



Gestión de la energía eléctrica y diseño de una propuesta renovable para una planta de cereales

John Camilo Sánchez Ortiz

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Electricista

Asesor

Jaime Alejandro Valencia Velásquez, Ingeniero electricista

Luis Felipe Piedrahita Correa, Ingeniero mecánico

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Eléctrica

Medellín, Antioquia, Colombia

2023

Cita	J.C. Sánchez Ortiz [1]
Referencia	[1] J.C. Sánchez Ortiz, “Gestión de la energía eléctrica y diseño de una propuesta renovable para una planta de cereales”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2023.
Estilo IEEE (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano: Julio César Saldarriaga Molina.

Jefe departamento: Noé Alejandro Mesa Quintero.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
I. INTRODUCCIÓN	11
II. OBJETIVOS	12
A. Objetivo general	12
B. Objetivos específicos	12
III. MARCO TEÓRICO	13
A. Generalidades	13
B. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE	14
C. Código Eléctrico Nacional – NTC 2050.....	14
D. Elementos de una instalación eléctrica.....	14
a. Acometida	14
b. Alimentador	14
c. Carga	14
d. Interruptor	14
e. Tablero de Protecciones	14
f. Transformador de corriente	15
g. Medición directa	15
h. Medición semidirecta.....	15
I. Medidor de energía.....	15
E. MARCO NORMATIVO SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	15
a. CREG 030 de 2018.	15
b. CREG 015 de 2018.	15
c. Ley 1715 de 2014.....	16

IV. METODOLOGÍA	17
A. PROYECTO 1- INTALACION DE MEDIDORES DE ENERGIA.	17
B. PROYECTO 2 – DISEÑO PRELIMINAR DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.	17
V. RESULTADOS Y ANALISIS	18
A. PROYECTO 1- INTALACION DE MEDIDORES DE ENERGIA.	18
a. Determinación de la carga instalada por zona.....	19
b. cálculo de los medidores de energía.	21
c. Cálculo de alimentadores.	25
d. Presupuesto preliminar.....	26
e. Construcción	27
B PROYECTO 2 – DISEÑO PRELIMINAR DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	32
a. Consumo energético de la compañía.....	32
b. Ubicación preliminar de las cadenas de paneles	33
c. Resultados y simulaciones	35
d. Datos técnicos equipos.....	41
e. Planos	43
f. Listado de materiales	47
VI. CONCLUSIONES	48
REFERENCIAS	49

LISTA DE TABLAS

TABLA I. ZONAS DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA	18
TABLA II. SISTEMA DE MEDICION A IMPLEMENTAR POR ZONA DE PRODUCCIÓN	21
TABLA III. CARACTERISTICAS NOMINALES DEL TC.....	23
TABLA IV. PRESUPUESTO PRELIMINAR	26
TABLA V. LISTADO DE MATERIALES Y PRESUPUESTO PRELIMINAR	47

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Cuadro de cargas zona de lavado y despulpado.....	19
Fig. 2. Cuadro de cargas zona de preparación.....	19
Fig. 3. Cuadro de cargas zona de multipista.	20
Fig. 4. Cuadro de cargas zona de cavas.....	20
Fig. 5. Cuadro de cargas zona de contenedores.	20
Fig. 6. Cuadro de cargas zona del túnel.	20
Fig. 7. Cuadro de cargas zona de la finamac.....	21
Fig. 8. Transformador de corriente núcleo cerrado.	22
Fig. 9. Medidor de medida directa.	22
Fig. 10. Esquema típico de medición directa.	23
Fig. 11. Esquema típico de medición semidirecta.....	24
Fig. 12. Especificaciones técnicas medidor semidirecto.	25
Fig. 13. Cuadro de cargas alimentadores por zona.	26
Fig. 14. Tablero zona de lavado y despulpado.....	27
Fig. 15. Cableado medidor de energía.....	28
Fig. 16. Ubicación final medidor de energía zona de preparación.....	29
Fig. 17. Tablero zona de la finamac.	30
Fig. 18. Medidor zona de la finamac.....	31
Fig. 19. Consumo energético de la compañía.	32
Fig. 20. Ubicación de la cadena de paneles.....	33
Fig. 21. Características del arreglo de paneles.	33
Fig. 22. Diagrama esquemático.....	34
Fig. 23. Rendimiento del sistema.	34
Fig. 24. Generación del sistema mes a mes.....	35
Fig. 25. Ubicación de los paneles en sentido norte.	36
Fig. 26. Degradación de los paneles en sentido norte.	36
Fig. 27. Ubicación de los paneles en sentido sur.	37
Fig. 28. Degradación de los paneles en sentido sur.	38

Fig. 29. Resultados sistema completo.	39
Fig. 30. Resultados de generación.	39
Fig. 31. Pronóstico de consumo.	40
Fig. 32. Utilización de la energía generada.	41
Fig. 33. Datos técnicos paneles fotovoltaicos de los paneles Tiger Neo JKM575N- 72HL4-(V).	41
Fig. 34. Datos técnicos inversor GW50KLV-MT.	42
Fig. 35. Esquema eléctrico.	43
Fig. 36. Plano del conjunto.	44
Fig. 37. Plano de acotación.	45
Fig. 38. Plano de líneas.	46

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

RETIE	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas
NTC	Código Eléctrico Colombiano
TC	Transformador de corriente
UPME	Unidad de Planeación Minero-Energética
EPM	Empresas Públicas de Medellín
HSP	Hora solar pico
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
SSFV	Sistema solar fotovoltaico
AGPE	Autogenerador a pequeña escala

RESUMEN

En la actualidad, la creciente preocupación por el cambio climático ha impulsado la aceleración de la implementación de energías renovables en todo el mundo. La empresa Cereales Selecta no es ajena a esta problemática y ya está planificando su transición energética con el objetivo de reducir los costos operativos de sus plantas. Busca convertirse en una empresa autosostenible y acceder a los beneficios tributarios que el gobierno otorga por la adopción de este tipo de sistemas.

Por tal razón, surge la idea de contemplar varios proyectos de gestión, generación y calidad de la energía, entre los que se destaca la implementación de medidores de energía en cada una de las zonas de producción de la planta para tener un correcto control del consumo energético.

Paralelamente, la empresa decide desarrollar un sistema fotovoltaico que alimente gran parte de la energía consumida para sus procesos productivos, cumpliendo con las diferentes normas establecidas por la CREG y con estándares de calidad propios para una empresa de alimentos.

Palabras clave — **Medidores de energía, transformador de corriente, sistema fotovoltaico, alimentadores, protecciones, paneles solares, CREG, UPME, AGPE.**

ABSTRACT

Currently, the growing concern about climate change has driven the accelerated implementation of renewable energies worldwide. Cereales Selecta is not oblivious to this issue and is already planning its energy transition with the aim of reducing the operational costs of its plants. The company seeks to become self-sustainable and access the tax benefits provided by the government for adopting such systems.

For this reason, the idea arises to consider various projects related to energy management, generation, and quality. One standout project involves the installation of energy meters in each production zone of the plant to ensure proper control of energy consumption.

Simultaneously, the company decides to develop a photovoltaic system that will supply a significant portion of the energy consumed in its production processes, complying with the different standards established by the CREG and maintaining quality standards suitable for a food company.

Keywords — **Energy meters, photovoltaic system, feeders, protections, solar panels, CREG, UPME, AGPE.**

I. INTRODUCCIÓN

La gestión energética en una empresa es de vital importancia. Un estudio adecuado de esta permite tener ahorros significativos en las cuentas de servicios, lograr un uso racional de la energía e incluso minimizar costos en infraestructuras electromecánicas.

En este contexto, se busca implementar 2 proyectos con desarrollo paralelo, con el primero se busca tener un control en la energía consumida por zona productiva en la planta y, con estos resultados, tomar acciones para la optimización de procesos. Además, se pretende establecer una base presupuestaria para los costos indirectos que representa para la empresa cada uno de estos.

Para llevar a cabo este proceso, se busca instalar medidores de energía en cada zona productiva y, por lo tanto, es fundamental realizar una caracterización detallada de cada uno de los equipos involucrados en cada etapa. Para lograrlo, es necesario crear un cuadro de cargas que relacione todas las variables eléctricas, lo que permitirá obtener una estimación parcial de las cargas más representativas. A continuación, es importante identificar los equipos más relevantes y que se utilicen de manera continua, con el objetivo de evitar el sobredimensionamiento de los medidores de energía

Para el segundo proyecto, se partió de la idea de que el avance vertiginoso de las energías renovables en Colombia está generando un crecimiento constante en su adopción. Esto ha generado una demanda en el mercado y ha introducido un novedoso enfoque desde la perspectiva del consumidor. Ahora, el consumidor ya no se limita a recibir energía eléctrica de la red, sino que también tiene la capacidad de inyectarla según sus requerimientos. A esta transformación se le denomina 'consumidor productor' o 'prosumidor' [1].

Por tal motivo, se toma la iniciativa de que la compañía adopte un sistema autosostenible que supla todas sus necesidades energéticas. Se toma la decisión de optar por un sistema fotovoltaico, ya que la planta cuenta con un techo con un área disponible para el montaje del sistema, además de las facilidades en construcción, mantenimiento, seguimiento y, en general, poner a punto este tipo de energía renovable.

En consecuencia, es necesario aplicar todas las fases de ingeniería (conceptual, básica y de detalle) que son necesarias para poder desarrollar un proyecto de esta envergadura.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Realizar e implementar un modelo de gestión de la energía eléctrica en la planta. Apoyado en las energías alternativas y el correcto uso de las mismas, conforme a la normatividad vigente del operador de red, RETIE, NTC 2050 y la CREG.

B. Objetivos específicos

- Realizar estudio de gestión de la energía en la planta.
- Hacer ruta metodológica para el uso eficaz y racional de la energía en la planta.
- Diseño de nuevos alimentadores para la integración de las zonas productivas con sus respectivos medidores de energía
- Propuesta óptima para la integración con las energías renovables (sistema solar fotovoltaico).

III. MARCO TEÓRICO

A. Generalidades

En Colombia las instalaciones eléctricas están reguladas por el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) [2] y la norma técnica colombiana (NTC 2050) [3].

El RETIE tiene como objetivo principal preservar la integridad de los seres vivos (personas, animales y vida vegetal) por lo que es de obligatorio cumplimiento en nuestro país.

En el artículo 10, “*Requerimientos generales de las instalaciones eléctricas*”, tiene varios requerimientos de necesario cumplimiento al momento de hacer un diseño de una instalación eléctrica. Entre ellos están:

- Análisis y cuadros de cargas iniciales y futuras.
- Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico.
- Análisis del nivel de tensión requerido.
- Cálculo de transformadores.
- Elaboración de diagramas unifilares.
- Elaboración de planos y esquemas eléctricos para construcción
- Cálculos de regulación [3].

Para el proyecto de gestión de la energía mediante medidores nos apoyaremos en los cuadros de carga presente y/o futuros, en el dimensionamiento eléctrico y finalmente en el análisis de riesgo eléctrico.

En cuanto al sistema fotovoltaico Dentro del contexto normativo en Colombia, resulta relevante resaltar la significativa influencia de la CREG 030 de 2018 y la Ley 1715 de 2014. Estos elementos revisten gran importancia para asegurar la ejecución exitosa de un Sistema de Suministro de Energía Fotovoltaica (SSFV). Dichas normativas establecen los criterios esenciales para la conexión de Autogeneradores de Pequeña Potencia (AGPE) al Sistema Interconectado Nacional (SIN), así como las subvenciones arancelarias y los beneficios tributarios a los que pueden acceder los AGPE [1].

B. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE

Este documento, de carácter nacional, debe ser cumplido obligatoriamente en todo el territorio nacional, siempre que los sistemas eléctricos operen en condiciones normales. El alcance específico se detalla en el anexo técnico adjunto al reglamento. En dicho anexo se encuentran los parámetros esenciales que deben considerarse al diseñar, construir, mantener o modificar una instalación eléctrica en Colombia, con el objetivo de garantizar la máxima seguridad en dichas operaciones [2].

C. Código Eléctrico Nacional – NTC 2050

Esta norma técnica, que está vigente en Colombia desde 1998, tiene sus raíces en una traducción del Código Eléctrico de los Estados Unidos de Norteamérica, también conocido como NEC-NFPA. Se trata de una normativa que se desarrolla mediante el análisis llevado a cabo por un equipo de profesionales y expertos en el ámbito eléctrico, con el objetivo de implementarla en el territorio nacional [3].

D. Elementos de una instalación eléctrica

a. Acometida

La acometida constituye la porción de la instalación eléctrica encargada de conducir la energía desde la fuente de suministro hasta el punto de consumo. En otras palabras, se trata del conjunto de elementos que establece la conexión entre la red eléctrica de distribución y una vivienda, edificio o local comercial donde se requiere el suministro eléctrico [2].

b. Alimentador

Conductor que transporta la energía eléctrica desde una fuente de suministro, como una subestación, hacia los usuarios finales o cargas [2].

c. Carga

La carga se refiere a la potencia eléctrica necesaria para el funcionamiento de uno o varios dispositivos eléctricos, o bien, la potencia que transporta un circuito específico [2].

d. Interruptor

Un interruptor es un dispositivo diseñado para abrir, cerrar o conmutar la conexión de un circuito. Su operación es manual y su función principal es el control, no la protección [2].

e. Tablero de Protecciones

El tablero de protecciones es un gabinete metálico ubicado dentro de la infraestructura, que alberga elementos destinados a la protección, distribución y control de la corriente eléctrica [2].

f. Transformador de corriente

Es un dispositivo eléctrico diseñado para medir corrientes eléctricas de alta intensidad al convertirlas en corrientes más manejables y seguras. Su función principal es reducir proporcionalmente la corriente primaria, permitiendo así la medición precisa mediante instrumentos de medida estándar, sin exponerlos a corrientes elevadas [2].

g. Medición directa

Se refiere al proceso de cuantificar la intensidad de la corriente en un circuito mediante la conexión directa de un instrumento de medición, como un amperímetro o una pinza amperimétrica, al conductor por el cual fluye la corriente [2].

h. Medición semidirecta

Es un método que combina características de la medición directa e indirecta. En este enfoque, se utiliza un instrumento de medición que permite obtener datos de corriente sin interrumpir directamente el circuito. El instrumento más común para la medición indirecta es el transformador de corriente [2].

I. Medidor de energía

Es un dispositivo utilizado para cuantificar la cantidad de energía eléctrica consumida en un sistema o instalación [2].

E. MARCO NORMATIVO SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Dentro del contexto normativo colombiano, es relevante resaltar la trascendencia de la CREG 030 de 2018 y la Ley 1715 de 2014. Estas normativas desempeñan un papel fundamental en la adecuada implementación de un Sistema de Generación para Fuentes No Convencionales de Energía (SSFV). Específicamente, delinean los parámetros que rigen la conexión de un Generador de Pequeña Escala (AGPE) al Sistema Interconectado Nacional (SIN) y detallan las subvenciones arancelarias y beneficios tributarios a los que pueden acceder los AGPE.

a. CREG 030 de 2018.

La resolución CREG 030 de 2018 tiene como objeto la regulación de los aspectos operativos y comerciales a los cuales están sujetos los AGPE O GD que se conecten al SIN [4].

b. CREG 015 de 2018.

La Resolución CREG 015 de 2018 tiene como finalidad establecer la metodología que rige la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el Sistema Interconectado

Nacional (SIN). Esta normativa define los criterios para la utilización de los diferentes niveles de tensión y también especifica las condiciones bajo las cuales los operadores de red pueden destinar recursos a la modernización y mejora de la infraestructura de la red eléctrica [5].

c. Ley 1715 de 2014.

La Ley 1715 de 2014 tiene como objetivo promover el desarrollo y la adopción de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) en el sistema eléctrico nacional. Su propósito abarca la integración de estas fuentes al mercado eléctrico, fomentando su utilización en zonas no interconectadas (ZNI), entre otras aplicaciones. Además, busca emplear estas energías como un mecanismo para impulsar un desarrollo económico sostenible, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y garantizar la seguridad en el suministro energético mediante la diversificación de la matriz energética nacional [6].

IV. METODOLOGÍA

A continuación, se plantean las actividades a cumplir durante la ejecución de los proyectos.

A. PROYECTO 1- INTALACION DE MEDIDORES DE ENERGIA.

- Actividad 1: Realizar un recorrido preliminar por la planta para identificar las diversas zonas de producción y elaborar una lista detallada de todos los equipos. Durante este proceso, verificar las placas de características de los motores y llevar a cabo la caracterización de sus variables eléctricas.
- Actividad 2: Tomar mediciones experimentales de corriente eléctrica para establecer la demanda máxima en un determinado momento. A continuación, clasificar de manera más correcta los equipos que siempre están operando en el proceso.
- Actividad 3: Realizar los cuadros de carga respectivos, seleccionar conforme a la demanda máxima de corriente los medidores, ya sea de medición directa o semidirecta. Para el caso de medición semidirecta, seleccionar los transformadores de corriente respectivos. Finalmente, dimensionar el resto de la infraestructura eléctrica (alimentadores, protecciones, tableros, etc.).
- Actividad 4: Ajustes y correcciones finales en la ubicación espacial de los tableros y medidores para finalmente poner en marcha el proyecto.

B. PROYECTO 2 – DISEÑO PRELIMINAR DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

- Actividad 1: Identificar la ubicación óptima para llevar a cabo el montaje del proyecto. Una vez seleccionada la ubicación adecuada, se procederá a realizar los diseños correspondientes y a evaluar si cumple con los requerimientos energéticos necesarios para abastecer la planta.
- Actividad 2: Reajustar la ubicación del proyecto hasta alcanzar la suficiencia energética propuesta.
- Actividad 3: Con la ubicación definida que cumple con los criterios de suficiencia energética, se llevará a cabo un diseño detallado en conformidad con las normativas vigentes. Se realizarán estudios de prefactibilidad, factibilidad y análisis de retorno de inversión.
- Actividad 4: Iniciar la ejecución del proyecto, contratando personal especializado y estableciendo un proceso de supervisión para garantizar que todo transcurra según lo planificado.

V. RESULTADOS Y ANALISIS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de cada una de las actividades llevadas a cabo en el desarrollo de los proyectos, con el fin de alcanzar y cumplir los objetivos establecidos.

A. PROYECTO 1- INTALACION DE MEDIDORES DE ENERGIA.

Realizando un recorrido preliminar por la zona de producción de la edificación, se logra identificar diversas áreas de proceso donde se lleva a cabo la transformación de materias primas hasta alcanzar el producto final. De este análisis surge la necesidad de mantener un registro independiente de los consumos energéticos en cada una de estas áreas. Esto no solo facilita la estimación de los costos directos asociados a la elaboración en cada etapa del proceso productivo de un determinado producto, sino que también, al implementar equipos de medición, permite tomar medidas para tomar acciones que involucren un uso más racional y eficiente de la energía.

Seguido a esto, se clasifican varias zonas de producción:

TABLA I.
ZONAS DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA

NIVEL(PISO)	LOCACION	ZONA DE PRODUCCION
2	Secos	Preparacion
1	Humedos	Lavado y despulpado
1	Humedos	Multipista
1	Secos	Finamac
1	Humedos	Tunel de enfriamiento
1	Humedos	Contenedores

En la Tabla I, se presenta la clasificación de cada zona de producción. Esta clasificación se llevó a cabo considerando el nivel que ocupa dentro de la edificación industrial, la ubicación (ya sea en áreas húmedas o secas) y, por último, la nomenclatura propia de la planta.

a. Determinación de la carga instalada por zona

Una vez identificadas las zonas de producción, se procede a determinar la carga instalada de cada zona con el fin de calcular variables relevantes como corrientes y tensión. Al tener estos datos definidos, es posible seleccionar el medidor más adecuado

Seguidamente se procede hacer los cuadros de carga respectivos con todas las variables de cada zona.

CUADRO CARGAS ZONA LAVADO Y PROCESO DESPULPADO							
EQUIPO	CABALLOS DE FUERZA (HP)	FACTOR DE POTENCIA(FP)	FRECUENCIA(HZ)	POTENCIA(VA)	TENSION(V)	CORRIENTE(A)	
DESPULPADOR	15	0,9	60	16000	220	61,9905	
REFINADORA	5	0,9	60	3730	220	14,4515	
ESCALDADOR	3	0,9	60	2238	220	8,6709	
BANDA SELECCIÓN	2	0,9	60	1492	220	5,7806	
TANQUE PRELAVADO	3	0,9	60	2238	220	8,6709	
ELEVADORA DE SERVICIO	4	0,9	60	2984	220	11,5612	
ELEVADORA DE FRUTA	2	0,9	60	1492	220	5,7806	
COMPRESOR	22	0,9	60	16412	220	63,5868	
BANDA TRANSFERENCIA	7	0,9	60	5222	220	20,2322	
PICADORA	3	0,9	60	2238	220	8,6709	
REFINADORA	5	0,9	60	3730	220	14,4515	
BANDAS DESECHO	2	0,9	60	1492	220	5,7806	
BOMBA	2	0,9	60	1492	220	5,7806	
BANDA ALIMENTACION 1	2	0,9	60	1492	220	5,7806	
BANDA ALIMENTACION 2	2	0,9	60	1492	220	5,7806	
EXPRIMIDORA	14	0,9	60	15000	220	58,1161	
				POTENCIA TOTAL(VA)	78744	CORRIENTE TOTAL DE LA ZONA	305,0863

Fig. 1. Cuadro de cargas zona de lavado y despulpado.

CUADRO DE CARGAS ZONA DE PREPARACION							
EQUIPO	CABALLOS DE FUERZA HP	FACTOR DE POTENCIA(FP)	FRECUENCIA(HZ)	POTENCIA(VA)	TENSION (V)	CORRIENTE(A)	
TANQUE 1	2	0,9	60	1492	220	3,9156	
TANQUE 2	2	0,9	60	1492	220	3,9156	
NISSER 1	5	0,9	60	3730	220	9,7890	
BOMBA 1	3	0,9	60	2238	220	5,8734	
LUCUADORA 1	4	0,9	60	2984	220	7,8312	
LUCUADORA 2	2	0,9	60	1492	220	3,9156	
NISSER 2	5	0,9	60	3730	220	9,7890	
BOMBA 2	3	0,9	60	2238	220	5,8734	
TANQUE 3	2	0,9	60	1492	220	3,9156	
TANQUE 4	2	0,9	60	1492	220	3,9156	
				POTENCIA TOTAL(VA)	22380	CORRIENTE TOTAL DE LA ZONA	58,7340

Fig. 2. Cuadro de cargas zona de preparación.

CUADRO DE CARGAS ZONA DE MULTIPISTA						
EQUIPO	CABALLOS DE FUERZA HP	FACTOR DE POTENCIA(FP)	FRECUENCIA(HZ)	POTENCIA(VA)	TENSION (V)	CORRIENTE(A)
EMPACADORA 1	N/A	0,9	60	3000	220	7,8732
EMPACADORA 2	N/A	0,9	60	5000	220	13,1220
MORTOR DE BANDA	1	0,9	60	746	220	1,9578
				POTENCIA TOTAL(VA)		CORRIENTE TOTAL DE LA ZONA
				8746		22,9530

Fig. 3. Cuadro de cargas zona de multipista.

CUADRO DE CARGAS ZONA DE CAVAS						
EQUIPO	CABALLOS DE FUERZA HP	FACTOR DE POTENCIA(FP)	FRECUENCIA(HZ)	POTENCIA(VA)	TENSION (V)	CORRIENTE(A)
COMPRESOR 1	22	0,85	60	22800	220	59,8362
COMPRESOR 2	22	0,85	60	22800	220	59,8362
COMPRESOR 3	15	0,85	60	16000	220	41,9903
COMPRESOR 4	15	0,8	60	16000	220	41,9903
CAVA 1	6	0,8	60	6000	220	15,7464
CAVA 2	6	0,8	60	6000	220	15,7464
CAVA 3	6	0,8	60	6000	220	15,7464
CAVA 4	6	0,8	60	6000	220	15,7464
				POTENCIA TOTAL(VA)		CORRIENTE TOTAL DE LA ZONA
				101600		266,6387

Fig. 4. Cuadro de cargas zona de cavas.

CUADRO DE CARGAS ZONA DE CONTENEDORES						
EQUIPO	CABALLOS DE FUERZA HP	FACTOR DE POTENCIA(FP)	FRECUENCIA(HZ)	POTENCIA(VA)	TENSION (V)	CORRIENTE(A)
CONTENEDOR 1	2	0,9	60	1492	220	3,9156
CONTENEDOR 2	2	0,9	60	1492	220	3,9156
CONTENEDOR 3	2	0,9	60	1492	220	3,9156
				POTENCIA TOTAL(VA)		CORRIENTE TOTAL DE LA ZONA
				4476		11,7468

Fig. 5. Cuadro de cargas zona de contenedores.

CUADRO DE CARGAS ZONA TUNEL						
EQUIPO	CABALLOS DE FUERZA HP	FACTOR DE POTENCIA(FP)	FRECUENCIA(HZ)	POTENCIA(VA)	TENSION (V)	CORRIENTE(A)
COMPRESOR PPAL	35	0,85	60	35000	220	91,8539
EVAPORADORES(1-8)	8	0,85	60	13000	220	34,1172
VENTILADORES(1-8)	12,5	0,85	60	13500	220	35,4294
				POTENCIA TOTAL(VA)		CORRIENTE TOTAL DE LA ZONA
				61500		161,4004

Fig. 6. Cuadro de cargas zona del túnel.

CUADRO DE CARGAS ZONA DE FINAMAC						
EQUIPO	CABALLOS DE FUERZA HP	FACTOR DE POTENCIA(FP)	FRECUENCIA(HZ)	POTENCIA(VA)	TENSION (V)	CORRIENTE(A)
BOMBA (TANQUES)	3	0,9	60	3825	220	10,0383
TANQUE 1 , MOTOR 1	1	0,9	60	746	220	1,9578
TANQUE 1 , MOTOR 2	2	0,9	60	1675	220	4,3959
TANQUE 2 , MOTOR 1	1	0,9	60	746	220	1,9578
TANQUE 2 , MOTOR 2	2	0,9	60	1675	220	4,3959
LICUADORA	2	0,9	60	1492	220	3,9156
TORRE DE ENFRIAMIENTO	N/A	0,9	60	2450	220	6,4298
PACK 5000 P	N/A	0,9	60	1900	220	4,9864
DOSIFICADOR DE RELLENO	N/A	0,9	60	5800	220	15,2215
POPLINE	N/A	0,9	60	26000	220	68,2343
			POTENCIA TOTAL(VA)	46309	CORRIENTE TOTAL DE LA ZONA	121,5332

Fig. 7. Cuadro de cargas zona de la finamac.

En las Figuras 1 a 7, se observan los cuadros de carga de cada zona con sus respectivas variables. Se determinan corrientes máximas y tensiones de operación. La cargabilidad se expresa con un factor de demanda al 100%, ya que no se dispone de un equipo analizador de redes para la determinación de la demanda máxima. Por lo tanto, ante la incertidumbre, es necesario realizar los cálculos de alimentadores, transformadores de instrumentación, etc., con la carga instalada neta de los equipos de cada zona.

b. cálculo de los medidores de energía.

Para hacer el calculo de los medidores, primero se determina si la medición va ser de forma directa o semidirecta. Debido a que las zonas de producción tienen cargas distintas, es necesario optar por ambos sistemas de medición.

TABLA II.
SISTEMA DE MEDICION A IMPLEMENTAR POR ZONA DE PRODUCCIÓN

ZONA DE PRODUCCION	CORRIENTE MAXIMA	SISTEMA DE MEDICION
Preparación	58,73399118	Directo
Lavado y despulpado	305,0863218	semidirecta
Multipista	22,95297082	Directo
Finamac	121,5331724	semidirecta
Túnel de enfriamiento	161,4003779	semidirecta
Contenedores	11,74679824	Directo

Posteriormente, se calculan los transformadores de corriente óptimos para el sistema de medición semidirecto. Se seleccionan transformadores de corriente del tipo núcleo cerrado y se realiza el cálculo de su respectivo burden nominal.

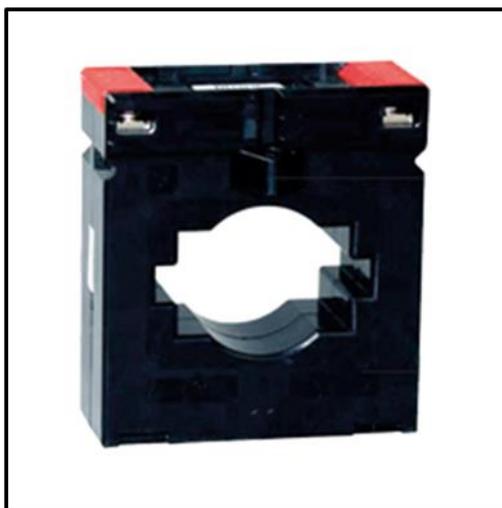


Fig. 8. Transformador de corriente núcleo cerrado.



Fig. 9. Medidor de medida directa.

En las figuras 8 y 9 se observa la ilustración grafica de cómo es el transformador de corriente del tipo núcleo cerrado y un medidor eléctrico convencional.

TABLA III.
CARACTERISTICAS NOMINALES DEL TC

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE	
TIPO DE CLASE	0,5
CORRIENTE PRIMARIA	300
CORRIENTE SECUNDARIA	5
BURDEN NOMINAL	2,5 VA

Nota 1: Se decide instalar TCs de 300 amperios nominales, ya que se estima una ampliación de equipos en la planta. Por lo tanto, un incremento adicional de carga con un transformador de menor capacidad generaría saturación e incongruencias en la medición.

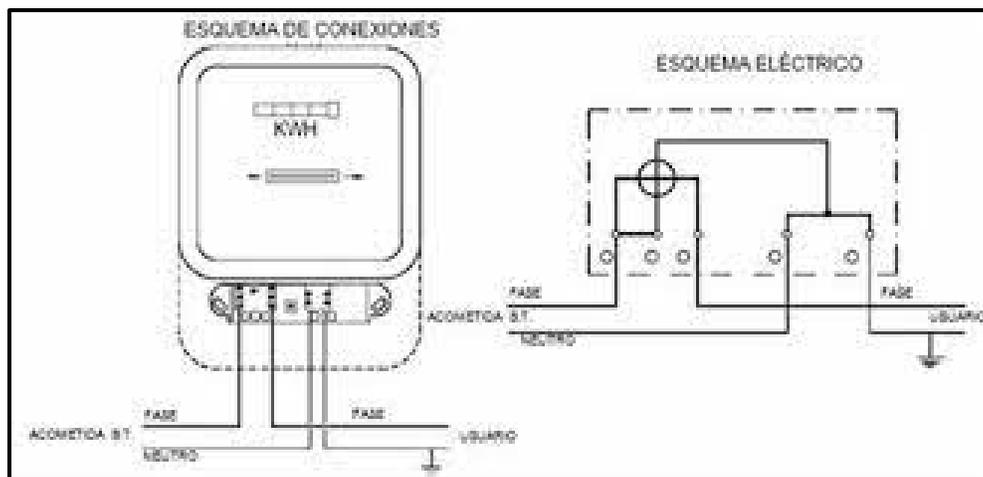


Fig. 10. Esquema típico de medición directa.

En la Figura 10, se aprecia un esquema típico de conexión de un alimentador o acometida, pasando por el medidor de energía para llegar posteriormente a la carga que se requiere tener censada de consumo. Este medidor tiene una clase de precisión de 0.5.

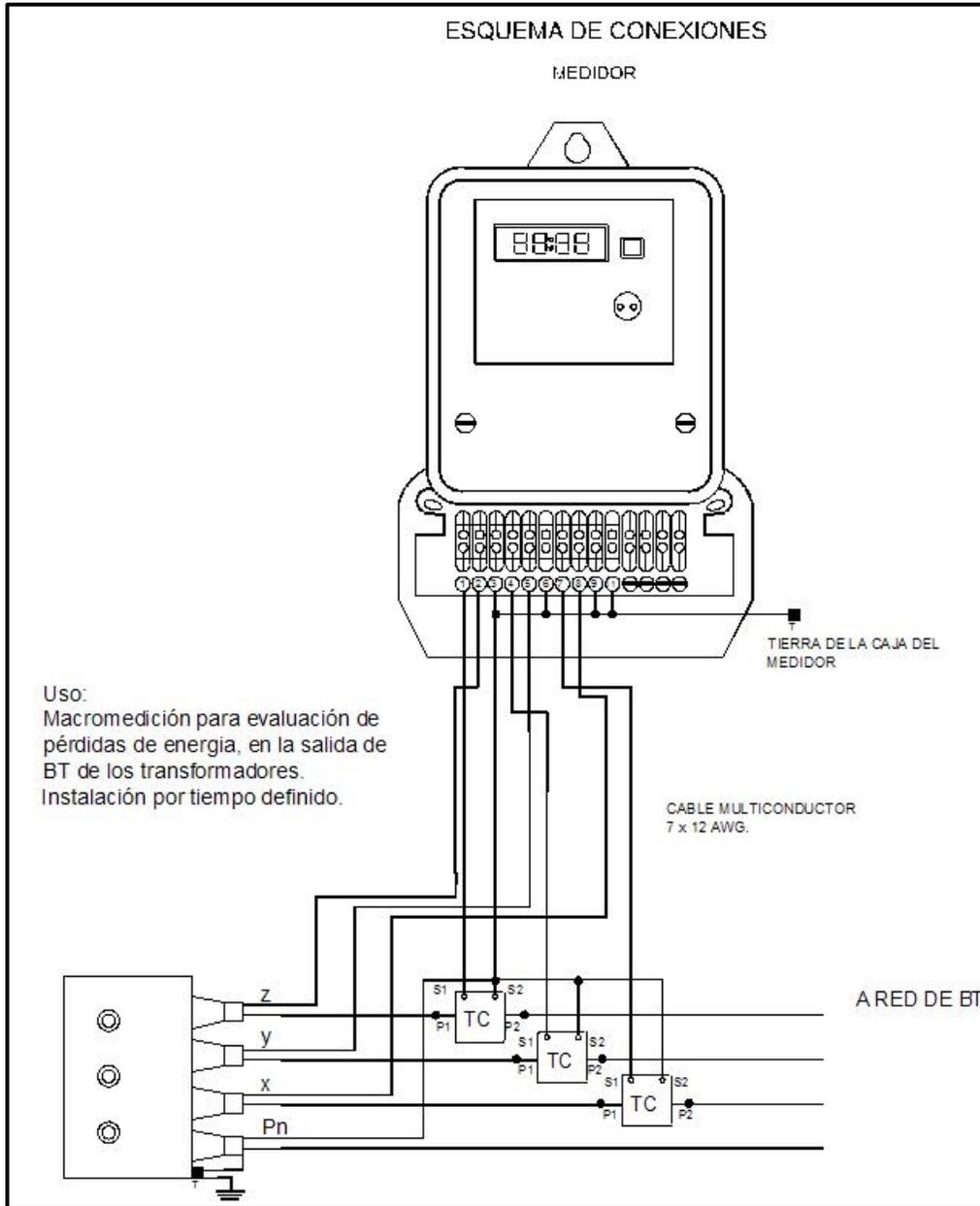


Fig. 11. Esquema típico de medición semidirecta.

El esquema de la Figura 11 representa la conexión que se debe realizar para un sistema de medida semidirecto. Este sistema consta de tres TCs que transforman la corriente nominal a valores que pueden ser tolerados por el medidor de energía. El medidor en cuestión tiene una clase de precisión de 0.5, lo que lo hace óptimo para aplicaciones de medida.

Precisión	Energía Activa 0.2 % (IEC 62053-22) 0.5 % (IEC 62053-22) 1.0 % (IEC 62053-21)	Energía Reactiva 2.0 % (IEC62053-23) La precisión actual es mejor al 0.5 %
Corriente máxima	Continua a 10 A Temporal (0.5 segundos) al 2000 % de la corriente máxima del medidor	
Corriente nominal	1 (10) A	5 (120) A
Corriente de arranque	Conexión Indirecta (por CT's) 1mA	Conexión Directa <40 mA ($I_{r=5}$ A)
Tensión máxima	Continuo hasta 528 VAC	
Rango de tensión	Rango Nominal 58 V a 415 V	Rango de Operación 46 V a 528 V
Frecuencia	Nominal: 50 Hz ó 60 Hz \pm 5 %	
Rango de temperatura	-40 °C a +85 °C en el interior de la cubierta del medidor -40 °C a +60 °C en el exterior	
Rango de humedad	0 % a 100 % no condensado	
Consumo de la fuente de poder	Menor a 3 W	
Voltaje transiente	Prueba Desarrollada Oscilatorio (IEC 61000-4-12) Transiente rápido (IEC 61000-4-4) Prueba de Voltaje de Impulso (IEC 60060-1) Prueba de Aislación AC	Resultados 2.5 kV, 60 seg 4 kV 12 kV @ 1.2/50 μ s, \geq 450 Ω (8 kV con las tarjetas opcionales) 4kV, 50 Hz por 1 minuto
Precisión del reloj interno	Mejor que 0.5 segundos/día (mientras esté energizado)	
Comunicaciones	Puerto Óptico Protocolos del Puerto Óptico	Los componentes físicos cumplen las normas IEC 62056-21 ó ANSI C12.18
	Puertos Seriales Protocolos del Puerto Serial	
	1200 bps a 28,800 bps ANSI C12.18 y C12.19	
	1200 bps a 19,200 bps ANSI C12.21 y C12.19	

Fig. 12. Especificaciones técnicas medidor semidirecto.

c. Cálculo de alimentadores.

Para la instalación de los diferentes equipos de medición, es necesario implementar nuevos gabinetes de distribución, ya que el espacio en los gabinetes antiguos resulta insuficiente. En estos tableros recién instalados se encuentran ubicados los circuitos ramales con sus respectivas protecciones, así como los equipos de medición asignados a cada zona, junto con los barramientos de tierra y neutro según corresponda. Por lo tanto, se requiere diseñar y calcular nuevos alimentadores que cumplan con las normas y regulaciones establecidas por el RETIE.

Los correspondientes alimentadores se calcularán utilizando conductores de cobre rígido y serán soportados mediante canastillas del tipo escalera, debidamente equipotencializadas. El

cálculo respectivo contemplará regulaciones por debajo del 2%, cumpliendo con la normativa vigente.

ALIMENTADORES POR ZONA											
ZONA DE PRODUCCION	POTENCIA (VA)	FACTOR DE POTENCIA (FP)	FACTOR DE SIMULTANEIDAD	POTENCIA DIVERSIFICADA(VA)	CORRIENTE (A)	PROTECCION(A)	CALIBRE FASES (AWG)	CALIBRE NEUTRO (AWG)	CALIBRE TIERRA (AWG)	DISTANCIA	%REGULACION
LAVADO Y DESPULPADO	120752	0,8	1	120752	316,8918168	3*400	2 x N°4/0	2 x N°2/0	1 x N°2	20	0,6
PREPARACION	38092	0,8	1	38092	99,96557479	3*150	1 x N°1/0	1 x N°2	1 x N°6	50	1,57
MULTIPISTA	10673	0,8	1	10673	28,00936101	3*40	1 x N°4	1 x N°6	1 x N°10	120	2,94
FINAMAC	51541	0,8	1	51541	135,2600465	3*200	1 x N°2/0	1 x N°1/0	1 x N°6	63	2,32
CAVAS	113860	0,8	1	113860	298,8050075	3*350	2 x N°4/0	2 x N°2/0	1 x N°4	35	1,1
CONTENEDORES	8130	0,8	1	8130	21,33571677	3*30	1 x N°8	1 x N°10	1 x N°10	80	2,88
TUNEL	68484	0,8	1	68484	179,7238902	3*250	1 x N°4/0	1 x N°2/0	1 x N°6	25	0,86
TOTAL	411532			411532	1079,991414						

Fig. 13. Cuadro de cargas alimentadores por zona.

En la Figura 13, se visualiza el cuadro de cargas correspondiente a cada alimentador. En este cuadro, se detallan las protecciones, calibres y distancias que abarca cada conductor. Las distancias cumplen perfectamente con la regulación exigida por la normativa vigente.

d. Presupuesto preliminar

TABLA IV.
PRESUPUESTO PRELIMINAR

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE 300/5A CLASE 0.5	9	\$ 86.132,00	\$ 775.188,00
2	CONDUCTOR 4/0 AWG CU	150	\$ 69.132,00	\$ 10.369.800,00
3	CONDUCTOR 2/0 AWG CU	200	\$ 44.650,00	\$ 8.930.000,00
4	CONDUCTOR 1/0 AWG CU	250	\$ 36.000,00	\$ 9.000.000,00
5	CONDUCTOR 8 AWG CU	120	\$ 6.050,00	\$ 726.000,00
6	MEDIDORES MEDIDA DIRECTA	3	\$ 370.000,00	\$ 1.110.000,00
7	MEDIDORES MEDIDA DIRECTA	3	\$ 420.000,00	\$ 1.260.000,00
8	GABINETE DE 25 CIRCUITOS	1	\$ 5.000.000,00	\$ 5.000.000,00
			TOTAL BRUTO	\$ 37.170.988,00

En la Tabla IV, se realiza una estimación preliminar de las cantidades necesarias de material para llevar a cabo la instalación. El resto de los materiales se encuentra disponible en el stock de la

compañía. Por lo tanto, para optimizar los recursos, no se contempla la instalación de nuevos materiales, ya que los existentes son suficientes para llevar a cabo el proyecto. Estos materiales cumplen con los certificados de conformidad RETIE y tienen un ciclo de vida adecuado para satisfacer las exigencias de un proyecto de esta magnitud.

e. Construcción

Antes de iniciar la ejecución de las obras correspondientes, se procede a la ubicación de los tableros de distribución en cada zona, junto con las respectivas protecciones situadas en los barrajes principales.

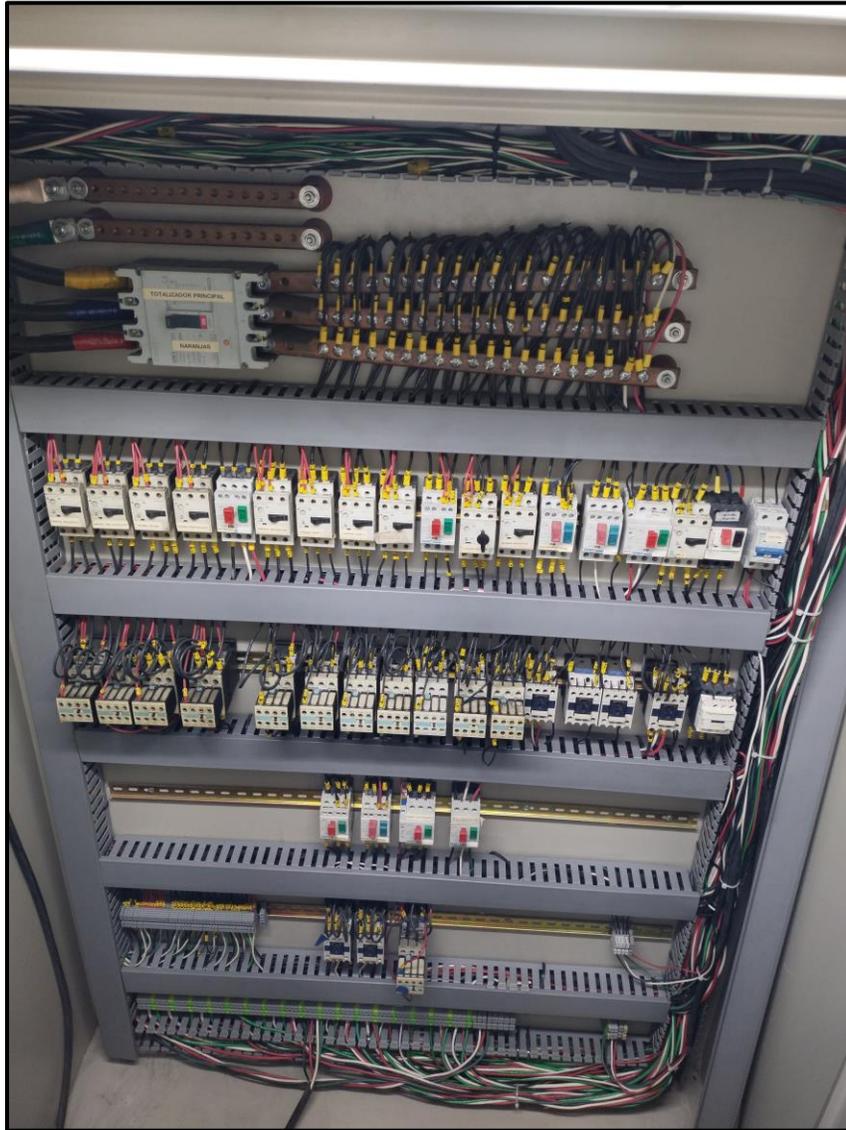


Fig. 14. Tablero zona de lavado y despulpado.

En la Figura 14, se muestra la disposición de dispositivos de maniobra y protección en la zona de lavado y despulpado. En esta representación, se destaca la nueva instalación del gabinete junto con su cableado. La necesidad de reubicar este gabinete surgió debido a que en su ubicación original, el espacio disponible no era suficiente para la instalación de los circuitos de mando y protección, además de la implementación del medidor de energía.



Fig. 15. Cableado medidor de energía.

En la Figura 15, se presenta el procedimiento de tendido del cableado necesario para alimentar los transformadores de corriente y medidores respectivos, tanto para medición directa como para medición semidirecta. Se ha optado por utilizar conductores encauchetados de calibre #12 AWG debido a su fácil instalación a través de los ductos y su ocupación de espacio reducido.



Fig. 16. Ubicación final medidor de energía zona de preparación.

En esta figura, se aprecia la instalación del tablero que albergará el medidor de energía de la zona de preparación. Dado que esta área está expuesta a cantidades significativas de líquidos, se

ha tomado la decisión de colocar el medidor dentro de un gabinete. Esto se hace con el propósito de prevenir posibles efectos de corrosión y desgaste en las partes móviles. El gabinete, de dimensiones reducidas, está destinado únicamente para alojar el equipo de medición, sin incluir protecciones para otros equipos. La elección de este gabinete se basa, además, en su disponibilidad en el inventario de la compañía, contribuyendo así a la reducción de costos en el proyecto mediante el reciclaje de este tablero para su función como contenedor del equipo de medición.



Fig. 17. Tablero zona de la finamac.

En la Figura 17, se muestra el montaje tipo interior para la zona de la finamac. Este tablero ha sido reciclado de los tableros disponibles en el stock de la empresa. En la imagen, se observa la instalación del medidor de medida semidirecta junto con sus circuitos correspondientes.

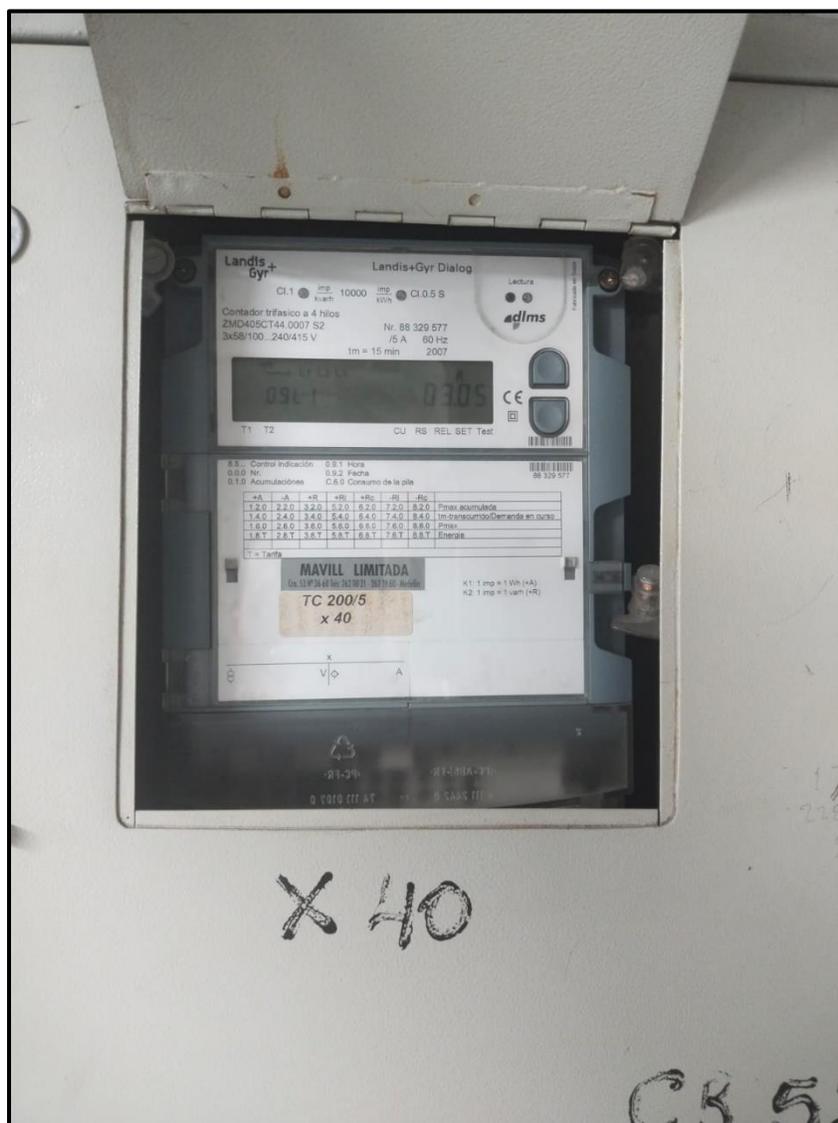


Fig. 18. Medidor zona de la finamac.

En la figura 18, se observa el medidor para esta zona puesto a punto y en funcionamiento normal.

B PROYECTO 2 – DISEÑO PRELIMINAR DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

El proyecto del sistema fotovoltaico comienza con un análisis exhaustivo del consumo energético de la planta. Este paso es crucial para determinar el sistema más óptimo en términos de generación y consumo de energía. La meta es lograr un equilibrio eficiente donde la compañía consuma toda la energía que produce, sin exportar nada a la red. Al alcanzar esta característica de diseño, la empresa estaría en camino de librar rápidamente la inversión de capital, cumpliendo así con los incentivos tipo 2 establecidos por la normativa UPME.

Una vez que se han establecido claramente los niveles de generación necesarios, el siguiente paso es la ubicación óptima del sistema de paneles solares. Para lograr esto, se utiliza un software especializado(PV*SOL) que simplifica los cálculos de irradiancia y optimiza la disposición de los paneles solares. Este enfoque contribuye significativamente a maximizar la eficiencia del sistema al aprovechar al máximo la luz solar disponible.

En resumen, el proceso implica no solo entender y equilibrar el consumo y la generación de energía, sino también utilizar herramientas tecnológicas avanzadas para asegurar la ubicación más eficiente de los paneles solares. Este enfoque integral no solo beneficia económicamente a la empresa, sino que también cumple con los estándares regulatorios establecidos para los proyectos de energía renovable.

a. Consumo energético de la compañía



Fig. 19. Consumo energético de la compañía.

En la figura 19, se observa el consumo de electricidad en la planta, cuyo promedio se encuentra entre 70,000 y 80,000 kWh. Por lo tanto, es necesario diseñar el sistema para satisfacer esta cantidad de energía.

b. Ubicación preliminar de las cadenas de paneles



Fig. 20. Ubicación de la cadena de paneles.

Datos climáticos	SELECTA 2 PLANTA DE BEBIDAS PVGIS, COL (2005 - 2015)
Fuente de los valores	PVGIS-NSRDB/ERA5
Potencia generador FV	144,9 kWp
Superficie generador FV	651,0 m ²
Número de módulos FV	252
Número de inversores	2

Fig. 21. Características del arreglo de paneles.

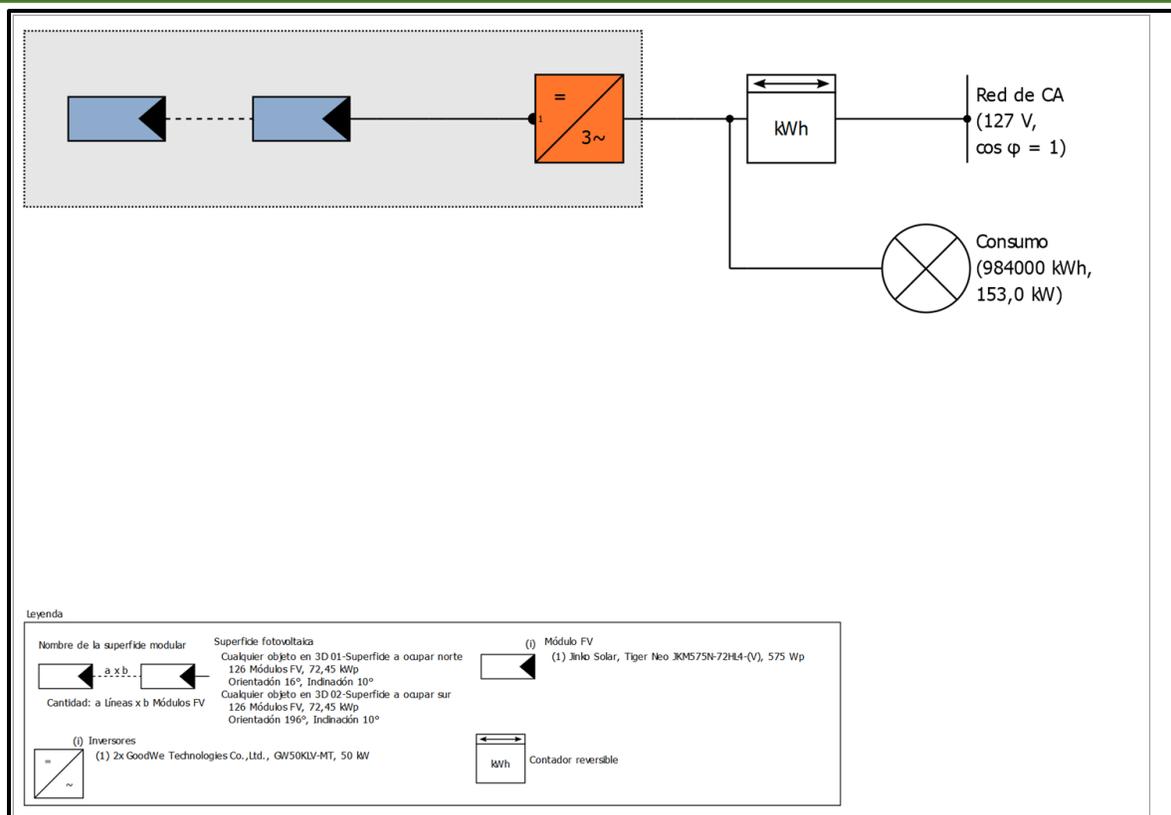


Fig. 22. Diagrama esquemático.

En la figura 22, se presenta el diagrama esquemático de la instalación. En este diagrama, se puede apreciar el inversor con la conexión de paneles solares, el contador bidireccional de energía y la carga representada en el sistema.

Pronóstico rendim.	
Potencia generador FV	144,90 kWp
Rendimiento anual espec.	1.361,04 kWh/kWp
Coefficiente de rendimiento de la instalación (PR)	76,42 %
Reducción de rendimiento por sombreado	0,0 %
Energía de generador FV (Red CA)	197.255 kWh/Año
Consumo propio	197.255 kWh/Año
Limitación en el punto de inyección	0 kWh/Año
Inyección en la red	0 kWh/Año
Proporción de consumo propio	100,0 %
Emissiones de CO₂ evitadas	99.396 kg / año
Grado de autarquía	20,0 %

Fig. 23. Rendimiento del sistema.

Como se puede apreciar en la figura 23, el rendimiento de este sistema satisface las necesidades energéticas de la planta, consumiendo toda la energía generada y sin inyectar energía a la red. La eficiencia del sistema es notablemente alta debido a la calidad de sus componentes.

Al consumir toda la energía generada, la empresa automáticamente puede acceder a beneficios tributarios significativos por parte de las autoridades gubernamentales, sin dejar de considerar el subsidio proporcionado por el gobierno nacional para la ejecución del proyecto, ya sea a través de financiamiento con recursos propios o mediante crédito o leasing financiero.

c. Resultados y simulaciones

Para evaluar la efectividad del diseño del sistema, es necesario realizar pruebas de suficiencia energética. Se evalúa la generación promedio que proporciona el conjunto mes a mes, se llevan a cabo simulaciones con los paneles solares y se realizan algunas pruebas de eficiencia del convertidor.

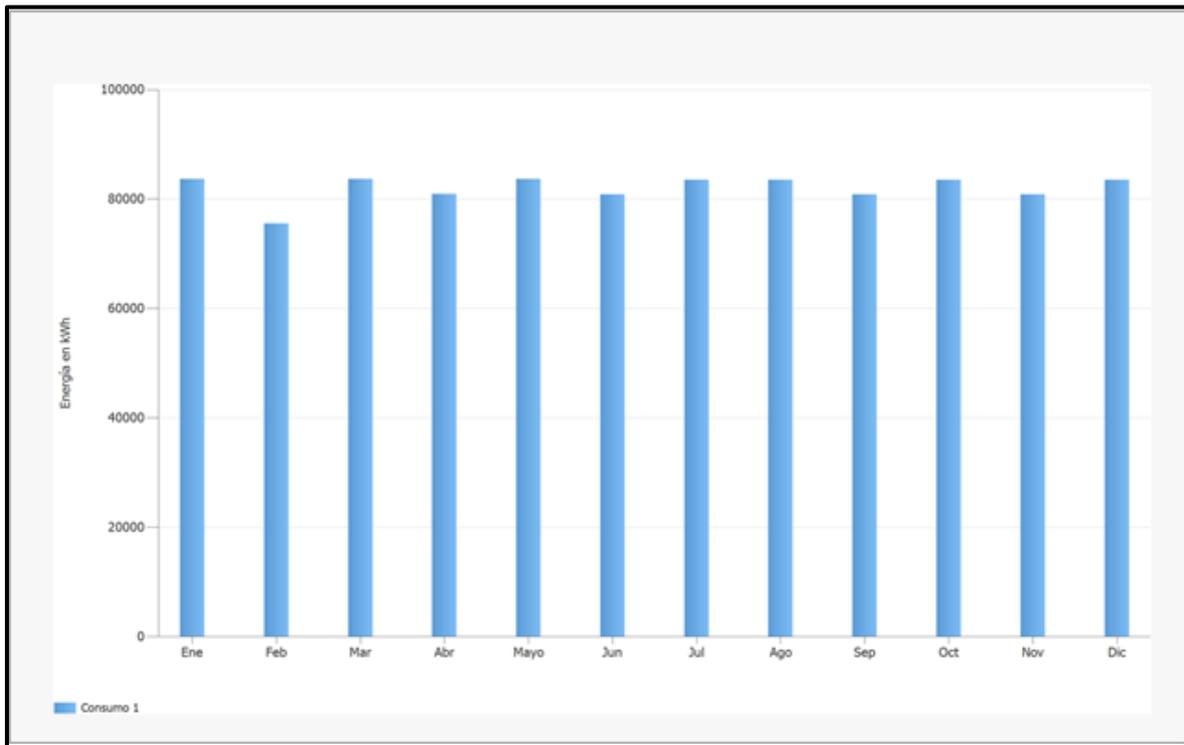


Fig. 24. Generación del sistema mes a mes.

En la figura 24, se muestra la producción prevista de energía mes a mes por el sistema fotovoltaico. Esta producción varía de acuerdo con la irradiancia de cada mes, es decir, las horas

netas de sol que el sistema pueda recibir. Esto también está vinculado a las condiciones ambientales que puedan prevalecer en los diferentes meses del año.

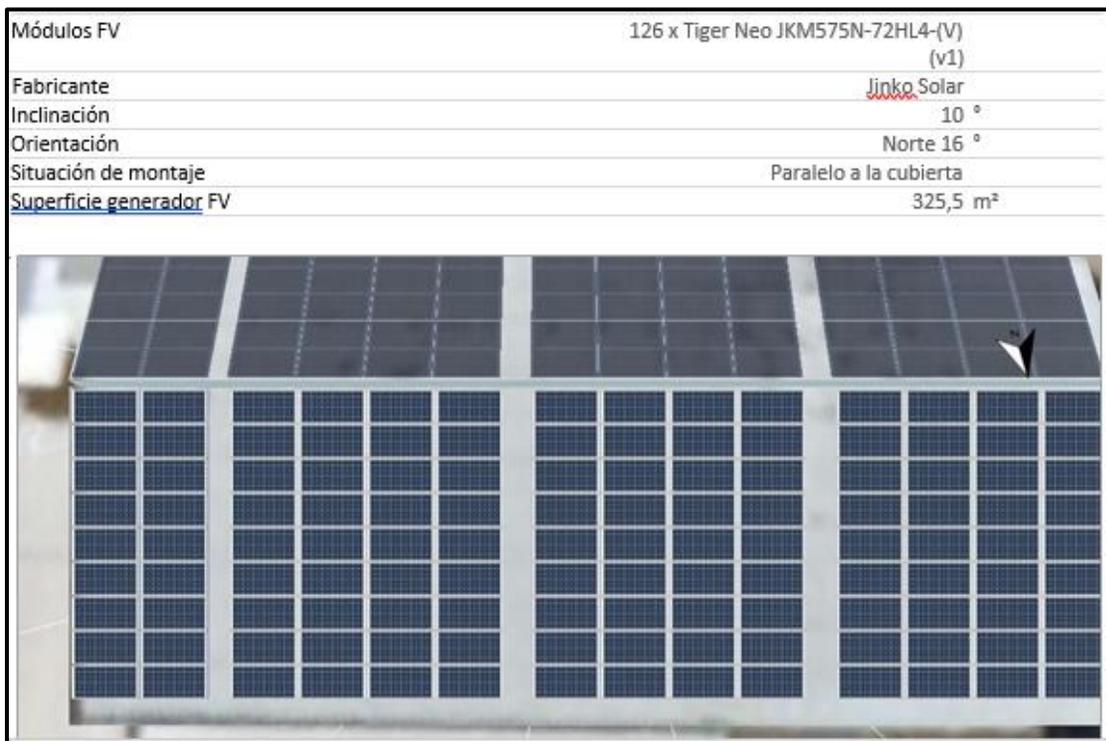


Fig. 25. Ubicación de los paneles en sentido norte.

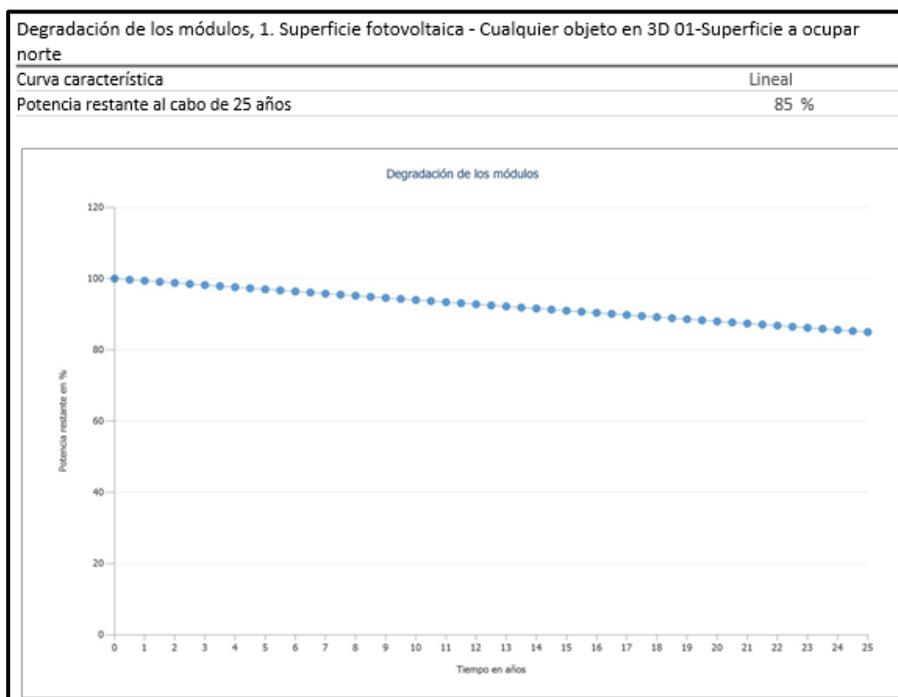


Fig. 26. Degradación de los paneles en sentido norte.

En las (Fig. 25) y (Fig. 26) se presentan las simulaciones al colocar una cadena de paneles en dirección hacia el norte. El propósito de estas simulaciones es verificar la vida útil de los paneles bajo una irradiancia desde el norte. Como se puede observar en la (Fig. 26), la potencia generada por los paneles permanece al 100% de su capacidad durante los primeros años para luego disminuir, alcanzando valores máximos del 85% al 90% de su capacidad nominal.

Por lo tanto, podemos concluir que el sistema es capaz de satisfacer las necesidades energéticas de la compañía durante aproximadamente 25 años sin necesidad de cambiar los paneles solares. Esto, siempre y cuando se programen mantenimientos periódicos y se sigan las recomendaciones al pie de la letra.



Fig. 27. Ubicación de los paneles en sentido sur.

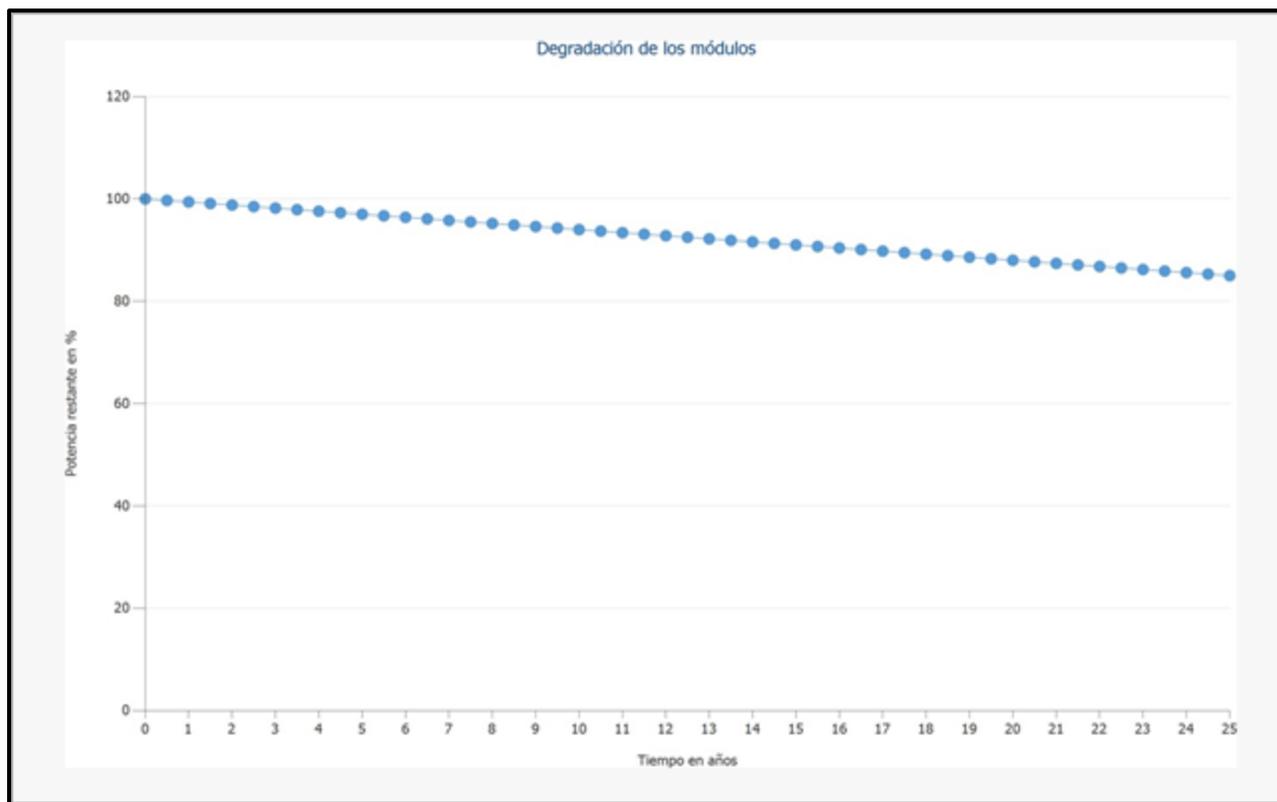


Fig. 28. Degradación de los paneles en sentido sur.

Al igual que en el caso anterior, se realizaron simulaciones de degradación en las (Fig. 27) y (Fig. 28) con respecto a la orientación hacia el sur. Los resultados obtenidos son similares, tal como se muestra en la (Fig. 28). En consecuencia, el sistema cumple con el suministro energético en ambas cadenas de paneles.

Instalación FV	
Potencia generador FV	144,90 kWp
Rendimiento anual espec.	1.361,04 kWh/kWp
Coefficiente de rendimiento de la instalación (PR)	76,42 %
Reducción de rendimiento por sombreado	0,0 %
Energía de generador FV (Red CA)	
Consumo propio	197.255 kWh/Año
Limitación en el punto de inyección	0 kWh/Año
Inyección en la red	0 kWh/Año
Proporción de consumo propio	100,0 %
Emisiones de CO ₂ evitadas	99.396 kg / año
Consumidores	
Consumidores	984.000 kWh/Año
Consumo Standby (Inversores)	40 kWh/Año
Consumo total	984.040 kWh/Año
cubierto mediante energía fotovoltaica	197.255 kWh/Año
cubierto mediante red	786.785 kWh/Año
Fracción de cobertura solar	20,0 %

Fig. 29. Resultados sistema completo.



Fig. 30. Resultados de generación.

En las (Fig. 29) y (Fig. 30), se ilustran los resultados totales de las variables de interés, como la energía generada y la energía consumida. Esta simulación tiene en cuenta factores como la degradación de los paneles y los inversores. También se considera la inyección a la red, que, en este caso y como condición inicial de diseño, debe ser cero. Por lo tanto, toda la energía generada será para autoconsumo.

Este sistema renovable contribuye significativamente a la reducción de emisiones al ambiente, evitando la emisión de 99396 kg/año de dióxido de carbono. De esta manera, instalaciones de este tipo son esenciales para combatir el cambio climático. La notable disminución de emisiones netas puede hacer que la empresa sea elegible para reducciones fiscales por parte de las autoridades ambientales.

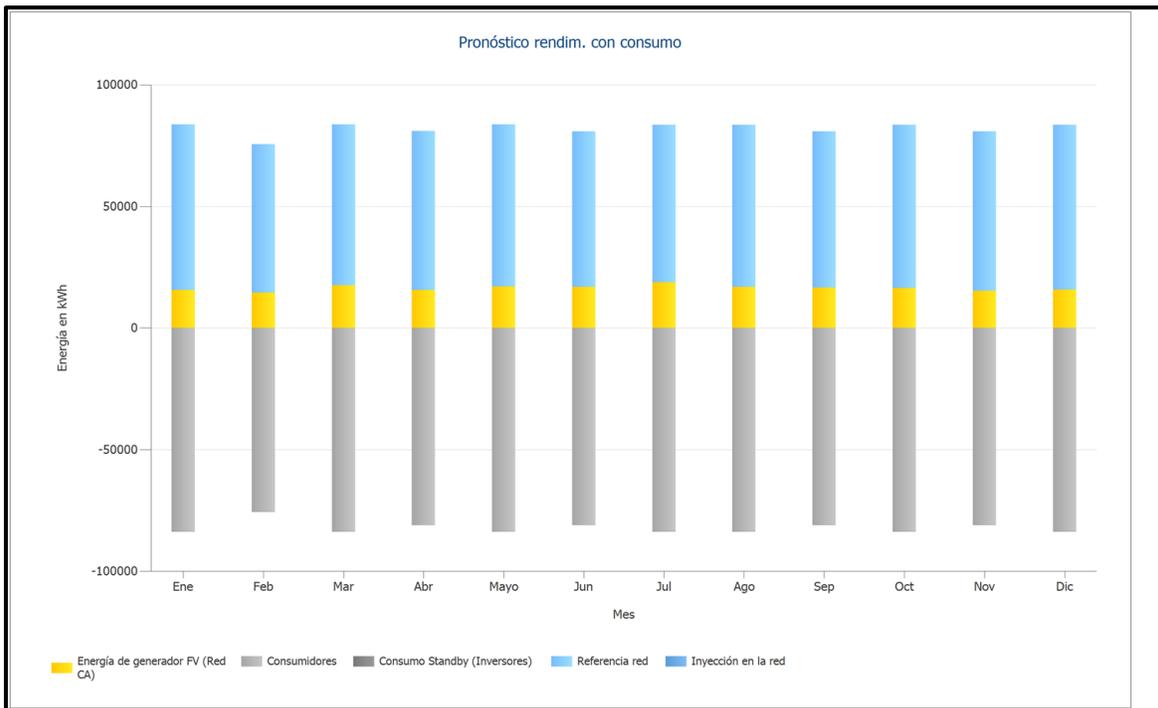


Fig. 31. Pronóstico de consumo.

En la Figura 31, se observa el rendimiento del sistema en relación con el consumo de la planta. Además, se compara la generación del sistema con la energía proporcionada por la red eléctrica pública.

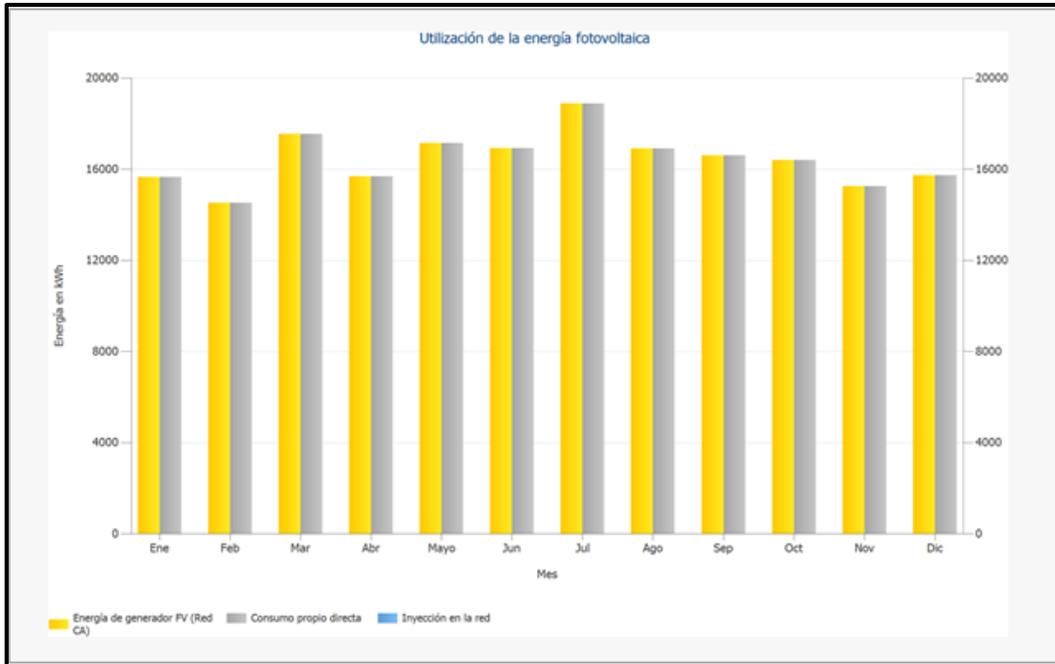


Fig. 32. Utilización de la energía generada.

En la Figura 32, se puede observar la efectividad de la energía generada en la planta mes a mes. Se mantiene un equilibrio a lo largo del año, con picos de generación en los meses más cálidos. Se evidencia una vez más que la generación del sistema es totalmente consumida por la planta.

d. Datos técnicos equipos

Datos eléctricos	
Tipo de célula	Si monocristalino
Módulo de media celda	Sí
Número de células	72
Número de diodos de bypass	3
Caída de voltaje por diodo de derivación	1 V
Optimizador de potencia integrado	No
Sólo apto para transf. inversor	No
Caract. U/I- STC	
Tensión en MPP	42,22 V
Corriente en MPP	13,62 A
Tens. circ. abierto	50,88 V
Corriente de cortocircuito	14,39 A
Aumento tensión de circuito abierto antes de estabil.	0 %
Potencia nominal	575 W
Factor de forma	78,54 %
Eficiencia	22,26 %
Características U/I con carga parcial	
Fuente de los valores	Fabricante/propios
Irradiación	200 W/m ²
Tensión en el MPP con carga parcial	41,666 V
Corriente en el MPP con carga parcial	2,748 A
Tens. circ. abierto con carga parcial	47,931 V
Corriente de cortocircuito con carga parcial	2,878 A

Fig. 33. Datos técnicos paneles fotovoltaicos de los paneles Tiger Neo JKM575N- 72HL4-(V).

Datos eléctricos - CC	
Potencia nominal DC	50 kW
Potencia DC máx.	90 kW
Tensión nominal DC	370 V
Tensión máxima de entrada	800 V
Corriente máx. de entrada	176 A
Corriente máxima de cortocircuito	176 A
Número de entradas DC	16
Datos eléctricos - CA	
Potencia <u>nom.</u> CA	50 kW
Potencia AC máx.	55 <u>kVA</u>
Tensión nominal en corriente alterna	120 V
Número de fases	3
Con <u>transf.</u>	No
Datos eléctricos - Otro	
Modificación del grado de <u>rend.</u> en caso de desviación de la tensión de entrada de la tensión nominal	0,2 %/100V
Mín. Potencia introducida	0,02 W
Consumo <u>Standby</u>	20 W
Consumo nocturno	1 W
Seguidor MPP	
Rango de potencia < 20% de la potencia nominal	99,77 %
Rango de potencia > 20% de la potencia nominal	99,85 %
Número de seguidores MPP	4
Seguidor MPP 1-4	
Corriente máx. de entrada	44 A
Corriente máxima de cortocircuito	44 A
Potencia de entrada máx.	28,6 kW
Tensión MPP mín.	200 V
Tensión MPP máx.	650 V

Fig. 34. Datos técnicos inversor GW50KLV-MT.

En las (Fig. 33) y (Fig. 34), se presentan los datos técnicos de los componentes principales para la ejecución del proyecto. Las marcas seleccionadas son de gama media, ofreciendo una calidad-precio competitiva. Estas tecnologías son fundamentales para sistemas fotovoltaicos de alta exigencia.

La elección de estos proveedores se basa en su recomendación por parte del contratista a cargo de la construcción, puesta a punto y mantenimiento continuo del sistema. Durante las pruebas de generación, eficiencia y durabilidad realizadas a través del software, los componentes mencionados superaron ampliamente los objetivos establecidos.

Desde el punto de vista económico, tanto los paneles como los inversores son de marcas chinas, ofreciendo un precio accesible para la compañía. Esto se alinea

perfectamente con el presupuesto asignado para el proyecto, satisfaciendo las necesidades específicas de la empresa.

e. Planos

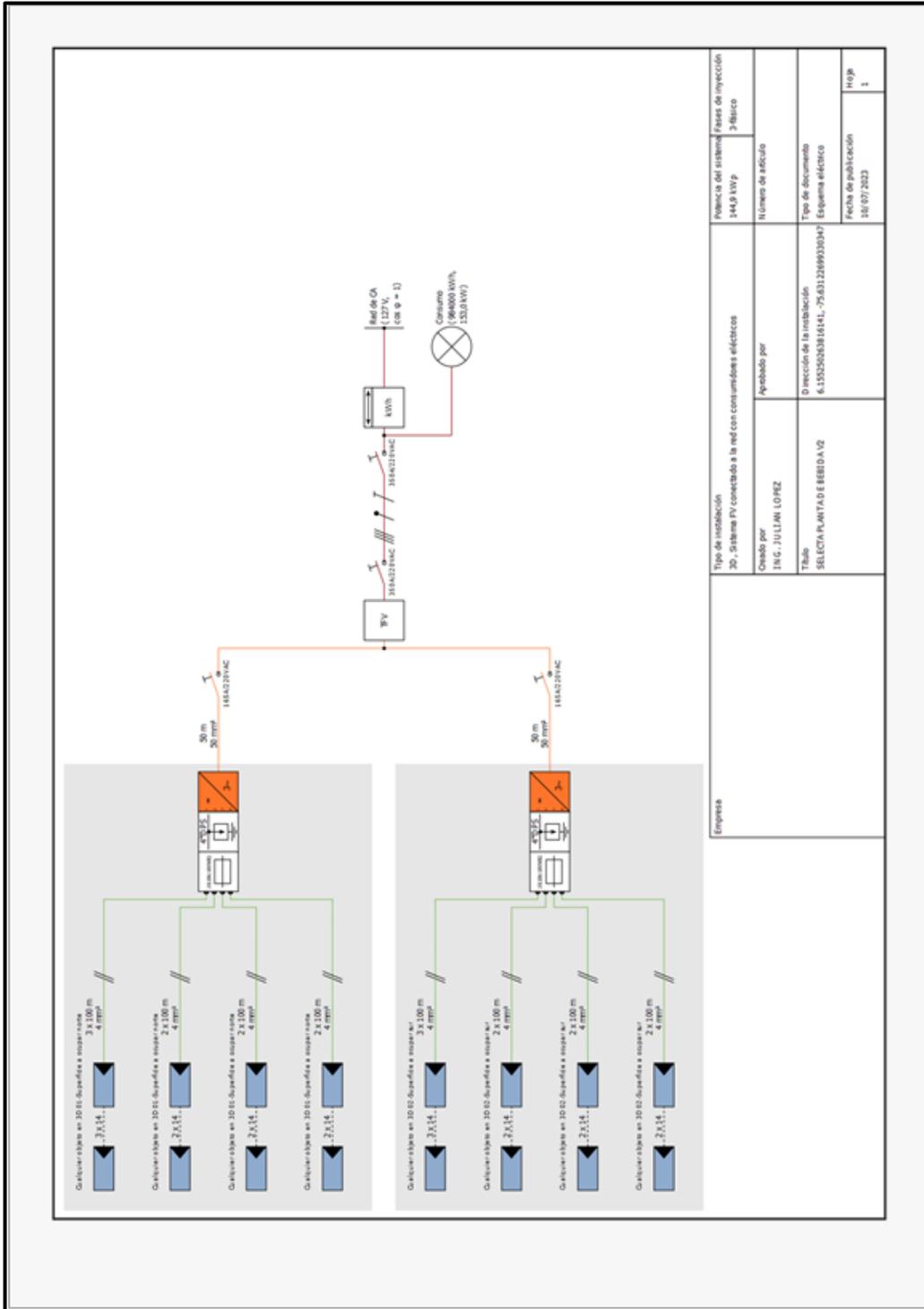


Fig. 35. Esquema eléctrico.

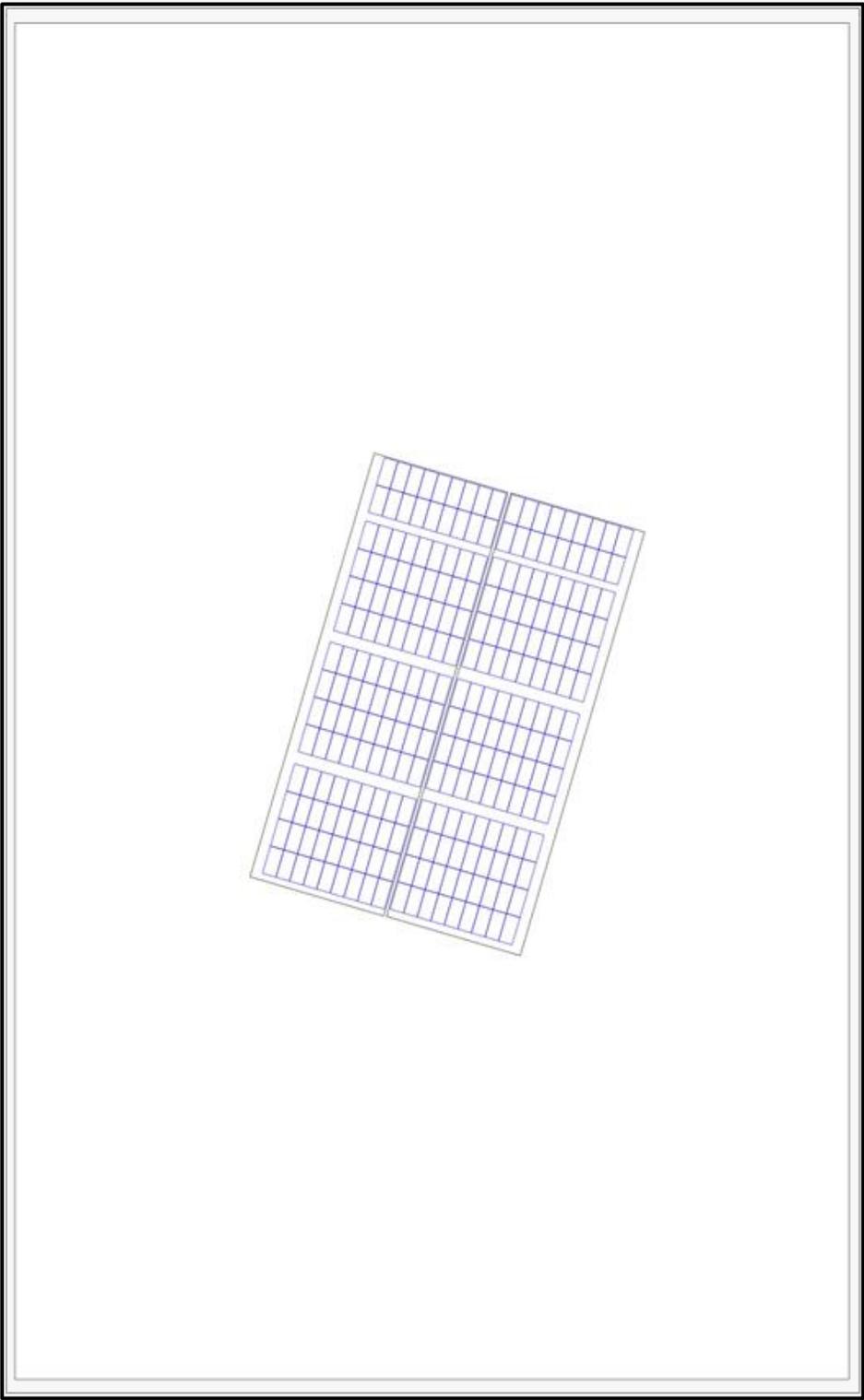


Fig. 36. Plano del conjunto.

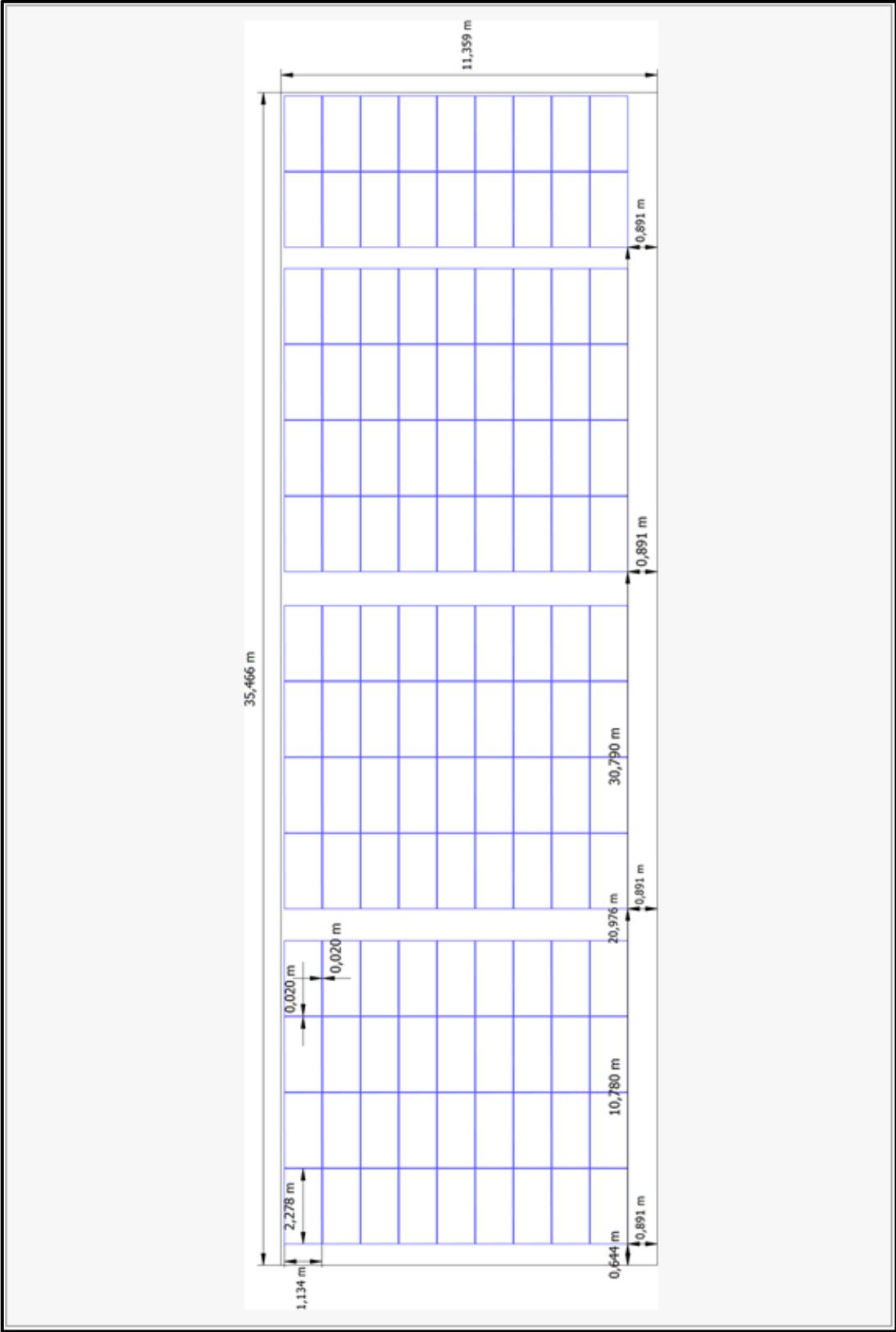


Fig. 37. Plano de acotación.

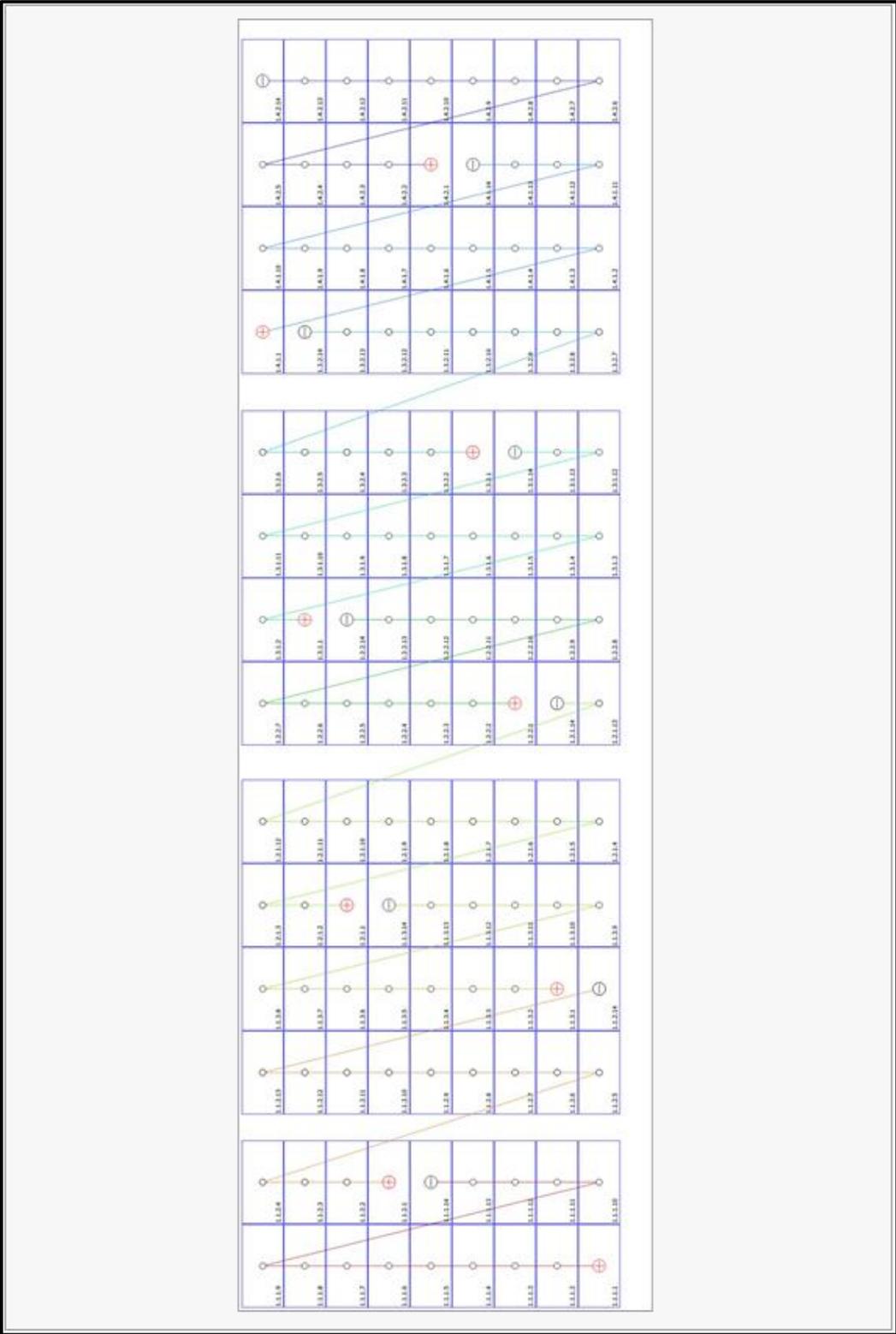


Fig. 38. Plano de líneas.

En las (Fig. 35) a la (Fig. 38), se presentan los planos arquitectónicos del diseño. En estos, se muestran parámetros básicos, tales como medidas, espaciado y la ubicación adecuada de cada panel. En el esquema eléctrico, se detalla la conexión de las cadenas de paneles a los inversores, la canalización adecuada y el número de conductores en la misma. También se ilustra la conexión con respecto a la red eléctrica existente.

Cabe destacar que estos planos no son definitivos, ya que podrían existir modificaciones futuras en coordinación con el contratista a cargo de la obra. La estructura civil permite ajustes más prácticos e incluso una planificación para una futura expansión.

f. Listado de materiales

TABLA V.
LISTADO DE MATERIALES Y PRESUPUESTO PRELIMINAR

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	MODULO FV	252	\$ 120.000,00	\$ 30.240.000,00
2	INVERSORES	2	\$ 30.000.000,00	\$ 60.000.000,00
3	CONDUCTOR 2/0 AWG CU	1800	\$ 34.000,00	\$ 61.200.000,00
4	ENCAUCHETADO 3-FASICO 50 MM ² AL	100	\$ 25.000,00	\$ 2.500.000,00
5	INTERRUPTOR SECCIONADOR DE CARGA 350 A/220 VAC	2	\$ 890.000,00	\$ 1.780.000,00
6	INTERRUPTOR SECCIONADOR DE CARGA 165 A/220 VAC	2	\$ 250.000,00	\$ 500.000,00
7	CONTADOR REVERSIBLE	1	\$ 1.500.000,00	\$ 1.500.000,00
			TOTAL BRUTO	\$ 157.720.000,00

En la tabla V, se muestran las cantidades preliminares de materiales necesarios para la ejecución del proyecto. Dichos materiales se cotizan con respecto a un proveedor de la compañía. El resto de las instalaciones electromecánicas o componentes menores serán proporcionados por el contratista encargado de la puesta a punto del proyecto.

El presupuesto presentado en la tabla 4 es solo una parte de lo que realmente cuesta el proyecto. En esta tabla, no se incluye la mano de obra, trámites de legalización, materiales restantes y presupuesto para mantenimiento. Para todos los ítems anteriores, se determinará el presupuesto con el contratista que gane la licitación del proyecto.

VI. CONCLUSIONES

El enfoque sistemático adoptado en la ejecución del Proyecto 1, centrado en la identificación detallada de las zonas de producción, la caracterización de variables eléctricas y la medición experimental de corriente eléctrica, permitió una clasificación precisa de los equipos y una selección adecuada de medidores según la demanda máxima. Este método garantiza una implementación eficiente y precisa de los medidores de energía, sentando las bases para una gestión más efectiva de la energía en la planta.

La fase final del proyecto 1, que incluyó la selección de medidores, ajustes espaciales y correcciones finales, destacó la importancia de la planificación meticulosa en la instalación de medidores de energía. La puesta en marcha exitosa subraya la necesidad de una coordinación cuidadosa en la disposición física de tableros y medidores, asegurando así un despliegue funcional y eficiente de la infraestructura eléctrica.

El enfoque metódico en la identificación de la ubicación óptima para el montaje del sistema fotovoltaico, seguido por la evaluación de los diseños correspondientes, asegura que se cumplan los requerimientos energéticos necesarios para abastecer la planta. Este proceso de selección y ajuste garantiza una eficiencia energética óptima desde las etapas iniciales del proyecto.

La fase final del proyecto fotovoltaico, que involucra la ejecución después de realizar estudios de prefactibilidad, factibilidad y análisis de retorno de inversión, resalta la importancia de una planificación sólida y fundamentada en datos. Al contratar personal especializado y establecer un proceso de supervisión, se refuerza la probabilidad de que la ejecución del proyecto transcurra de manera eficiente y acorde con lo planificado, minimizando riesgos y asegurando resultados exitosos.

REFERENCIAS

- [1] C.E. Salazar Vanegas, “Diseño e implementación de sistemas fotovoltaicos a pequeña escala”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2022
- [2] RETIE 2013, Ministerio de Minas y Energía. Reglamento Técnico de instalaciones Eléctricas RETIE. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía, 2013.
- [3] NTC2050. (1998). NORMA TECNICA COLOMBIANA 2050. BOGOTÁ.
- [4] La Comisión de Regulación de Energía y Gas, “Resolución CREG 030/18 Procedimiento para la conexión de autogeneración y generación distribuida,” p. 27, 2018, [Online]. Available:
<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/83b41035c2c4474f05258243005a1191?OpenDocument>.
- [5] C. Comisión de Regulación de Energía y Gas, “Resolución CREG 015 de 2018,” Resolución 015 de 2018. p. 239, 2018, [Online]. Available:
<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/65f1aaf1d57726a90525822900064dac?OpenDocument>
- [6] C. de Colombia, “Ley 1715/14 Integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional,” no. May, p. 2014, 2014.