/12/2023	18:06:00.2	3/12/2023 18:06:00.2	1805	284	100	301,1	0,94	0,00	0,94
3	-312	Time stamp	3/12/2023	8:24:00.2	3/12/2023 8:24:00.2	1805	282	105	300,9	0,94	0,00	0,94
3	-28	Time stamp	3/12/2023	22:36:00.1	3/12/2023 22:36:00.1	1797	283	102	300,8	0,94	0,00	0,94
5	-206	Time stamp	5/12/2023	14:03:00.1	5/12/2023 14:03:00.1	1802	282	104	300,6	0,94	0,00	0,94
7	-154	Time stamp	7/12/2023	18:36:00.4	7/12/2023 18:36:00.4	1803	280	105	299,0	0,94	0,00	0,94

Tabla 3. Máximos de la potencia aparente de la Planta Buenavista.

- **Máximos de la potencia activa**

						REVOLUCIONES	POTENCIA ACTIVA (KW)	POTENCIA REACTIVA (KVAR)	POTENCIA APARENTE (KVA)	FACTOR DE POTENCIAL CAL KW/KVA		FACTOR DE POTENCIA
Di	Num	Reason	Date	Time	FECHA	RPM	Pwr	Q	S	PF		PF
7	-146	Time stamp	7/12/2023	19:00:00.3	7/12/2023 19:00:00.3	1800	288	107	307,2	0,94	0,00	0,94
2	-296	Time stamp	2/12/2023	15:31:00.1	2/12/2023 15:31:00.1	1803	288	105	306,5	0,94	0,00	0,94
7	-147	Time stamp	7/12/2023	18:57:00.1	7/12/2023 18:57:00.1	1802	287	107	306,3	0,94	0,00	0,94
4	-28	Time stamp	4/12/2023	23:30:00.1	4/12/2023 23:30:00.1	1799	287	103	304,9	0,94	0,00	0,94
7	-161	Time stamp	7/12/2023	18:15:00.2	7/12/2023 18:15:00.2	1787	286	145	320,7	0,89	0,00	0,89
5	-298	Time stamp	5/12/2023	9:27:00.3	5/12/2023 9:27:00.3	1790	286	137	317,1	0,90	0,00	0,9
2	-298	Time stamp	2/12/2023	15:29:00.2	2/12/2023 15:29:00.2	1794	286	105	304,7	0,94	0,00	0,94
2	-297	Time stamp	2/12/2023	15:30:00.3	2/12/2023 15:30:00.3	1803	286	104	304,3	0,94	0,00	0,94
7	-152	Time stamp	7/12/2023	18:42:00.1	7/12/2023 18:42:00.1	1800	285	108	304,8	0,94	-0,01	0,93
5	-101	Time stamp	5/12/2023	19:18:00.3	5/12/2023 19:18:00.3	1800	285	101	302,4	0,94	0,00	0,94
3	-118	Time stamp	3/12/2023	18:06:00.2	3/12/2023 18:06:00.2	1805	284	100	301,1	0,94	0,00	0,94
7	-151	Time stamp	7/12/2023	18:45:00.3	7/12/2023 18:45:00.3	1805	283	106	302,2	0,94	0,00	0,94
6	-135	Time stamp	6/12/2023	17:18:00.3	6/12/2023 17:18:00.3	1800	283	105	301,9	0,94	0,00	0,94
3	-28	Time stamp	3/12/2023	22:36:00.1	3/12/2023 22:36:00.1	1797	283	102	300,8	0,94	0,00	0,94
1	-353	Time stamp	1/12/2023	17:36:00.1	1/12/2023 17:36:00.1	1800	283	95	298,5	0,95	0,00	0,95
7	-153	Time stamp	7/12/2023	18:39:00.2	7/12/2023 18:39:00.2	1802	282	107	301,6	0,93	0,01	0,94
3	-312	Time stamp	3/12/2023	8:24:00.2	3/12/2023 8:24:00.2	1805	282	105	300,9	0,94	0,00	0,94
5	-206	Time stamp	5/12/2023	14:03:00.1	5/12/2023 14:03:00.1	1802	282	104	300,6	0,94	0,00	0,94

Tabla 4. Máximos de la potencia activa de la Planta Buenavista.

- **Máximos de la potencia reactiva**

						REVOLUCIONES	POTENCIA ACTIVA (KW)	POTENCIA REACTIVA (KVAR)	POTENCIA APARENTE (KVA)	FACTOR DE POTENCIAL CAL KW/KVA		FACTOR DE POTENCIA
Di	Num	Reason	Date	Time	FECHA	RPM	Pwr	Q	S	PF		PF
4	-308	Loaded	4/12/2023	9:30:59.3	4/12/2023 9:30:59.3	1803	109	174	205,3	0,53	0,00	0,53
7	-161	Time stamp	7/12/2023	18:15:00.2	7/12/2023 18:15:00.2	1787	286	145	320,7	0,89	0,00	0,89
5	-298	Time stamp	5/12/2023	9:27:00.3	5/12/2023 9:27:00.3	1790	286	137	317,1	0,90	0,00	0,9
4	-226	Time stamp	4/12/2023	13:36:00.0	4/12/2023 13:36:00.0	1788	240	136	275,9	0,87	0,00	0,87
6	-449	Time stamp	6/12/2023	1:36:00.2	6/12/2023 1:36:00.2	1809	249	136	283,7	0,88	0,00	0,88
1	-903	Time stamp	1/12/2023	8:26:00.2	1/12/2023 8:26:00.2	1791	266	133	297,4	0,89	0,01	0,9
5	-386	Time stamp	5/12/2023	5:03:00.2	5/12/2023 5:03:00.2	1796	157	124	200,1	0,78	0,00	0,78
7	-351	Time stamp	7/12/2023	8:45:00.1	7/12/2023 8:45:00.1	1799	112	117	162,0	0,69	0,00	0,69
2	-753	Time stamp	2/12/2023	7:54:00.3	2/12/2023 7:54:00.3	1784	240	112	264,8	0,91	0,00	0,91
5	-124	Time stamp	5/12/2023	18:09:00.1	5/12/2023 18:09:00.1	1797	268	109	289,3	0,93	0,00	0,93
7	-152	Time stamp	7/12/2023	18:42:00.1	7/12/2023 18:42:00.1	1800	285	108	304,8	0,94	-0,01	0,93
7	-146	Time stamp	7/12/2023	19:00:00.3	7/12/2023 19:00:00.3	1800	288	107	307,2	0,94	0,00	0,94
7	-147	Time stamp	7/12/2023	18:57:00.1	7/12/2023 18:57:00.1	1802	287	107	306,3	0,94	0,00	0,94
7	-153	Time stamp	7/12/2023	18:39:00.2	7/12/2023 18:39:00.2	1802	282	107	301,6	0,93	0,01	0,94
6	-2	Time stamp	6/12/2023	23:57:00.3	6/12/2023 23:57:00.3	1802	277	106	296,6	0,93	0,00	0,93
7	-151	Time stamp	7/12/2023	18:45:00.3	7/12/2023 18:45:00.3	1805	283	106	302,2	0,94	0,00	0,94
2	-298	Time stamp	2/12/2023	15:29:00.2	2/12/2023 15:29:00.2	1794	286	105	304,7	0,94	0,00	0,94
2	-296	Time stamp	2/12/2023	15:31:00.1	2/12/2023 15:31:00.1	1803	288	105	306,5	0,94	0,00	0,94

Tabla 5. Máximos de la potencia reactiva de la Planta Buenavista.

Diseño de la Planta Solar

Para la simulación de la Planta Solar Buenavista se tomó el perfil eléctrico obtenido, en donde se tienen potencias máximas de 320.7 KVA (potencia aparente), 289 KW (potencia activa) y 174 KVAR (potencia reactiva).

Tras llevar a cabo la simulación de la planta solar utilizando el software PVsyst y realizar el análisis del perfil eléctrico de la planta y de las distintas pérdidas del sistema, se determinarón los componentes necesarios para la Planta Solar Buenavista.

	DISEÑO DE LA PLANTA SOLAR BUENAVISTA	
	CANTIDAD	REFERENCIA
Datos de Generación		
Capacidad instalada (Wp):	500.000	Potencia Pico
Generación estimada al año (KWh):	708.214	Energía Anual
Paneles Solares		
Cantidad Paneles solares: Potencia Individual paneles solares (Wp)	918 545	0R10H545M / Bifaciales - Monocristalir Wp
Potencia total paneles solares (KWp)	500	Wp (34 string x 27 in series
Inversores		
Cantidad de inversores:	3	PVS-175 -TL - 3 X136 Marca Growat
Potencia individual Inversores (KWac): Potencial total inversores (ac):	175 525,0	Controlador interno en el inversor 480 VAC
Área Planta Solar		
Área requerida (m2)	2370	Área Requerida

Tabla 6. Especificaciones de los componentes de la Planta Solar Buenavista.

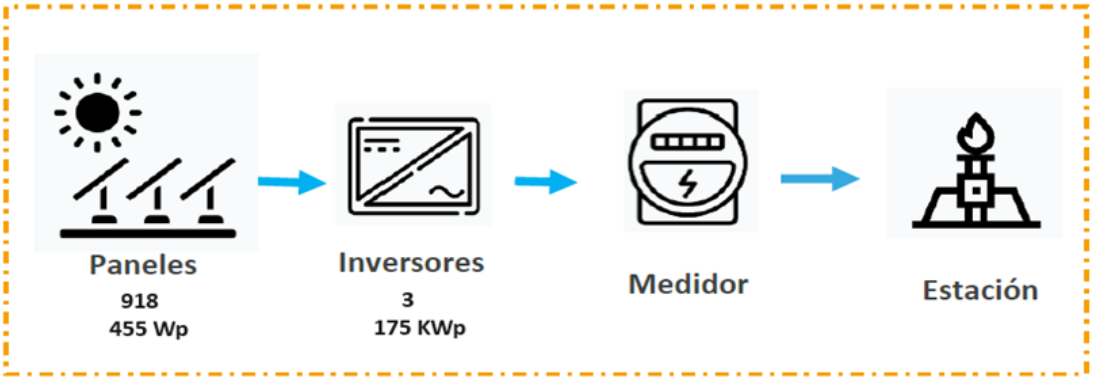


Figura 4. Componentes de la Planta Solar Buenavista

Fuente: Autoría propia

Ubicación de la Planta Solar Buenavista - Yopal, Casanare

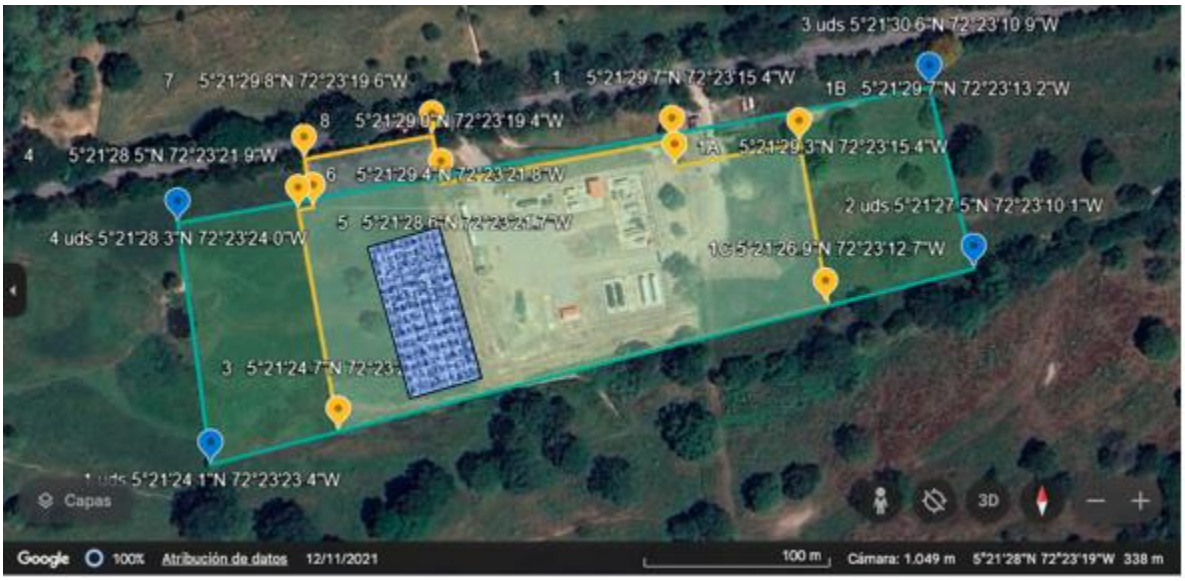


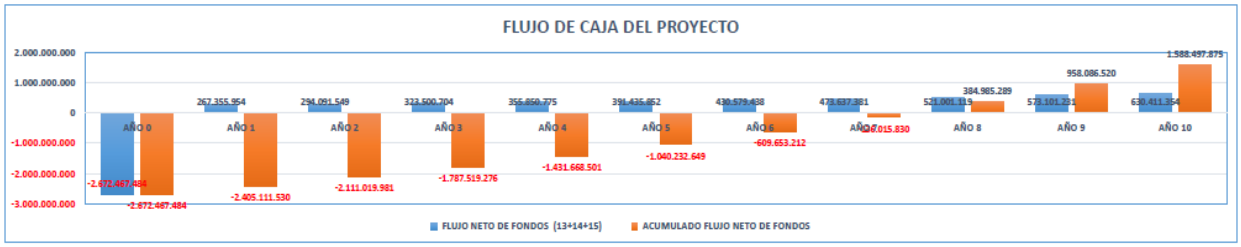
Figura 5. Ubicación de la Planta Solar Buenavista

Fuente: Autoría propia

Evaluación Económica

CONSOLIDADO													
CON LOS FONDOS DEL PROYECTO	TIO (i%)	7%											
	AÑO	0%	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
	FLUJO NETO DE FONDOS	-2.672.467.484	267.355.954	294.091.549	323.500.704	355.850.775	391.435.852	430.579.438	473.637.381	521.001.119	573.101.231	630.411.354	1.588.497.875
	VP DEL FLUJO NETO DE FONDOS	-2.672.467.484	249.865.378	256.870.949	264.072.938	271.476.852	279.088.353	286.913.260	294.957.557	303.227.395	311.729.098	320.469.166	166.203.461

INDICADORES		
CON LOS FONDOS DEL PROYECTO	VPN (Valor Presente Neto)	166.203.461
	TIR (Tasa Interna de Retorno)	8,1%
	PRI (Mes de Recuperación de la Inversión)	88

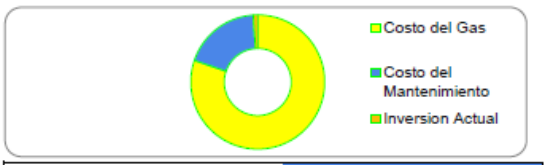


COMPARATIVO DEL COSTO DEL KWH DE LA PLANTA SOLAR Y LA GENERACIÓN ACTUAL CON GAS NATURAL EN LA PLANTA BUENAVISTA

PLANTA SOLAR 500 KWp

	VALOR	COP/ KWH
Inversion Planta Solar	$2.522.467.485	455,2
Inversion Obras Civiles	$150.000.000	27,1
Mantenimiento	$138.300.004	25,0
Total	**$2.810.767.489**	**507,3**

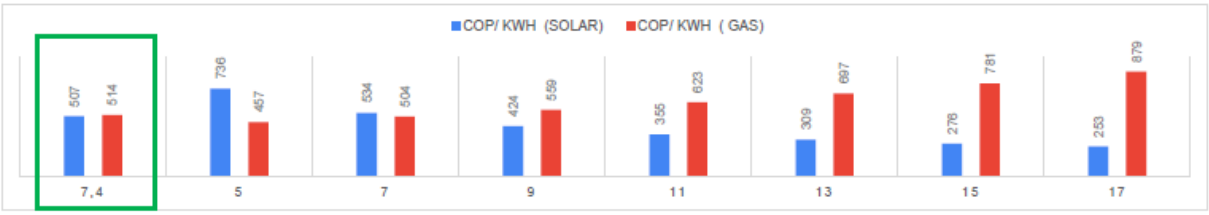
GENERACIÓN ACTUAL CON GAS NATURAL



	VALOR	COP/ KWH
Costo del Gas	$5.999.700.129	412,66
Costo del Mantenimiento	$1.398.904.544	96,22
Inversion Actual	$79.475.787	5,47
	$7.478.080.461	**514,3**

Numero de años del contrato o planta	7,4
KWh con energia solar (Proyecto)	5.541.120,00
Tasa de Inflación / IPC (%)	10

KWh generados A GAS	227,4
TMR	4000
Consumo promedio de gas (SCFD)	85508,2
Costo del gas 2024 (USD/MBTU)	4,32
Poder calorifico (BTU/Ft3)	$1.101
Costo del mantenimiento	$11.379.375
Inversion (Deuda del generador)	$79.475.787



AÑO	7,4	5	7	9	11	13	15	17
COP/ KWH (SOLAR)	507	736	534	424	355	309	276	253
COP/ KWH (GAS)	514	457	504	559	623	697	781	879

Cálculo de la reducción de las emisiones de CO2

La planta solar generaría anualmente 708214 KWH y se dejaría de emitir un valor anual de 272,66 Ton de CO2eq.

estrategiaaragonesa
UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Construyendo Europa desde Aragón
GOBIERNO DE ARAGON
Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente
Cámaras Aragón

Cálculo automático de emisiones totales en relación a los consumos energéticos de sus instalaciones

FACTOR DE EMISIÓN DE CONSUMO ELÉCTRICO

	Consumo anual	Unidades de medida física	Factor de emisión (Kg de CO2 eq/kWh)		Kg de CO2 eq	Ton de CO2 eq
Electricidad	708214	kWh	0,385	Kg de CO2 eq/kWh	272662,4	272,66

2.2 DISEÑO DEL PROTOTIPO A ESCALA

El prototipo de la Planta Solar Buenavista ha sido dimensionado para una potencia de 50 Wp, utilizando un factor de diseño de construcción de 0,0001. Esto significa que la planta originalmente diseñada para una capacidad de 500.000 Wp ha sido reducida a este prototipo de 50 Wp.

Los inversores y controladores fueron seleccionados con una potencia acorde al diseño de 50 Wp y empleando componentes comerciales. Esto se hizo con el objetivo de construir un prototipo funcional que incorpore las variables estándar de energía comercial, como voltaje, frecuencia y tipo de conexión (110 V AC, 60 Hz, Monofásico).

Nota: Tener en cuenta que la planta solar a instalar tendrá las siguientes características en la energía eléctrica de salida : 480 V AC Trifásica.

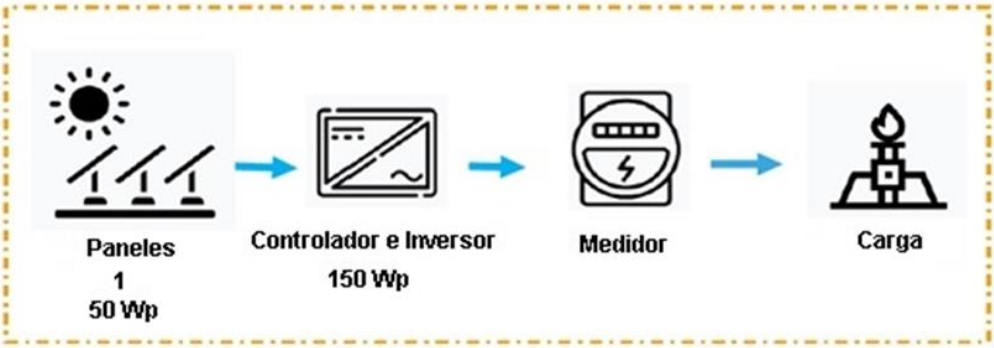


Figura 6. Componentes del prototipo de la Planta Solar Buenavista

Fuente: Autoría propia

	DISEÑO DE LA PLANTA SOLAR BUENAVISTA		PROTOTIPO DE LA PLANTA SOLAR BUENAVISTA	
	CANTIDAD	REFERENCIA	CANTIDAD	REFERENCIA
Datos de Generación				
Capacidad instalada (Wp):	500.000	Potencia Pico	50	Potencia Pico
Generación estimada al año (KWh):	708.214	Energía Anual	68,18	Energía Anual
Paneles Solares				
Cantidad Paneles solares:	918	0R10H545M / Bifaciales - Monocristalinos	1	Monocristalino de 54 Cm * 70 cm
Potencia Individual paneles solares (Wp)	545	Wp	50	Wp
Potencia total paneles solares (KWp)	500	Wp (34 string x 27 in series	0,050	50 Wp
Inversores				
Cantidad de inversores:	3	PVS-175-TL - 3 X136 Marca Growatt	1	Mod: LY-150 (150W)
Potencia individual Inversores (KWac):	175	Controlador interno en el inversor	0,15	Controlador Modelo KLD1210
Potencial total inversores (AC):	525,0	480 V AC Trifásico	0,15	12 V DC a 110 V AC (150 W)
Área Planta Solar				
Área requerida (m2)	2370	Área Total	0,378	Panel solar

Tabla 7. Especificaciones de los componentes del prototipo de la Planta Solar Buenavista.

2.3 DIRECCIÓN DEL PROYECTO (ejecución, seguimiento y control)

En la dirección del proyecto se realizaron los informes de seguimiento y control de la fase de Diseño, es de resaltar que durante la fase de diseño se realizaron 2 controles de cambio.

Primer control de cambio: Se realizó un control de cambio a la fecha de corte de 1 de marzo 2024, con el propósito de actualizar el cronograma del proyecto a razón de que, en la planeación, la fecha de finalización de las vacaciones de la universidad del segundo semestre de 2023 estaba previstas que finalizarán el 07 de febrero de 2024. Se actualizó el cronograma con las fechas reales del primer semestre académico 2024.

La actualización del cronograma no generó cambios en la línea base del costo y alcance, pero si, en la línea base de tiempo, afectando la fecha de inicio y finalización de las actividades.

Segundo Control de cambio: solicitud de cambio realizada con el objetivo de modificar el nombre del proyecto, y así generar una mejor relación e interpretación entre el nombre del proyecto y su alcance. Este control de cambio no genero afectación en la línea base de alcance, tiempo y costos.

3. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

Esta etapa del proyecto comenzó el 12 de marzo de 2024 y finalizó el 2 de mayo de 2024. Durante esta fase, se adquirieron los componentes del prototipo de la planta solar, se conectaron dichos componentes como son el panel solar, el controlador, el inversor, el medidor de energía y se instalaron los respectivos soportes. finalmente se tomaron los registros de las pruebas de funcionamiento.

Esquema

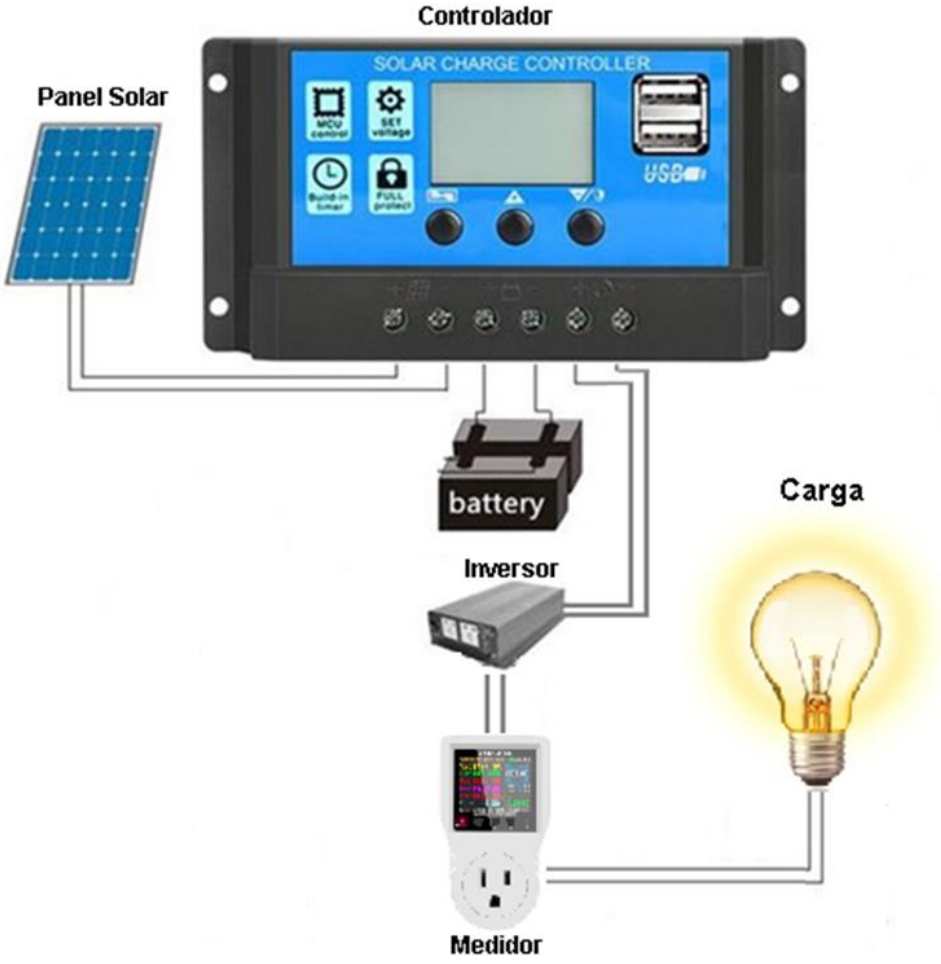


Figura 7. Esquema de conexionado del prototipo de la Planta Solar Buenavista

Fuente: Autoría propia

Prototipo

Figura 8. Prototipo construido de la Planta Solar Buenavista

Fuente: Autoría propia

Pruebas de funcionamiento.

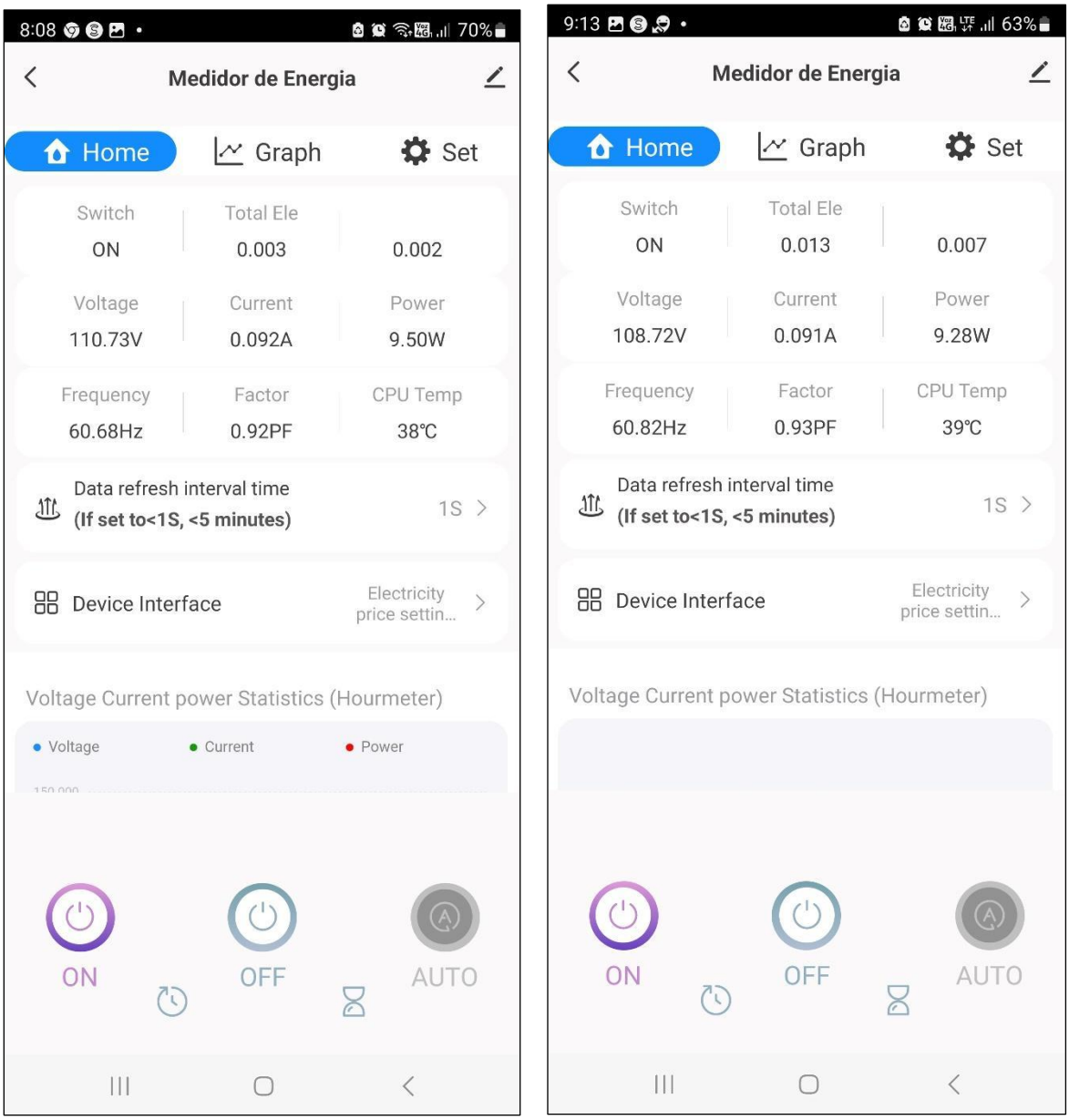


Figura 9. Visualización del funcionamiento del prototipo de la planta solar en la app Smar Life

Fuente: Autoría propia

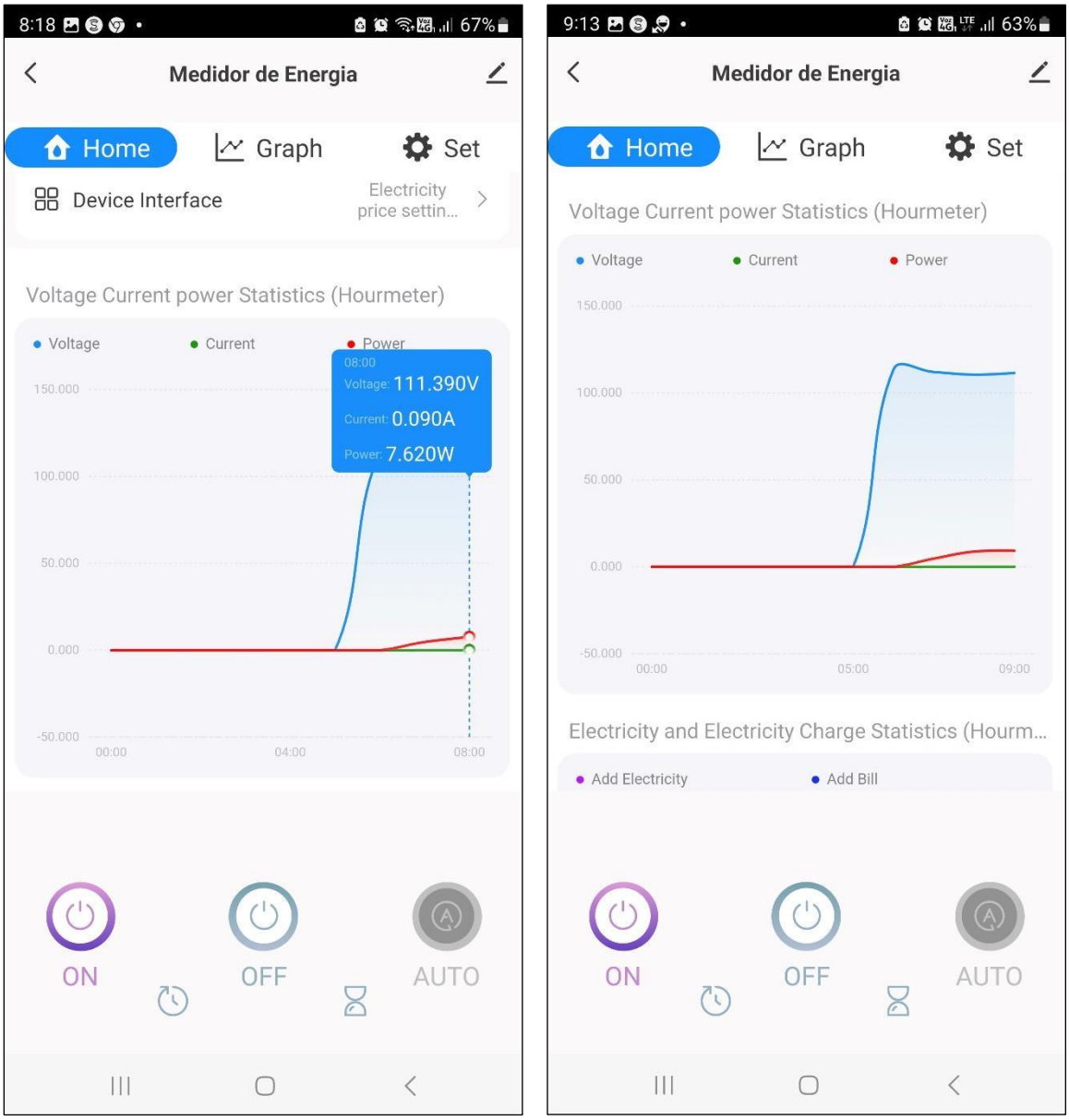


Figura 10. Visualización del comportamiento eléctrico del prototipo de la planta solar en la app Smar Life.

Fuente: Autoría propia

4. CIERRE

Esta Fase del proyecto inició el 06 de mayo de 2024 y concluyó el 09 de mayo de 2024, esta fase del proyecto consistió en realizar el acta de cierre del proyecto, en elaborar el Informe final de lecciones aprendidas y en realizar la reunión de cierre del proyecto.

ACTA DE CIERRE DEL PROYECTO

Proyecto: Fases de diseño del sistema de generación eléctrica a partir de energía solar e implementación de un prototipo a escala para la Planta de Procesamiento de Gas Natural Buenavista de la empresa PBI SAS –Yopal.

Fecha: 9 de mayo de 2024.

Lugar: Bogotá DC, Colombia.

- **Involucrados**

  - ✓ Gustavo Emilio Henríquez Vélez - Equipo de trabajo del proyecto, (Gerente del Proyecto).

  - ✓ Mary Gissel Rosales Delgado - Equipo de trabajo del proyecto, (Líder de proyecto).

- ✓ Carlos Eduardo Vélez Barrantes - Equipo de trabajo del proyecto, (Líder de proyecto).

- ✓ Luis Eduardo Henriquez Hernández -Sponsor del proyecto, (Gerente General PBI SAS ESP).

- **Información del proyecto**

El proyecto consistió en simular un modelo de planta solar fotovoltaica para la Planta de Procesamiento de Gas Natural Buenavista, con el objetivo de reemplazar el sistema de generación eléctrica actual (generadores a gas) durante el tiempo de captación de energía solar y bajar las emisiones de CO2 que se generan en esta Planta de Gas. Adicionalmente, se construyó un prototipo con el objeto de presentar físicamente un modelo de la planta solar diseñada a los interesados del proyecto.

- **Patrocinador**

Nombre del Sponsor: Luis Eduardo Henriquez Hernández

Cargo: Representante legal.

Empresa: Petroleum Blending International (PBI SAS ESP)

Correo electrónico: lhenriquez@pbi.com.co

- **Aceptación de los productos y/o entregables**

Descripción		Cumple los Criterios de Aceptación		
Entregable	**APROBADO**	**SI**	**NO**	**PARCIAL**
Evaluación Económica del Proyecto.	**SI**	✓		
Diseño de la Planta Solar Fotovoltaica.	**SI**	✓		
Proyección de la reducción de las emisiones de CO_2.	**SI**	✓		
El plan para la dirección del proyecto.	**SI**	✓		
Prototipo de la Planta Solar.	**SI**	✓		

- **Terminación**

De acuerdo al cuadro de consolidación para la aceptación y finalización de los entregables, se concluye que el producto cumple con todos los requisitos definidos en el alcance, así mismo, cada uno de los entregables completó el proceso de revisión, seguimiento y aseguramiento de la calidad dando contestación óptima a cada uno de los parámetros y métricas establecidas.

Por último, se precisa que no hay ningún pendiente a la fecha de cierre del proyecto y, que todo el paquete de entregables se ha recibido a satisfacción por parte del Sponsor.

Firmas de Aprobación y Cierre

_____

Luis Eduardo Henríquez Hernández

Sponsor - Gerente General de PBI SAS ESP

_____

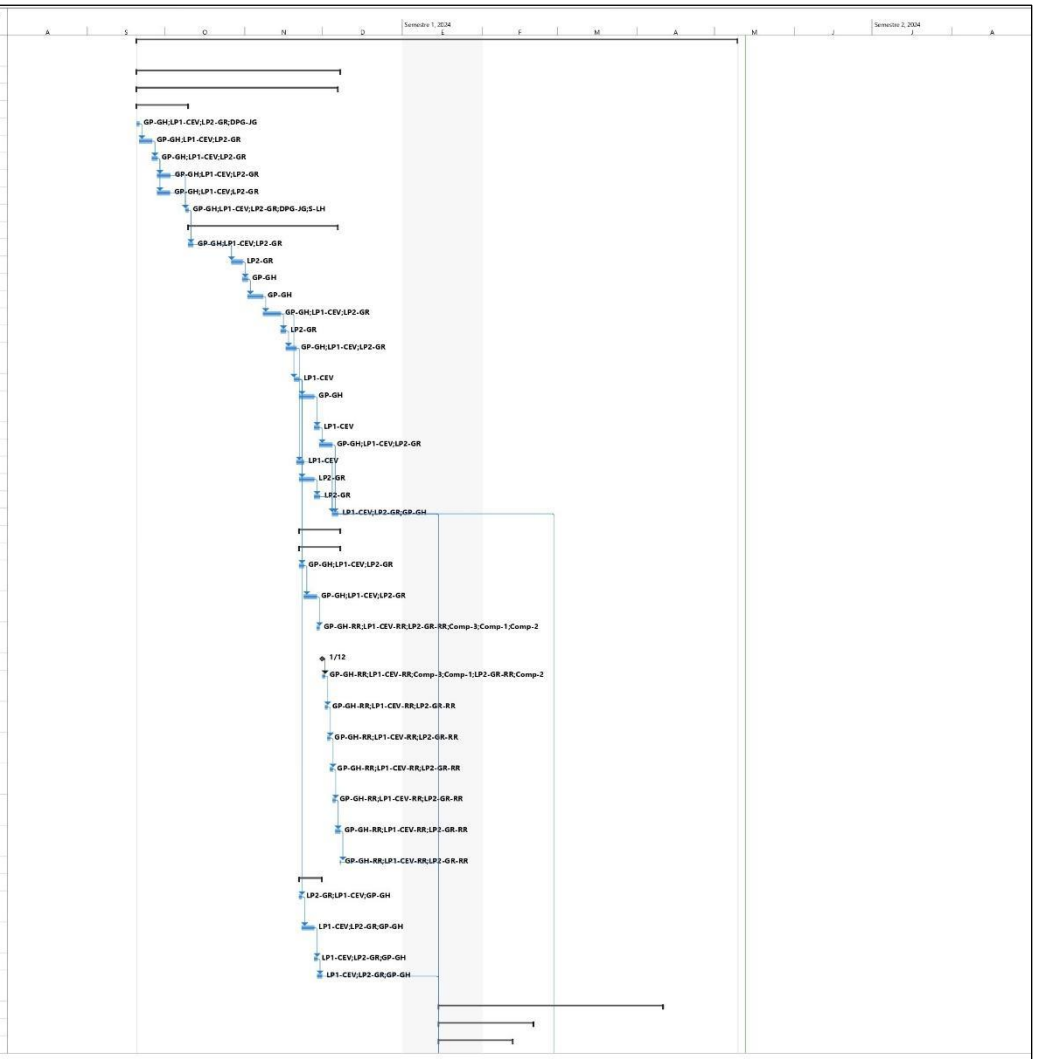
Gustavo Emilio Henriquez Vélez

Gerente del Proyecto.

.

CRONOGRAMA

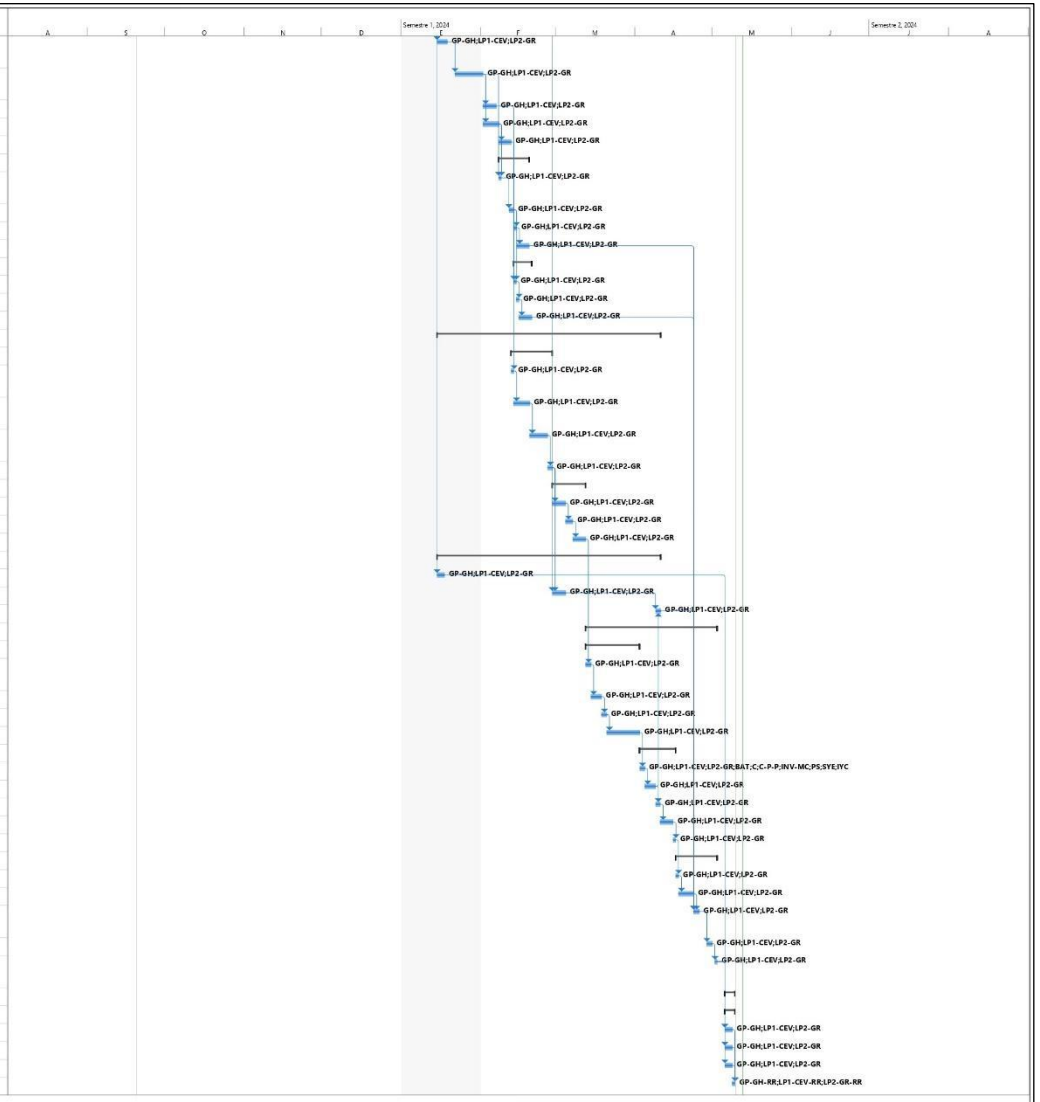
Id	EDT	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Trabajo	Costo	% completado
1	1		**FASES DE DISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO A ESCALA PARA LA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE GAS NATURAL BUENAVISTA DE LA EMPRESA PBI SAS –YOPAL**	**104,5 días**	**mié 20/09/23**	**jue 9/05/24**	**149,85 días**	**$ 18.500.250,00**	**100%**
2	**1.1**		**PLANIFICACIÓN**	**42 días**	**mié 20/09/23**	**vie 8/12/23**	**62,86 días**	**$ 7.542.600,00**	**100%**
3	**1.1.1**		**INICIO Y PLANIFICACION DE LA DIRECCION DEL PROYECTO**	**42 días**	**mié 20/09/23**	**mié 6/12/23**	**41 días**	**$ 4.920.000,00**	**100%**
4	**1.1.1.1**		**Definición del alcance y objetivos (alto nivel del proyecto)**	**11 días**	**mié 20/09/23**	**lun 9/10/23**	**9,5 días**	**$ 1.140.000,00**	**100%**
5	1.1.1.1.		Realizar reuniones con el equipo del proyecto	2 horas	mié 20/09/23	mié 20/09/23	1 día	$ 120.000,00	100%
6	1.1.1.1.		Identificar y definir los objetivos del proyecto a alto nivel	4 horas	jue 21/09/23	lun 25/09/23	2 días	$ 240.000,00	100%
7	1.1.1.1.		Definir el alcance del proyecto a alto nivel	4 horas	mar 26/09/23	mié 27/09/23	2 días	$ 240.000,00	100%
8	1.1.1.1.		Elaborar el Project Charter	4 horas	jue 28/09/23	lun 2/10/23	2 días	$ 240.000,00	100%
9	1.1.1.1.		Elaborar la matriz de interesados	3 horas	jue 28/09/23	lun 2/10/23	1,5 días	$ 180.000,00	100%
10	1.1.1.1.		Revisar y aprobar el Project Charter y la matriz de interesados	2 horas	lun 9/10/23	lun 9/10/23	1 día	$ 120.000,00	100%
11	**1.1.1.2**		**Planeación de la dirección de proyectos**	**31 días**	**mar 10/10/23**	**mié 6/12/23**	**31,5 días**	**$ 3.780.000,00**	**100%**
12	1.1.1.2.		Elaborar el ciclo de vida del proyecto	3 horas	mar 10/10/23	mié 11/10/23	1,5 días	$ 180.000,00	100%
13	1.1.1.2.		Elaborar el plan de gestión del alcance del proyecto	3 horas	jue 26/10/23	lun 30/10/23	1,5 días	$ 180.000,00	100%
14	1.1.1.2.		Elaborar la matriz de requerimientos y trazabilidad del proyecto	4 horas	mar 31/10/23	mié 1/11/23	2 días	$ 240.000,00	100%
15	1.1.1.2.		Elaborar el enunciado del alcance del proyecto	4 horas	jue 2/11/23	mar 7/11/23	2 días	$ 240.000,00	100%
16	1.1.1.2.		Elaborar la EDT del proyecto y diccionarios	5 horas	mié 8/11/23	mar 14/11/23	2,5 días	$ 300.000,00	100%
17	1.1.1.2.		Elaborar el plan de involucramientos de interesados	4 horas	mar 14/11/23	jue 16/11/23	2 días	$ 240.000,00	100%
18	1.1.1.2.		Elaborar el formato de control de cambios, actas de reunión y lecciones aprendidas	3 horas	jue 16/11/23	lun 20/11/23	1,5 días	$ 180.000,00	100%
19	1.1.1.2.		Elaborar el plan de gestión del cronograma	4 horas	lun 20/11/23	mar 21/11/23	2 días	$ 240.000,00	100%
20	1.1.1.2.		Elaborar el diagrama de red , Cronograma en Ms Project y matriz de requerimientos	5 horas	mié 22/11/23	lun 27/11/23	2,5 días	$ 300.000,00	100%
21	1.1.1.2.		Elaborar el plan de gestión de costos	4 horas	lun 27/11/23	mié 29/11/23	2 días	$ 240.000,00	100%
22	1.1.1.2.		Elaborar el presupuesto, reservas y curva S	4 horas	mié 29/11/23	lun 4/12/23	2 días	$ 240.000,00	100%
23	1.1.1.2.		Elaborar la identificación de indicadores de calidad y definir métricas	5 horas	mar 21/11/23	jue 23/11/23	2,5 días	$ 300.000,00	100%
24	1.1.1.2.		Elaborar el plan de gestión de riesgos	5 horas	mié 22/11/23	lun 27/11/23	2,5 días	$ 300.000,00	100%
25	1.1.1.2.		Elaborar la respuesta a los riesgos y mapa de calor	5 horas	lun 27/11/23	mié 29/11/23	2,5 días	$ 300.000,00	100%
26	1.1.1.2.		Elaborar el plan de dirección del proyecto	5 horas	lun 4/12/23	mié 6/12/23	2,5 días	$ 300.000,00	100%
27	**1.1.2**		**ADQUISICIÓN Y REVISIÓN DE LA INFORMACION INICIAL DEL PROYECTO**	**9 días**	**mié 22/11/23**	**vie 8/12/23**	**21,86 días**	**$ 2.622.600,00**	**100%**
28	**1.1.2.1**		**Revisión de la información de campo**	**9 días**	**mié 22/11/23**	**vie 8/12/23**	**16,36 días**	**$ 1.962.600,00**	**100%**
29	1.1.2.1.		Elaborar la solicitud de información de generación eléctrica de la Planta Buenavista a PBI SAS ESP	3 horas	mié 22/11/23	jue 23/11/23	1,5 días	$ 180.000,00	100%
30	1.1.2.1.		Solicitar y recibir la información de generación eléctrica de la Planta Buenavista y el plano del lugar de la Planta	4 horas	jue 23/11/23	mar 28/11/23	2 días	$ 240.000,00	100%
31	1.1.2.1.		Realizar reunión con el personal de Operaciona y Mantenimiento de PBI para aclarar inquietudes sobre la información solicitada	3,71 horas	mar 28/11/23	mié 29/11/23	1,86 días	$ 222.600,00	100%
32	1.1.2.1.		Inicio del analisis de la información de Generación Electrica	0 horas	vie 1/12/23	vie 1/12/23	0 días	$ 0,00	100%
33	1.1.2.1.		Recibir y analizar la información de generación eléctrica del primer día y retroalimentar	3 horas	vie 1/12/23	vie 1/12/23	1,5 días	$ 180.000,00	100%
34	1.1.2.1.		Recibir y analizar la información de generación eléctrica del segundo día y retroalimentar	3 horas	sáb 2/12/23	sáb 2/12/23	1,5 días	$ 180.000,00	100%
35	1.1.2.1.		Recibir y analizar la información de generación eléctrica del tercer día y retroalimentar	3 horas	dom 3/12/23	dom 3/12/23	1,5 días	$ 180.000,00	100%
36	1.1.2.1.		Recibir y analizar la información de generación eléctrica del cuarto día y retroalimentar	3 horas	lun 4/12/23	lun 4/12/23	1,5 días	$ 180.000,00	100%
37	1.1.2.1.		Recibir y analizar la información de generación eléctrica del quinto día y retroalimentar	3 horas	mar 5/12/23	mar 5/12/23	1,5 días	$ 180.000,00	100%
38	1.1.2.1.		Depurar y analizar la información de generación eléctrica de la Planta Buenavista y el sistema de generación	5 horas	mié 6/12/23	jue 7/12/23	2,5 días	$ 300.000,00	100%
39	1.1.2.1.		Elaborar el perfil de generación eléctrica de la Planta Buenavista	2 horas	jue 7/12/23	vie 8/12/23	1 día	$ 120.000,00	100%
40	**1.1.2.2**		**Revisión del estudio económico preliminar (Realizado por PBI)**	**5,5 días**	**mié 22/11/23**	**jue 30/11/23**	**5,5 días**	**$ 660.000,00**	**100%**
41	1.1.2.2.		Realizar reunión con el Coordinador de Proyectos de PBI para socializar el estudio económico básico preliminar del proyecto	2 horas	mié 22/11/23	mié 22/11/23	1 día	$ 120.000,00	100%
42	1.1.2.2.		Revisar los factores que forman parte de la evaluación económica del proyecto	3 horas	jue 23/11/23	lun 27/11/23	1,5 días	$ 180.000,00	100%
43	1.1.2.2.		Analizar el estudio económico básico preliminar del proyecto	3 horas	lun 27/11/23	mar 28/11/23	1,5 días	$ 180.000,00	100%
44	1.1.2.2.		Identificar factores importantes del estudio económico básico preliminar del proyecto	3 horas	mié 29/11/23	jue 30/11/23	1,5 días	$ 180.000,00	100%
45	**1.2**		**DISEÑO**	**47 días**	**lun 15/01/24**	**mié 10/04/24**	**52,5 días**	**$ 6.800.000,00**	**100%**
46	**1.2.1**		**DISEÑO DE LA PLANTA SOLAR**	**21,5 días**	**lun 15/01/24**	**mar 20/02/24**	**28,5 días**	**$ 3.420.000,00**	**100%**
47	**1.2.1.1**		**Elaboración de los cálculos y diseño (Planta Solar)**	**16,5 días**	**lun 15/01/24**	**lun 12/02/24**	**19 días**	**$ 2.280.000,00**	**100%**



Proyecto: PROYECTO DE GRAD
Fecha: lun 13/05/24

Tarea · Hito · Resumen del proyecto · Hito inactivo · Tarea manual · Informe de resumen manual · solo el comienzo · Tareas externas · Fecha límite · División crítica · Progreso
División · Resumen · Tarea inactiva · Resumen inactivo · solo duración · Resumen manual · solo fin · Hito externo · Tareas críticas · Retrasada · Progreso manual

Id	EDT	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	fin	Trabajo	Costo	% completado
48	1.2.1.1.		Analizar y determinar la radiación solar de la zona prevista para la planta solar	8 horas	lun 15/01/24	jue 18/01/24	4 días	$ 480.000,00	100%
49	1.2.1.1.		Definir la cantidad y características de los paneles solare e inversores a utilizar	15 horas	lun 22/01/24	jue 1/02/24	7,5 días	$ 900.000,00	100%
50	1.2.1.1.		Calcular la cantidad de KWH anuales que se generarían	5 horas	jue 1/02/24	mar 6/02/24	2,5 días	$ 300.000,00	100%
51	1.2.1.1.		Calcular el área requerida para la instalación de la Planta Solar	7 horas	jue 1/02/24	mié 7/02/24	3,5 días	$ 420.000,00	100%
52	1.2.1.1.		Elaborar el plano de ubicación de la planta solar en la Planta Buenavista	3 horas	jue 8/02/24	lun 12/02/24	1,5 días	$ 180.000,00	100%
53	**1.2.1.2**		**Evaluación económica (Planta Solar)**	**5,5 días**	**jue 8/02/24**	**lun 19/02/24**	**5,5 días**	**$ 660.000,00**	**100%**
54	1.2.1.2.		Revisar ofertas de los equipos seleccionados (paneles, inversores y conexionado)	2 horas	jue 8/02/24	jue 8/02/24	1 día	$ 120.000,00	100%
55	1.2.1.2.		Realizar comparativos y definir los equipos	3 horas	lun 12/02/24	mar 13/02/24	1,5 días	$ 180.000,00	100%
56	1.2.1.2.		Elaborar el presupuesto para la instalación de la Planta solar	3 horas	mar 13/02/24	mié 14/02/24	1,5 días	$ 180.000,00	100%
57	1.2.1.2.		Elaborar la evaluación económica del proyecto.	3 horas	jue 15/02/24	lun 19/02/24	1,5 días	$ 180.000,00	100%
58	**1.2.1.3**		**Estimación de la reducción de emisiones de CO2**	**4 días**	**mar 13/02/24**	**mar 20/02/24**	**4 días**	**$ 480.000,00**	**100%**
59	1.2.1.3.		Seleccionar el factor de emisión	2 horas	mar 13/02/24	mié 14/02/24	1 día	$ 120.000,00	100%
60	1.2.1.3.		Seleccionar la metodología a utilizar para estimar la reducciones de CO2	2 horas	mié 14/02/24	jue 15/02/24	1 día	$ 120.000,00	100%
61	1.2.1.3.		Calcular la reducción de la emisiones de CO2	4 horas	jue 15/02/24	mar 20/02/24	2 días	$ 240.000,00	100%
62	**1.2.2**		**DISEÑO DEL PROTOTIPO A ESCALA**	**47 días**	**lun 15/01/24**	**mié 10/04/24**	**24 días**	**$ 2.880.000,00**	**100%**
63	**1.2.2.1**		**Elaboración de los cálculos y diseño (prototipo)**	**10 días**	**lun 12/02/24**	**mié 28/02/24**	**10 días**	**$ 1.200.000,00**	**100%**
64	1.2.2.1.		Seleccionar el factor de escala o factor de diseño del prototipo de la Planta Solar	2 horas	lun 12/02/24	mar 13/02/24	1 día	$ 120.000,00	100%
65	1.2.2.1.		Definir la cantidad y características de los paneles solare e inversores a utilizar en el prototipo de la Planta Solar	7 horas	mar 13/02/24	lun 19/02/24	3,5 días	$ 420.000,00	100%
66	1.2.2.1.		Definir diseño del prototipo y conexionado del prototipo de la Planta Solar	8 horas	mar 20/02/24	lun 26/02/24	4 días	$ 480.000,00	100%
67	1.2.2.1.		Definir el tipo de soportería a utilizar	3 horas	mar 27/02/24	mié 28/02/24	1,5 días	$ 180.000,00	100%
68	**1.2.2.2**		**Elaboración de planos para construcción**	**7 días**	**mié 28/02/24**	**mar 12/03/24**	**7 días**	**$ 840.000,00**	**100%**
69	1.2.2.2.		Elaborar el plano del prototipo	5 horas	mié 28/02/24	lun 4/03/24	2,5 días	$ 300.000,00	100%
70	1.2.2.2.		Elaborar planos adicionales	5 horas	mar 5/03/24	jue 7/03/24	2,5 días	$ 300.000,00	100%
71	1.2.2.2.		Elaborar el listado de materiales con sus especificaciones técnicas	4 horas	jue 7/03/24	mar 12/03/24	2 días	$ 240.000,00	100%
72	**1.2.2.3**		**Dirección del proyecto (ejecución, seguimiento y control)**	**47 días**	**lun 15/01/24**	**mié 10/04/24**	**7 días**	**$ 840.000,00**	**100%**
73	1.2.2.3.		Actualizar el formato de control de cambios y documentos del proyecto	5 horas	lun 15/01/24	mié 17/01/24	2,5 días	$ 300.000,00	100%
74	1.2.2.3.		Elaborar el informe de seguimiento y control # 1 del proyecto	5 horas	mié 28/02/24	lun 4/03/24	2,5 días	$ 300.000,00	100%
75	1.2.2.3.		Elaborar el informe de seguimiento y control # 2 del proyecto.	4 horas	mar 9/04/24	mié 10/04/24	2 días	$ 240.000,00	100%
76	**1.3**		**IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS**	**25,5 días**	**mar 12/03/24**	**jue 2/05/24**	**25,5 días**	**$ 3.577.650,00**	**100%**
77	**1.3.1**		**Adquisición de materiales**	**8 días**	**mar 12/03/24**	**mar 2/04/24**	**8 días**	**$ 960.000,00**	**100%**
78	1.3.1.1		Solicitar ofertas de los equipos seleccionados (paneles, inversores y conexionado) del prototipo	4 horas	mar 12/03/24	jue 14/03/24	2 días	$ 240.000,00	100%
79	1.3.1.2		Elaborar cuadros comparativos	3 horas	jue 14/03/24	lun 18/03/24	1,5 días	$ 180.000,00	100%
80	1.3.1.3		Definir proveedor	4 horas	mar 19/03/24	mié 20/03/24	2 días	$ 240.000,00	100%
81	1.3.1.4		Comprar materiales	5 horas	jue 21/03/24	mar 2/04/24	2,5 días	$ 300.000,00	100%
82	**1.3.2**		**Implementación y pruebas**	**8 días**	**mar 2/04/24**	**mar 16/04/24**	**8 días**	**$ 1.477.650,00**	**100%**
83	1.3.2.1		Ensamblar y conectar los paneles e inversores	4 horas	mar 2/04/24	jue 4/04/24	2 días	$ 757.650,00	100%
84	1.3.2.2		Probar y ajustar el prototipo	3 horas	jue 4/04/24	lun 8/04/24	1,5 días	$ 180.000,00	100%
85	1.3.2.3		Evaluar la potencia generada con la diseñada a escala	3 horas	mar 9/04/24	mié 10/04/24	1,5 días	$ 180.000,00	100%
86	1.3.2.4		Identificar y corregir problemas	4 horas	mié 10/04/24	lun 15/04/24	2 días	$ 240.000,00	100%
87	1.3.2.5		Tomar registros de las pruebas	2 horas	lun 15/04/24	mar 16/04/24	1 día	$ 120.000,00	100%
88	**1.3.3**		**Documentación y entrega**	**9,5 días**	**mar 16/04/24**	**jue 2/05/24**	**9,5 días**	**$ 1.140.000,00**	**100%**
89	1.3.3.1		Registrar resultados	3 horas	mar 16/04/24	mié 17/04/24	1,5 días	$ 180.000,00	100%
90	1.3.3.2		Elaborar el informes técnicos	5 horas	jue 18/04/24	mar 23/04/24	2,5 días	$ 300.000,00	100%
91	1.3.3.3		Documentar el proyecto y crear y elaborar los informes de dirección del proyectos	5 horas	mar 23/04/24	jue 25/04/24	2,5 días	$ 300.000,00	100%
92	1.3.3.4		Elaborar documentos de aceptación del proyecto	4 horas	lun 29/04/24	mar 30/04/24	2 días	$ 240.000,00	100%
93	1.3.3.5		Entregar los productos (Diseño de la Planta Solar y Prototipo) al sponsor y documentos de aceptación	2 horas	jue 2/05/24	jue 2/05/24	1 día	$ 120.000,00	100%
94	**1.4**		**CIERRE**	**3,5 días**	**lun 6/05/24**	**jue 9/05/24**	**9 días**	**$ 1.080.000,00**	**100%**
95	**1.4.1**		**Cierre del Proyecto**	**3,5 días**	**lun 6/05/24**	**jue 9/05/24**	**9 días**	**$ 1.080.000,00**	**100%**
96	1.4.1.1		Elaborar el Informe de cierre de las fases del proyecto	5 horas	lun 6/05/24	mié 8/05/24	2,5 días	$ 300.000,00	100%
97	1.4.1.2		Elaborar Informe final de lecciones aprendidas	5 horas	lun 6/05/24	mié 8/05/24	2,5 días	$ 300.000,00	100%
98	1.4.1.3		Elaborar el Informe de cierre de la dirección del proyecto	5 horas	lun 6/05/24	mié 8/05/24	2,5 días	$ 300.000,00	100%
99	1.4.1.4		Realizar la reunión de cierre del proyecto	3 horas	mié 8/05/24	jue 9/05/24	1,5 días	$ 180.000,00	100%



Proyecto: PROYECTO DE GRAD
Fecha: lun 13/05/24

Tarea · Hito · Resumen del proyecto · Hito inactivo · Tarea manual · Informe de resumen manual · solo el comienzo · Tareas externas · Fecha límite · División crítica · Progreso
División · Resumen · Tarea inactiva · Resumen inactivo · solo duración · Resumen manual · solo fin · Hito externo · Tareas críticas · Retraso · Progreso manual

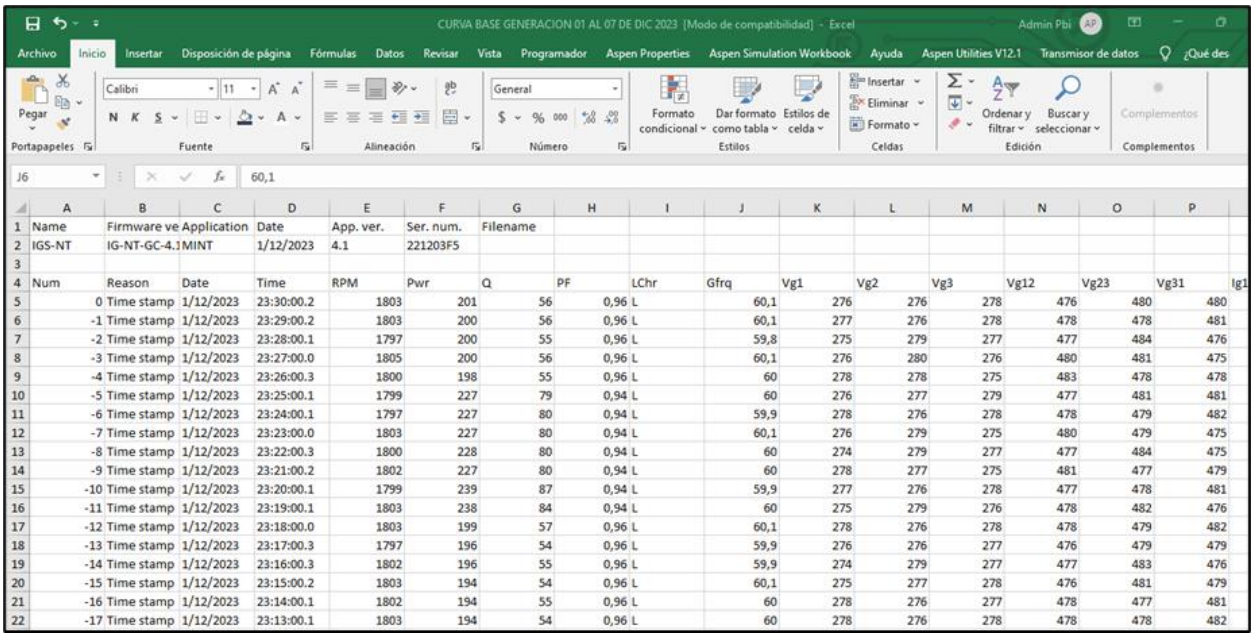
TECNICAS E INSTRUMENTOS

La recolección de la información para la elaboración del proyecto se realizó desde el a 01 de diciembre 2023 hasta el 07 de diciembre 2023, periodo de tiempo en la cual la empresa PBI SAS ESP sponsor del proyecto suministro diariamente (vía correo electrónico) la data de suministro eléctrico de los moto-generadores a gas G3412 Caterpillar #2.

Los archivos en Excel recibidos fueron los siguientes:

- DATA HISTORIAL GEN CAT N°2 01-12-2023
- DATA HISTORIAL GEN CAT N°2 02-12-2023
- DATA HISTORIAL GEN CAT N°2 03-12-2023
- DATA HISTORIAL GEN CAT N°2 04-12-2023
- DATA HISTORIAL GEN CAT N°2 05-12-2023
- DATA HISTORIAL GEN CAT N°2 06-12-2023
- DATA HISTORIAL GEN CAT N°2 07-12-2023

Los archivos contenían la data bruta de generación eléctrica (potencia, voltajes, corrientes, fecha y demás) del equipo de la siguiente forma:

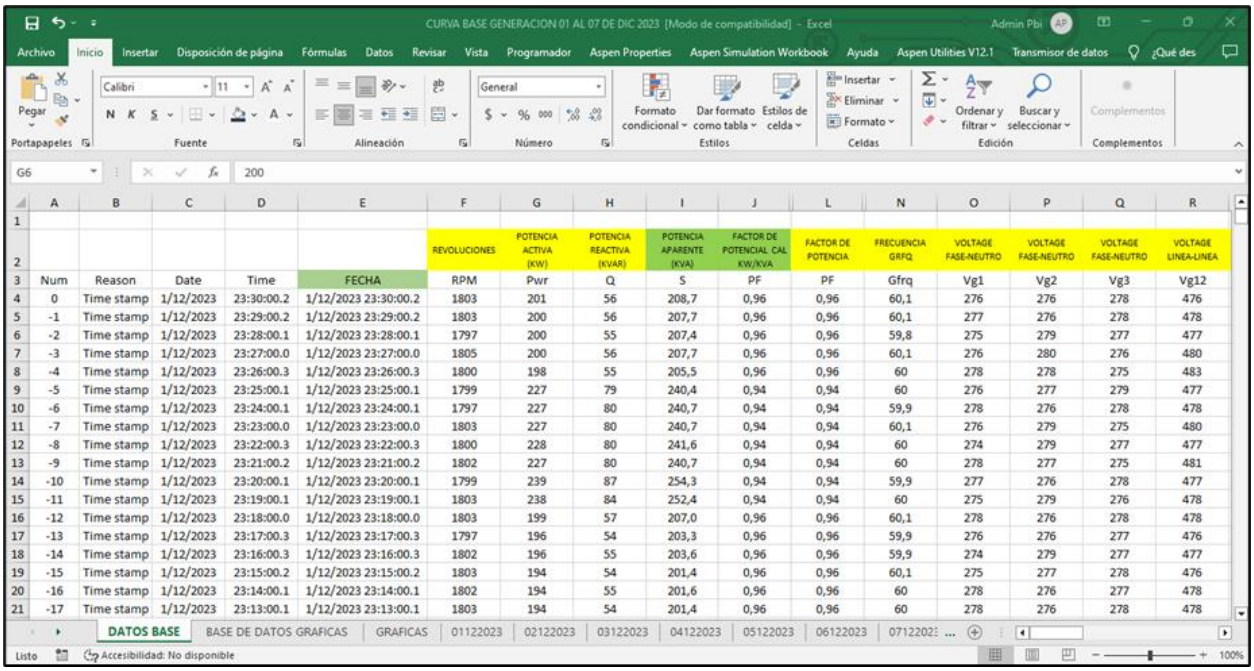


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Name	Firmware ve	Application	Date	App. ver.	Ser. num.	Filename									
2	IGS-NT	IG-NT-GC-4.1	MINT	1/12/2023	4.1	221203F5										
3																
4	Num	Reason	Date	Time	RPM	Pwr	Q	PF	LChr	Gfrq	Vg1	Vg2	Vg3	Vg12	Vg23	Vg31
5	0	Time stamp	1/12/2023	23:30:00.2	1803	201	56	0,96	L	60,1	276	276	278	476	480	480
6	-1	Time stamp	1/12/2023	23:29:00.2	1803	200	56	0,96	L	60,1	277	276	278	478	478	481
7	-2	Time stamp	1/12/2023	23:28:00.1	1797	200	55	0,96	L	59,8	275	279	277	477	484	476
8	-3	Time stamp	1/12/2023	23:27:00.0	1805	200	56	0,96	L	60,1	276	280	276	480	481	475
9	-4	Time stamp	1/12/2023	23:26:00.3	1800	198	55	0,96	L	60	278	278	275	483	478	478
10	-5	Time stamp	1/12/2023	23:25:00.1	1799	227	79	0,94	L	60	276	277	279	477	481	481
11	-6	Time stamp	1/12/2023	23:24:00.1	1797	227	80	0,94	L	59,9	278	276	278	478	479	482
12	-7	Time stamp	1/12/2023	23:23:00.0	1803	227	80	0,94	L	60,1	276	279	275	480	479	475
13	-8	Time stamp	1/12/2023	23:22:00.3	1800	228	80	0,94	L	60	274	279	277	477	484	475
14	-9	Time stamp	1/12/2023	23:21:00.2	1802	227	80	0,94	L	60	278	277	275	481	477	479
15	-10	Time stamp	1/12/2023	23:20:00.1	1799	239	87	0,94	L	59,9	277	276	278	477	478	481
16	-11	Time stamp	1/12/2023	23:19:00.1	1803	238	84	0,94	L	60	275	279	276	478	482	476
17	-12	Time stamp	1/12/2023	23:18:00.0	1803	199	57	0,96	L	60,1	278	276	278	478	479	482
18	-13	Time stamp	1/12/2023	23:17:00.3	1797	196	54	0,96	L	59,9	276	276	277	476	479	479
19	-14	Time stamp	1/12/2023	23:16:00.3	1802	196	55	0,96	L	59,9	274	279	277	477	483	476
20	-15	Time stamp	1/12/2023	23:15:00.2	1803	194	54	0,96	L	60,1	275	277	278	476	481	479
21	-16	Time stamp	1/12/2023	23:14:00.1	1802	194	55	0,96	L	60	278	276	277	478	477	481
22	-17	Time stamp	1/12/2023	23:13:00.1	1803	194	54	0,96	L	60	278	276	278	478	478	482

Figura 11. Data bruta de generación eléctrica de la Planta Buenavista

Fuente: Autoría propia

Diariamente se revisaron los archivos, se identifican las variables y se calculaba el valor de la potencia aparente con el dato la potencia activa, reactiva y el factor de potencia, quedando como resultado lo siguiente información:



					REVOLUCIONES	POTENCIA ACTIVA (KW)	POTENCIA REACTIVA (KVAR)	POTENCIA APARENTE (KVA)	FACTOR DE POTENCIAL CAL KW/KVA	FACTOR DE POTENCIA	FRECUENCIA GRFQ	VOLTAGE FASE-NEUTRO	VOLTAGE FASE-NEUTRO	VOLTAGE FASE-NEUTRO	VOLTAGE LINEA-LINEA
Num	Reason	Date	Time	FECHA	RPM	Pwr	Q	S	PF	PF	Gfrq	Vg1	Vg2	Vg3	Vg12
0	Time stamp	1/12/2023	23:30:00.2	1/12/2023 23:30:00.2	1803	201	56	208,7	0,96	0,96	60,1	276	276	278	476
-1	Time stamp	1/12/2023	23:29:00.2	1/12/2023 23:29:00.2	1803	200	56	207,7	0,96	0,96	60,1	277	276	278	478
-2	Time stamp	1/12/2023	23:28:00.1	1/12/2023 23:28:00.1	1797	200	55	207,4	0,96	0,96	59,8	275	279	277	477
-3	Time stamp	1/12/2023	23:27:00.0	1/12/2023 23:27:00.0	1805	200	56	207,7	0,96	0,96	60,1	276	280	276	480
-4	Time stamp	1/12/2023	23:26:00.3	1/12/2023 23:26:00.3	1800	198	55	205,5	0,96	0,96	60	278	278	275	483
-5	Time stamp	1/12/2023	23:25:00.1	1/12/2023 23:25:00.1	1799	227	79	240,4	0,94	0,94	60	276	277	279	477
-6	Time stamp	1/12/2023	23:24:00.1	1/12/2023 23:24:00.1	1797	227	80	240,7	0,94	0,94	59,9	278	276	278	478
-7	Time stamp	1/12/2023	23:23:00.0	1/12/2023 23:23:00.0	1803	227	80	240,7	0,94	0,94	60,1	276	279	275	480
-8	Time stamp	1/12/2023	23:22:00.3	1/12/2023 23:22:00.3	1800	228	80	241,6	0,94	0,94	60	274	279	277	477
-9	Time stamp	1/12/2023	23:21:00.2	1/12/2023 23:21:00.2	1802	227	80	240,7	0,94	0,94	60	278	277	275	481
-10	Time stamp	1/12/2023	23:20:00.1	1/12/2023 23:20:00.1	1799	239	87	254,3	0,94	0,94	59,9	277	276	278	477
-11	Time stamp	1/12/2023	23:19:00.1	1/12/2023 23:19:00.1	1803	238	84	252,4	0,94	0,94	60	275	279	276	478
-12	Time stamp	1/12/2023	23:18:00.0	1/12/2023 23:18:00.0	1803	199	57	207,0	0,96	0,96	60,1	278	276	278	478
-13	Time stamp	1/12/2023	23:17:00.3	1/12/2023 23:17:00.3	1797	196	54	203,3	0,96	0,96	59,9	276	276	277	476
-14	Time stamp	1/12/2023	23:16:00.3	1/12/2023 23:16:00.3	1802	196	55	203,6	0,96	0,96	59,9	274	279	277	477
-15	Time stamp	1/12/2023	23:15:00.2	1/12/2023 23:15:00.2	1803	194	54	201,4	0,96	0,96	60,1	275	277	278	476
-16	Time stamp	1/12/2023	23:14:00.1	1/12/2023 23:14:00.1	1802	194	55	201,6	0,96	0,96	60	278	276	277	478
-17	Time stamp	1/12/2023	23:13:00.1	1/12/2023 23:13:00.1	1803	194	54	201,4	0,96	0,96	60	278	276	278	478

Figura 12. Data organizada de generación eléctrica de la Planta Buenavista

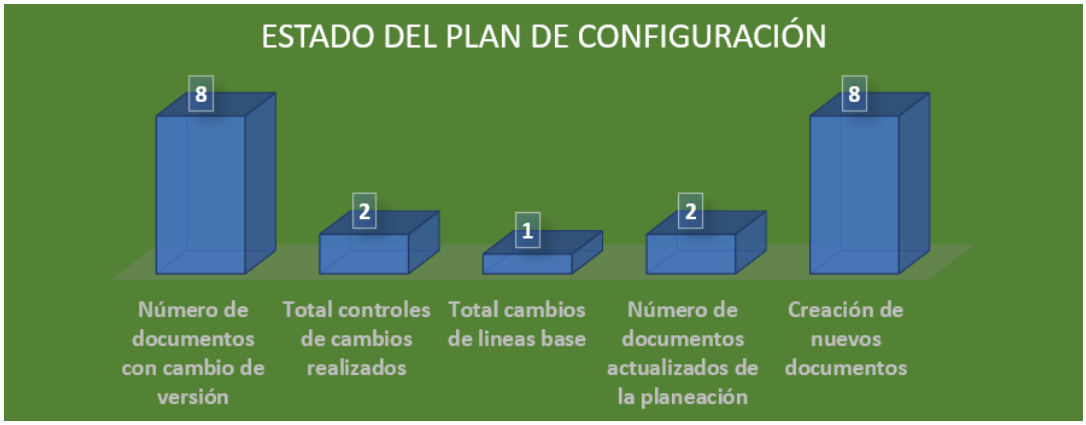
Fuente: Autoría propia

Capítulo 4

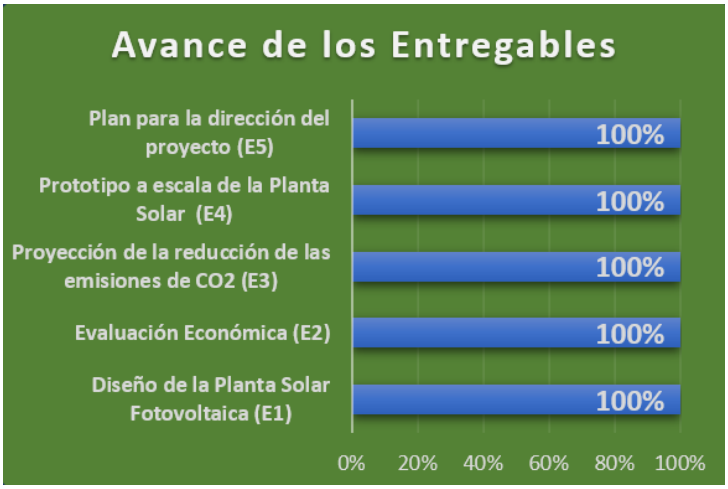
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Hemos realizado una serie de diagramas que permiten entender gráficamente, cantidades, porcentajes de avance, costos o duración de los siguientes:

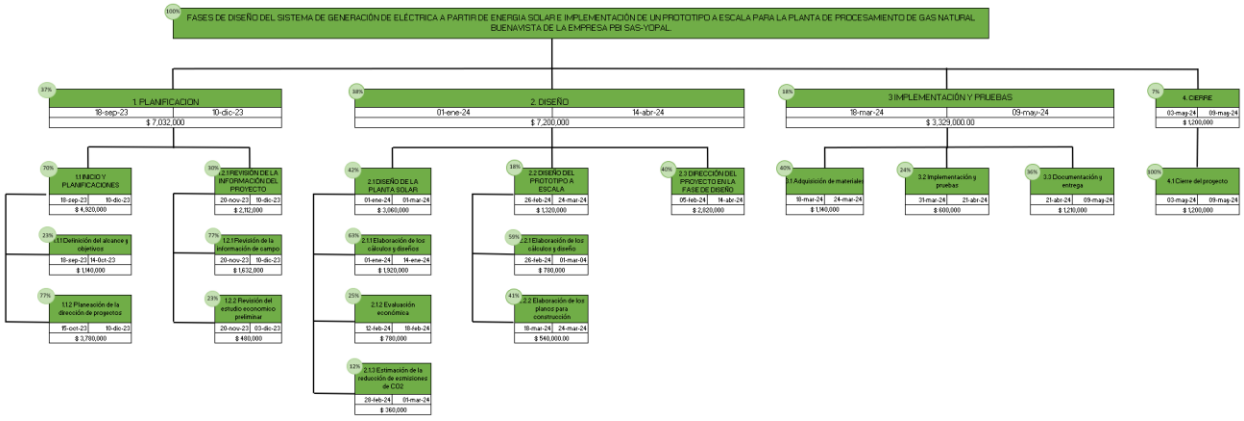
Plan de configuración: Se presenta un diagrama de barras verticales, donde se muestra la cantidad de documentos con cambios de versión, la cantidad de controles de cambios realizados, el total de cambios de línea base y el número de documentos actualizados de la planeación. Como se observa, se realizaron 8 cambios de versiones de documentos, dicha actualización de versiones se originó por modificaciones de forma en los documentos relacionados a los entregables del diseño de la Planta solar y por el avance en la implementación del prototipo de la planta solar, dicha modificación se realizó de acuerdo a las observaciones del jurado realizadas en el informe de seguimiento y control # 1 y # 2. Asimismo, se da la creación de 8 nuevos documentos entre ellos lecciones aprendidas solicitados por la universidad.



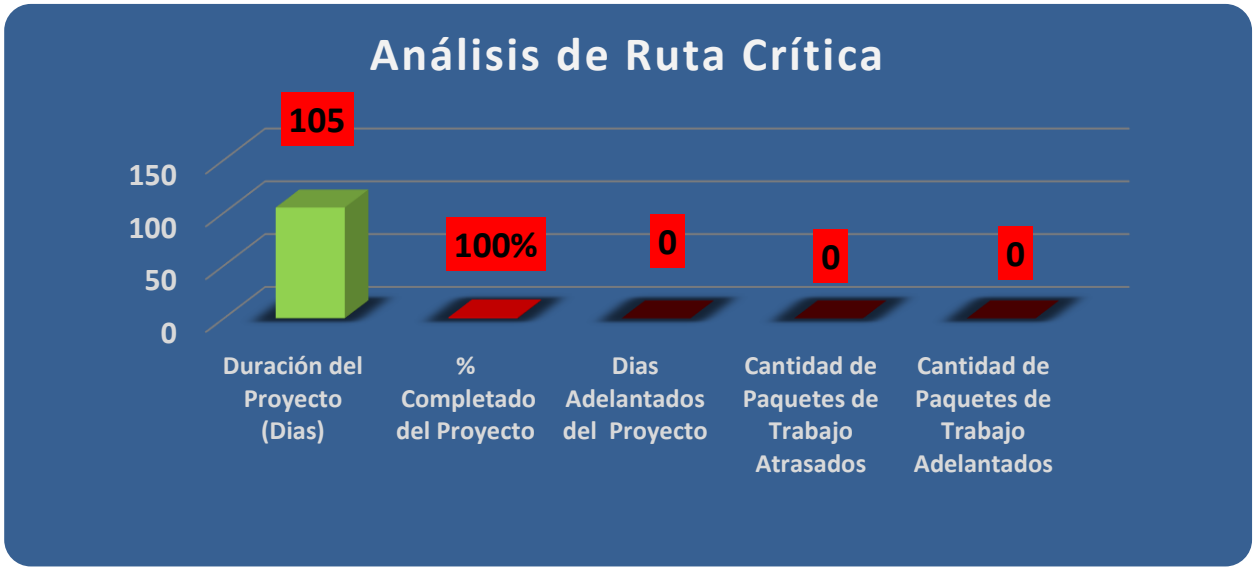
Alcance: Para el alcance, realizamos un diagrama de barras horizontales donde nos muestra el porcentaje de avance de los entregables del proyecto. Podemos observar, que tenemos al 100% todos los entregables que son: plan para la dirección del proyecto, prototipo a escala de la planta solar, proyección de la reducción de las emisiones de CO2, evaluación económica y diseño de la planta solar fotovoltaica.



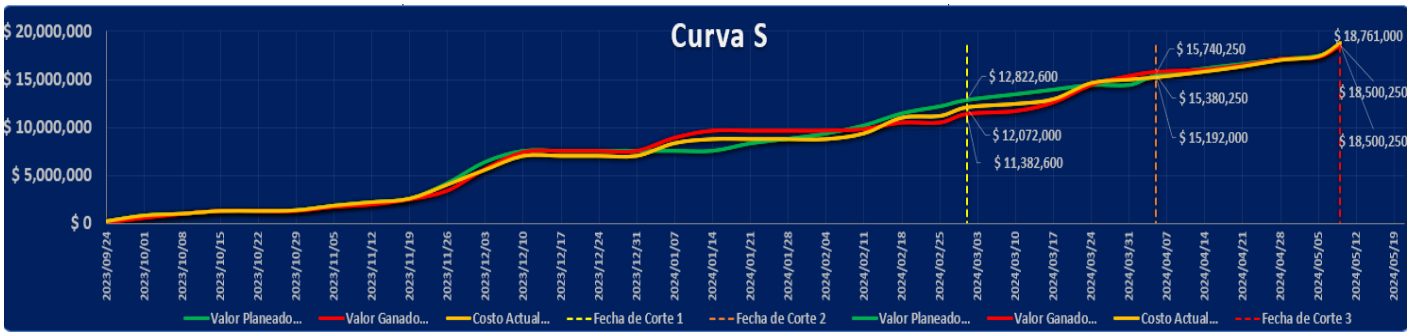
EDT: Finaliza la EDT del proyecto, dando como resultado el 100% de la ejecución de este. Se cumple con las fechas estipuladas en el cronograma. No siendo menos importante, se realiza el cambio solicitado y aprobado, dando como resultado el nuevo título del proyecto.

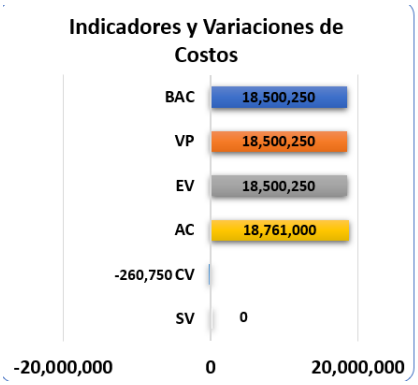


Cronograma: Para mantener el proyecto dentro de la línea base de tiempo, nos enfocamos en conservar el tiempo ganado hasta ahora para hacer frente a cualquier contratiempo que pudiera surgir y que afecte negativamente el cronograma del proyecto.

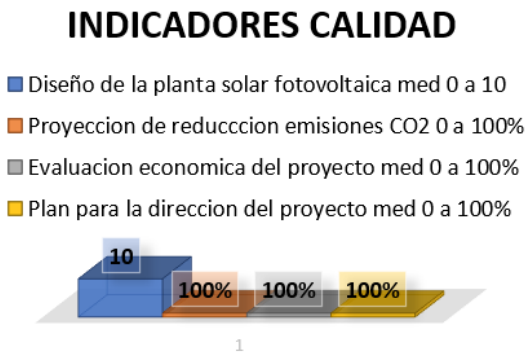


Costos: El proyecto demostró eficiencia en costos y cronograma, con un SPI de 1.0, indicando que el trabajo se está completando a la misma velocidad de planeado. Asimismo, el CPI de 0.99 revela que el proyecto se está sobre ejecutando de manera mínima. En resumen, el BAC es de $18,500,000 y el AC $18,761.000





Calidad: Los indicadores de calidad permanecieron al 100% durante todo el proyecto. Con el fin de garantizar este porcentaje, se permitió que todos los miembros del equipo hicieran la revisión del trabajo para identificar los posibles errores y áreas de mejora, así mismo se recopilaron comentarios y sugerencias del cliente para identificar oportunidades de mejora y asegurar que el producto cumpliera con sus expectativas.



Capítulo 5

CONCLUSIONES

Por medio de las simulaciones en Pvsyst y el análisis de los diferentes factores de la Planta Solar Buenavista se determinaron los componentes óptimos de la planta solar de 500 KWp requerida para reemplazar el sistema actual de generación eléctrica con motogeneradores a gas en la Planta de Gas Buenavista, de igual forma dicho estudio permitió identificar que la ubicación de los paneles solares, la radiación solar del sitio, las sombras, la inclinación y el azimut juegan un papel importante en el diseño de esta granja solar.

Los costos de instalación de la Planta Solar Buenavista son de aproximadamente 2.522.467.485 COP. Mediante el análisis financiero realizado para la instalación de esta planta solar, se obtuvo un VPN de 166.203.461 COP, una TIR de 8.1% y un periodo de recuperación de la inversión de 7.33 años (88 meses). Paralelamente se obtuvo que el costo del KWh con energía solar es de

507.3 COP/KWh inferior a los 514.3 COP/KWh del costo del KWh generados con los motogeneradores a gas proyectados a 7.4 años.

La elaboración e implementación del prototipo de la Planta Solar Buenavista permitió transmitir de una forma directa al Sponsor y demás interesados del proyecto el funcionamiento de los equipos seleccionados y el modo de generación de energía eléctrica de la Planta Solar Buenavista.

Con la implementación de la planta solar fotovoltaica en la Planta de Procesamiento de Gas Natural Buenavista se planea reducir anualmente entre 272 y 512 t CO2 de las 944 tCO2e que se emiten actualmente con los motogeneradores de electricidad a gas. La empresa PBI se alineará a la ruta de transición energética dispuesta por ley 2169 o ley de acción climática y contribuirá en el aprovechamiento de las energías renovables y en la conservación del medio ambiente.

Referencias

ONU. (2023). Paz, dignidad e igualdad en un planeta sano. https://www.un.org/es/global-issues/climate-change.

ONU. (2022). Acción por el clima COP27. https://www.un.org/es/climatechange/cop27.

Iberdrola (2023) Las principales cumbres climáticas: https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/acuerdos-internacionales-sobre-el-cambio-climatico.

Ley 2169 de 2021. Por medio de la cual se impulsa el desarrollo bajo en carbono del país mediante el establecimiento de metas y medidas mínimas en materia de carbono neutralidad y resiliencia climática y se dictan otras disposiciones. 22 de diciembre de 2021.

ODS. (ND). Objetivos de desarrollo sostenible. https://ods.dnp.gov.co/es/objetivos/accion-por-el-clima.

Oriol Planas. (2015). Panel fotovoltaico. Tipos, diseño, y características. Solar-Energia.net https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico.

Maka, A. “&”, Alabid, j. (2022). Solar energy technology and its roles in sustainable development.

Perpiñán, O. (2023). Energía Solar Fotovoltaica, 5-8.

Bosshard, P. (2006). An Assessment of Solar Energy Conversion Technologies and Research Opportunities. Standford university. Retrieved from Stanford.edu.

Puello, J. (2016). Instalaciones solares fotovoltaicas, 9.

Schmalensee et al., (2015). The Future of Solar Energy. Massachusetts Institute of Technology.

Grijalva et al., (2020). Estudio e implementación de un sistema solar fotovoltaico aplicado a luminarias: caso de estudio Unidad educativa Dr. Francisco Falquez Ampuero, 54-55.

Khamisani, A., (2023). Design Methodology of Off-Grid PV Solar Powered System.

Piebalgs, A. “&”, Potocnik, J. (2009). Photovoltaic Solar Energy, 24.

Alvarado, J. (2023). Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica aislada, 17-18.

Diego Alejandro Bernal barragán & Juan Felipe Ríos Torres & Álvaro Latorre Cabra. (2022). Estudio de implementación de paneles solares para la captación de energía solar en el suministro de energía para un cargadero de carrotanques en la transferencia de hidrocarburos. (trabajo de grado de especialización). Universidad de América. Repositorio institucional. https://hdl.handle.net/20.500.11839/8896.

Ley 1715 de 2014. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. 13 de mayo de 2014. D.O. No. 49150.

C.E. Salazar Vanegas. (2022). Diseño e implementación de sistemas solares fotovoltaicos a pequeña escala. (trabajo de grado). Universidad de Antioquia. Repositorio institucional. https://hdl.handle.net/10495/28965.

Ectricol. (2022). Proyectos. https://www.ectricol.com/project/primera-granja-de-energia-solar-en-casanare-colombia/.

Geopark. (2022). Sala de prensa. https://www.geo-park.com/es/news/el-bloque-llanos-34-operado-por-geopark-se-abastece-con-energia-100-renovable/.