



**Título: Ingeniería detallada: interconexión PS El Colibrí 19,9 MW – S/E Juan Mina**

Miguel Ángel Toro Ruiz

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Eléctrico

Asesor

Jaime Alejandro Valencia Velásquez, Doctor (PhD) en Área de formación del asesor interno

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería Eléctrica  
Medellín, Antioquia, Colombia  
2024

Cita	Toro Ruiz [1]
<b>Referencia</b>	[1] M. A. Toro Ruiz “Ingeniería detallada: interconexión PS El Colibrí 19,9 MW – S/E Juan Mina”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2024.
Estilo IEEE (2020)	



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

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

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda

**Decano/Director:** Julio César Saldarriaga

**Jefe departamento:** Noé 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.

## **Dedicatoria**

A mi familia, quienes siempre han estado a mi lado, brindándome su amor, comprensión y apoyo.

A ellos les debo este logro y todo lo que soy. Gracias por creer en mí, en cada paso de este camino.

## **Agradecimientos**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que de alguna manera contribuyeron al éxito de este trabajo. En primer lugar, a mi familia, por su amor incondicional, apoyo y paciencia durante todo este proceso. A mis amigos, por su compañía y motivación constante. A mis profesores, por su orientación y valiosos consejos, que fueron fundamentales para alcanzar este logro. A la empresa en la que realicé mis prácticas Acema Ingeniería, por brindarme la oportunidad de aplicar mis conocimientos, aprender y desarrollarme profesionalmente en un entorno tan enriquecedor. Finalmente, agradezco a todas las personas que, directa o indirectamente, hicieron posible que todo este proceso se haga realidad.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	12
<b>ABSTRACT</b> .....	13
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	14
<b>II. OBJETIVOS</b> .....	15
A. Objetivo general .....	15
B. Objetivos específicos .....	15
<b>III. MARCO TEÓRICO</b> .....	16
<b>IV. METODOLOGÍA</b> .....	18
A. Criterios básicos de diseño, control y protecciones .....	18
B. Selección y dimensionamiento de componentes .....	18
C. Desarrollo de diagramas .....	18
<b>V. RESULTADOS</b> .....	19
A. Especificaciones de diseño de control y protecciones .....	19
1. Sistema de control y protección .....	19
2. Sistema de medida.....	22
3. Medidores de tarificación y contraste .....	22
4. Medidor de calidad.....	23
5. Integración de equipos al sistema existente .....	23
6. Medios de comunicación sistema de control y protección.....	24
7. Medios de comunicación sistema de medida .....	25
B. Dimensionamiento de los sistemas auxiliares .....	27
1. Descripción general.....	27
2. Sistema VAC.....	27
3. Protecciones para circuitos en tablero +Q01, +Q03 y celda +H4 .....	28

4.	Protecciones para circuitos alimentadores .....	29
5.	Equipos de protección .....	30
C.	Selección de conductores asociados a servicios auxiliares .....	30
1.	Selección del material aislante para los conductores .....	31
2.	Selección de conductores por ampacidad.....	32
3.	Cálculo de caída de tensión.....	34
4.	Selección de conductor eléctrico entre el tablero por regulación de tensión .....	36
D.	Cargabilidad, saturación y regulación transformadores de medida .....	36
1.	Dimensionamiento de transformadores de medida y protección .....	37
2.	Cálculo del transformador de tensión y corriente .....	37
3.	Clases de precisión .....	39
4.	Relación de transformación transformadores de corriente.....	40
5.	Cálculo de cargabilidad transformadores de corriente .....	41
6.	Cálculo de saturación transformadores de corriente .....	42
7.	Cálculo del transformador de potencial .....	45
8.	Cálculos transformadores de potencial .....	45
9.	Cálculo de regulación transformadores de tensión .....	48
E.	Diagramas unifilares de protección, medida y servicios auxiliares .....	50
1.	Diagrama unifilar de protecciones .....	50
2.	Diagrama unifilar de medida.....	52
F.	Diagramas eléctricos .....	54
1.	Diagrama eléctrico de tablero de medidores .....	54
G.	Diagrama mecánico.....	57
1.	Diagrama mecánico de tablero de medidores .....	57
VI.	ANÁLISIS .....	60

VII. CONCLUSIONES .....62

REFERENCIAS .....63

## LISTA DE TABLAS

TABLA I. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL RELÉ DE PROTECCIÓN .....	19
TABLA II. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS MEDIDOR DE CONTRASTE .....	22
TABLA III. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS MEDIDOR DE CALIDAD.....	23
TABLA IV. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CABLES DE FIBRA ÓPTICA .....	24
TABLA V. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE ACCESORIOS DE FIBRA ÓPTICA .....	25
TABLA VI. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CABLE UTP CAT 6 .....	26
TABLA VII. CARGAS AC ESENCIALES – TABLERO DE MEDIDA EXISTENTE (+Q01) .	28
TABLA VIII. CARGAS AC ESENCIALES – TABLERO DE MEDIDA PROYECTADO (+Q03) .....	28
TABLA IX. CARGAS AC NO ESENCIALES – TABLERO DE MEDIDA PROYECTADO (+Q03).....	28
TABLA X. CARGAS AC NO ESENCIALES – CELDA PROYECTADA 34,5kV (+H4) .....	29
TABLA XI. CARGAS AC ESENCIALES – CELDA PROYECTADA 34,5kV (+H4).....	29
TABLA XII. TABLERO DE MEDIDA PROYECTADO (+Q03).....	29
TABLA XIII. CELDA PROYECTADA 34,5kV (+H4).....	30
TABLA XIV. CONDUCTORES SELECCIONADOS POR AMPACIDAD – TABLERO DE MEDIDA EXISTENTE (+Q01).....	32
TABLA XV. CONDUCTORES SELECCIONADOS POR AMPACIDAD – TABLERO DE MEDIDA PROYECTADO (+Q03) .....	33
TABLA XVI. CONDUCTORES SELECCIONADOS POR AMPACIDAD - CELDA PROYECTADA 34,5kV (+H4) .....	33
TABLA XVII. SELECCIÓN DE CONDUCTORES POR CAÍDA DE TENSIÓN – TABLERO DE MEDIDA EXISTENTE (+Q01) .....	34
TABLA XVIII. SELECCIÓN DE CONDUCTORES POR CAÍDA DE TENSIÓN – TABLERO DE MEDIDA PROYECTADO (+Q03).....	35
TABLA XIX. SELECCIÓN DE CONDUCTORES POR CAÍDA DE TENSIÓN – CELDA PROYECTADA 34,5kV DE MEDIDA EXISTENTE (+H4) .....	35
TABLA XX. SELECCIÓN DE ALIMENTADORES POR CAÍDA DE TENSIÓN AC .....	36

TABLA XXI. CARACTERÍSTICAS NÚCLEOS TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTACIÓN .....	37
TABLA XXII. CONSUMOS DE ENTRADAS DE CORRIENTE Y TENSIÓN DE DISPOSITIVOS .....	38
TABLA XXIII. DISTANCIAS CABLEADO .....	39
TABLA XXIV. RELACIÓN DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.....	40
TABLA XXV. INFORMACIÓN PRELIMINAR PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE CT .	41
TABLA XXVI. CARGA REAL SECUNDARIO EN TRANSFORMADORES DE CORRIENTE .....	42
TABLA XXVII. VALIDACIÓN CARGABILIDAD TRANSFORMADORES DE CORRIENTE NÚCLEO DE MEDIDA .....	42
TABLA XXVIII. VALIDACIÓN CARGABILIDAD TRANSFORMADORES DE CORRIENTE NÚCLEO DE PROTECCIÓN .....	42
TABLA XXIX. RESULTADOS DE SATURACIÓN OBTENIDOS .....	43
TABLA XXX. RESULTADOS DE PRECISIÓN EN CONDICIONES DE FALLA .....	44
TABLA XXXI. RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN DE POTENCIAL .....	45
TABLA XXXII. INFORMACIÓN PRELIMINAR PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE PT .....	46
TABLA XXXIII. CÁLCULO DE CONSUMO SECUNDARIO TRANSFORMADORES DE POTENCIAL.....	46
TABLA XXXIV. IMPEDANCIAS DE ENTRADAS DE TENSIÓN DE DISPOSITIVOS .....	46
TABLA XXXV. VALIDACIÓN TRANSFORMADORES DE POTENCIAL NÚCLEO DE MEDIDA.....	48
TABLA XXXVI. VALIDACIÓN TRANSFORMADORES DE POTENCIAL NÚCLEO DE PROTECCIÓN.....	48
TABLA XXXVII. CÁLCULO REGULACIÓN TRANSFORMADORES DE POTENCIAL NÚCLEO DE MEDIDA .....	48
TABLA XXXVIII. CÁLCULO REGULACIÓN TRANSFORMADORES DE POTENCIAL NÚCLEO DE PROTECCIÓN .....	49
TABLA XXXIX. TABLA DE CONVENCIONES DEL DIAGRAMA UNIFILAR DE PROTECCIONES .....	50

TABLA XL. TABLA DE CONVENCIONES DEL DIAGRAMA UNIFILAR DE MEDIDA....52  
TABLA XLI. LISTADO DE MATERIALES DEL TABLERO DE MEDIDORES .....57

## LISTA DE FIGURAS

Fig 1. Ruta de cableado eléctrico .....	39
Fig 2. Diagrama unifilar de celda proyectada +H4. ....	51
Fig 3. Diagrama unifilar general de protecciones .....	51
Fig 4. Diagrama unifilar de celda proyectada y tablero de medidores existente .....	53
Fig 5. Diagrama unifilar general de medida.....	53
Fig 6. Diagrama eléctrico de SSAA del tablero de medidores.....	54
Fig 7. Diagrama eléctrico de alimentación de medidores .....	54
Fig 8. Diagrama eléctrico de núcleos de medida del medidor 1 (ME01).....	55
Fig 9. Diagrama eléctrico de núcleos de medida del medidor 2 (ME02).....	55
Fig 10. Diagrama eléctrico de núcleos de medida del medidor de calidad (MEC01).....	56
Fig 11. Diagrama eléctrico de la llegada de señales al tablero de contadores (+Q01).....	56
Fig 12. Dimensiones del tablero de medidores .....	58
Fig 13. Vistas generales de tablero de medidores .....	58
Fig 14. Vista de la disposición física de los equipos del tablero de medidores .....	59
Fig 15. Vista de la disposición física de los equipos internos del tablero de medidores .....	59

## **SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS**

<b>IEC</b>	Comisión electrotécnica internacional
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization
<b>m</b>	Metros
<b>VDC</b>	Voltaje Corriente Directa
<b>VAC</b>	Voltaje Corriente Alterna
<b>W</b>	Watt
<b>Hz</b>	Hertz
<b>VA</b>	Voltio-Amperios
<b>A</b>	Amperios
<b>PRP</b>	Protocolo de Redundancia Paralela
<b>LC</b>	Lucent Connector
<b>PTP</b>	Precision Time Protocol
<b>UTP</b>	Unshielded Twisted Pair
<b>ANSI</b>	American National Standards Institute
<b>SSAA</b>	Servicios Auxiliares
<b>SDL</b>	Sistema de Distribución Local
<b>MT</b>	Media Tensión
<b>MCB</b>	Mini Circuit Breaker
<b>PS</b>	Parque Solar
<b>CREG</b>	Comisión de Regulación de Energía y Gas
<b>NTC</b>	Norma Técnica Colombiana
<b>CT</b>	Transformador de Corriente
<b>PT</b>	Transformador de Potencial

## RESUMEN

Este informe técnico describe el desarrollo de la ingeniería detallada para la interconexión del parque solar El Colibrí (19,9 MW) a la subestación eléctrica Juan Mina (110 kV) en Colombia. El objetivo principal fue garantizar una integración eficiente, segura y sostenible del parque solar al sistema eléctrico nacional. Se implementaron estudios para la selección y dimensionamiento de los componentes clave, tales como sistemas de control y protección, transformadores de medida y cables de potencia. Además, se diseñaron los diagramas unifilares que representan las conexiones eléctricas entre los equipos. La metodología incluyó una revisión de la infraestructura existente y un análisis detallado de las necesidades del sistema, asegurando la correcta operación de los servicios auxiliares. Los resultados confirman la viabilidad técnica de la integración, destacando la importancia de una coordinación adecuada de protecciones y una correcta selección de conductores y transformadores. El proyecto concluye con recomendaciones para la actualización y verificación de los cálculos durante la implementación final, considerando equipos específicos y distancias reales.

***Palabras clave*** — **Parque solar, Integración de energías renovables, Control eléctrico, Transformadores de medida, Subestaciones eléctricas.**

## ABSTRACT

This technical report describes the detailed engineering development for the interconnection of the El Colibrí solar park (19.9 MW) to the Juan Mina substation (110 kV) in Colombia. The main objective was to ensure an efficient, safe, and sustainable integration of the solar park into the national electrical system. Studies were carried out for the selection and sizing of key components, such as control and protection systems, measurement transformers, and power cables. In addition, single-line diagrams were designed to represent the electrical connections between the equipment. The methodology included a review of the existing infrastructure and a detailed analysis of the system's needs, ensuring the correct operation of auxiliary services. The results confirm the technical feasibility of the integration, highlighting the importance of proper protection coordination and the correct selection of conductors and transformers. The project concludes with recommendations for updating and verifying the calculations during the final implementation, considering specific equipment and actual distances.

***Keywords* — Solar Park, Renewable energy integration, Electrical control, Measurement transformers, Electrical substations.**

## **I. INTRODUCCIÓN**

El presente informe tiene como objetivo principal describir el proceso de integración del Parque Solar El Colibrí (19,9 MW) a la subestación eléctrica Juan Mina (110 kV), ubicada en el Atlántico, Colombia. Este proyecto abarca el desarrollo de la ingeniería detallada necesaria para asegurar una operación eficiente y segura del sistema eléctrico, considerando los requisitos técnicos y normativos. El enfoque del trabajo incluye estudios de control y protecciones, así como el dimensionamiento y selección de los componentes eléctricos esenciales, como transformadores de medida, cables de potencia y sistemas auxiliares. También se diseñaron diagramas unifilares y de control que facilitan la operación y el mantenimiento de la infraestructura.

La importancia de este proyecto radica en su contribución a la diversificación de la matriz energética del país, promoviendo el uso de energías renovables y disminuyendo la dependencia de los combustibles fósiles.

## **II. OBJETIVOS**

### *A. Objetivo general*

Integrar el parque solar El Colibrí a la subestación eléctrica Juan Mina 110kV, garantizando una operación eficiente, segura y sostenible del sistema eléctrico.

### *B. Objetivos específicos*

Realizar un diagnóstico inicial de la infraestructura existente en la subestación Juan Mina para identificar las necesidades específicas de conexión y adaptación para el parque solar.

Desarrollar un análisis detallado para el dimensionamiento y selección de servicios auxiliares, transformadores de medida y cables de control y potencia, asegurando su compatibilidad y eficiencia operativa.

Implementar criterios de diseño de control y protecciones que garanticen la operación eficiente y confiable del sistema eléctrico, considerando posibles contingencias y optimizando la respuesta ante fallos.

Elaborar diagramas técnicos que representen claramente el control, la medición y los servicios auxiliares del sistema, facilitando la comprensión y el seguimiento del proceso de integración.

### III. MARCO TEÓRICO

Los parques solares han ganado relevancia en el sector energético debido a sus múltiples beneficios. Como una fuente renovable e inagotable, la energía solar no emite contaminantes, contribuyendo significativamente a la mitigación del cambio climático y a la protección ambiental. Además, estos parques disminuyen la dependencia de combustibles fósiles, diversifican la matriz energética y fomentan el empleo local, promoviendo el desarrollo sostenible. Aunque la construcción y operación de parques solares pueden tener impactos ambientales, como el uso extensivo del suelo, consumo de agua, contaminación del suelo, impacto visual y la necesidad de reciclaje de paneles, estos desafíos son menores en comparación con los impactos de las fuentes de energía tradicionales. Con una planificación adecuada y prácticas sostenibles, los parques solares pueden integrarse de manera responsable al entorno, contribuyendo a un futuro energético más limpio y sostenible [1].

La subestación eléctrica Juan Mina, ubicada en el área rural de Juan Mina cerca de Barranquilla en la región de Atlántico, Colombia, es crucial para el sistema eléctrico del país. Operando a 110 kV, maneja contingencias como cortocircuitos y facilita la integración de proyectos de energías renovables. Esta subestación distribuye energía a zonas industriales, comerciales y residenciales, y sirve como un punto clave de conexión para proyectos que generan energía eléctrica a partir de granjas solares.

Para integrar el parque solar a la subestación Juan Mina, se deben considerar los siguientes conceptos claves:

- Integración de parques solares con subestaciones eléctricas: Conectar la energía solar a la red eléctrica requiere planificación detallada y cumplimiento de normativas para garantizar eficiencia, seguridad y sostenibilidad del sistema.
- Control y protecciones en sistemas eléctricos: Mediante la coordinación de protecciones se asegura una respuesta adecuada en caso de fallos o condiciones anormales, minimizando el impacto en el sistema y garantizando una operación estable y segura [2].

- Dimensionamiento y selección de componentes: Asegura que transformadores, cables y servicios auxiliares manejen eficientemente las cargas esperadas, reduciendo costos y aumentando la fiabilidad del sistema eléctrico.
- Servicios auxiliares en subestaciones eléctricas: Incluyen energía para iluminación, control y comunicaciones, mejorando la eficiencia operativa y la seguridad [3].
- Transformadores de instrumentación o medida: Reducen altas tensiones y corrientes para equipos de medición y protección, asegurando precisión y rápida respuesta a anomalías.
- Cables de control y potencia: Transmiten señales y energía dentro de la subestación, diseñados para soportar la capacidad de corriente y condiciones ambientales, evitando pérdidas de energía [4].
- Diagramas unifilares: Representan la disposición y conexión de componentes del sistema eléctrico, facilitando planificación, instalación y mantenimiento [5].
- Diagramas eléctricos y mecánicos de celdas y tableros: Detallan las conexiones y disposición física de componentes para una instalación, mantenimiento y operación eficientes y seguras del sistema eléctrico [6].

## IV. METODOLOGÍA

### A. Criterios básicos de diseño, control y protecciones

Objetivo general: Identificar y establecer los requisitos y principios fundamentales de diseño, control y protecciones para la integración del parque solar con la subestación.

Acciones:

- Realizar un análisis detallado de los requisitos de diseño para el parque solar y la subestación.
- Definir los criterios de control y protección en función de las normas y regulaciones aplicables.
- Desarrollar un documento que detalle los criterios básicos de diseño, control y protecciones.

### B. Selección y dimensionamiento de componentes

Objetivo general: Seleccionar y dimensionar adecuadamente los sistemas y componentes necesarios para el proyecto, asegurando su correcta operación y eficiencia.

Acciones:

- Evaluar las necesidades de servicios auxiliares y seleccionar los sistemas adecuados.
- Calcular la carga y seleccionar cables adecuados para control y fuerza de baja tensión, documentando las especificaciones y requerimientos.
- Evaluar los requisitos para los transformadores de medida, realizando cálculos y seleccionando transformadores adecuados.

### C. Desarrollo de diagramas

Objetivo general: Representar gráficamente la disposición y conexiones de los componentes del sistema.

Acciones:

- Diseñar diagramas unifilares para protecciones, medida y servicios auxiliares.
- Desarrollar diagramas eléctricos para tableros y equipos.
- Diseñar diagramas mecánicos para las celdas, tableros de control, protección y medidores.

## V. RESULTADOS

### A. Especificaciones de diseño de control y protecciones

La integración del parque solar El Colibrí se hace mediante la instalación de una celda de media tensión a nivel de 34.5 kV y un tablero de medida asociado al circuito del parque solar. A

continuación, se hace la discriminación de los equipos proyectados en dicha integración según su función y sistema al que pertenece.

#### 1. Sistema de control y protección

Para este sistema se proyecta la instalación de un relé de protección y control el cual será el encargado de monitorear las variables eléctricas del circuito del parque solar El Colibrí, si alguna de las variables se encuentra por fuera de los rangos nominales establecidos este realizará la apertura del circuito por medio del interruptor de potencia. Por lo tanto, este relé debe garantizar el monitoreo de variables eléctricas como tensión y corriente, así como también, variables de estado de los equipos de maniobra como interruptor y cuchilla de puesta a tierra. Las especificaciones técnicas mínimas que debe tener el relé de protección se muestran a continuación:

TABLA I. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL RELÉ DE PROTECCIÓN

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
<b>1</b>	<b>Características generales</b>	---	---
	Marca	---	ZIV
	Referencia	---	H7IRV1803A
	Altura sobre el nivel del mar	m	$\geq 33$
	Temperatura ambiente	°C	23 – 45
	Humedad relativa	%	$\geq 90$
	Norma	---	IEC 60255
	Norma de calidad	---	ISO 9001
<b>2</b>	<b>Características eléctricas</b>	---	---

	Tensión auxiliar	VDC	110 – 250
	Tensión asignada	VAC	110 – 240
	Margen de tensión de operación	%	80 – 110
	Potencia	W	5
	Frecuencia	Hz	60
<b>3</b>	<b>Características de comunicación</b>	---	---
	Consumo de entradas análogas de tensión	VA	0.1
	Tensión asignada de entradas análogas de tensión	V	$110/\sqrt{3}$
	Cantidad de entradas análogas de tensión	---	$\geq 4$
	Consumo de entradas análogas de corriente	VA	0.2
	Corriente asignada de entradas análogas de corriente	A	5
	Cantidad de entradas análogas de corriente	---	$\geq 4$
	Automonitoreo continuo	---	Sí
	Protocolo de redundancia	---	PRP
	Comunicación SAS	---	Sí
	Protocolo de comunicación SAS	---	IEC 61850
	Interfaz fibra óptica de comunicación SAS	---	Multimodo
	Tipo de conector	---	LC
	Numero de puertos	---	$\geq 2$
	Comunicación al sistema de gestión de protecciones	---	Sí
	Protocolo del sistema de gestión de protecciones	---	IEC 81850
	Interfaz en fibra óptica del sistema de gestión de protecciones	---	Multimodo

Tipo de conector	---	LC
Comunicaciones al sistema de sincronización de tiempo	---	Sí
Protocolo a través de puerto IRIG-B	---	Sí
Protocolo a través de red	---	PTP
Cantidad de entradas digitales	---	$\geq 8$
Cantidad de salidas digitales	---	$\geq 8$
Tensión asignada de las entradas digitales	VDC	125
Máximo tiempo de operación	ms	30
Margen de ajuste del valor de restricción de operación (In)	%	25 – 40
Supervisión de circuitos de corriente	---	Sí
Registro de fallas	---	Sí
Frecuencia de muestreo	Hz	$> 960$
Resolución de la estampa de tiempo para el reporte de eventos	ms	$\leq 1$
Funciones de protección mínimas incluidas	---	Sí
Funciones de protección necesarias 27, 59, 51, 51N, 59N, 32, 81U/O, ROCOF (Anti-isla), 50BF.	---	Sí
Función 25 verificación de sincronismo para mando de cierre de interruptor	---	Sí
Indicación gráfica mediante pantalla y/o indicación visual	---	Sí

Los valores estipulados en la Tabla I se definieron según los documentos de referencia y las características referenciales de equipos en el mercado. Las funciones de protección necesarias son tomadas del Acuerdo CNO 1749.

### 2. Sistema de medida

El sistema de medida estará conformado por 4 medidores de los cuales 3 estará dedicados a medidores de tarificación principal, respaldo y contraste. El cuarto medidor está dedicado a la medición de calidad de la energía suministrada por el parque solar. El número de medidores y la precisión de medida se seleccionaron en función del cumplimiento del código de medida colombiano CREG 038 de 2014.

### 3. Medidores de tarificación y contraste

Los medidores de tarificación y contraste deberán regirse por el protocolo MODBUS TCP, tener puertos Ethernet para la comunicación con el sistema de nivel 2 del parque solar, deberán poseer una clase de exactitud de energía activa mayor o igual a 0.5S y 2 para medida de energía reactiva, además de contar con función de tarificación. A continuación, las características mínimas que se deben tener en cuenta en la selección del medidor.

TABLA II. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS MEDIDOR DE CONTRASTE

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
1	Marca	---	Schneider
2	Referencia	---	PM3250
3	Tensión nominal de alimentación	VAC	120
4	Frecuencia	Hz	60
5	Clase de precisión energía activa	---	$\geq 0.5S$
	Clase de precisión energía reactiva	---	$\geq 2$
6	Cantidad de entradas análogas de corriente	---	$\geq 4$
7	Cantidad de entradas análogas de tensión	---	$\geq 4$
8	Señal de monitoreo de equipo	---	Sí

9	Protocolo de comunicaciones	---	MODBUS TCP
10	Soporte del puerto de comunicación	---	ETHERNET
11	Protocolo de sincronización de tiempo	---	IRIG-B, PTP, SNTP
12	Indicación grafica mediante pantalla y/o indicación visual	---	Sí

#### 4. Medidor de calidad

El medidor de calidad deberá regirse por el protocolo MODBUS TCP, tener puertos Ethernet para la comunicación con el sistema de nivel 2 del parque solar; deberá poseer una clase de exactitud de energía activa mayor o igual a 0.5S y una exactitud de 2 para medida de energía reactiva.

TABLA III. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS MEDIDOR DE CALIDAD

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	REQUERIDO
1	Marca	---	SEL
2	Referencia	---	SEL-735
3	Tensión nominal de alimentación	VAC	120
4	Frecuencia	Hz	60
5	Clase de precisión energía activa	---	$\geq 0.5S$
	Clase de precisión energía reactiva	---	$\geq 2$
4	Protocolo de comunicaciones	---	IEC 61850, DNP3, MODBUS TCP
5	Soporte del puerto de comunicación	---	ETHERNET
6	Protocolo de sincronización de tiempo	---	IRIG-B, PTP, SNTP
8	Indicación grafica mediante pantalla y/o indicación visual	---	Sí

#### 5. Integración de equipos al sistema existente

Según el levantamiento de información realizado se confirmó que el switch -SW1 y -SW2 cuentan con puertos disponibles para la integración de los equipos proyectados, los switches se encuentran ubicados en el tablero de comunicaciones +COM el cual tendrá comunicación con la celda de

media tensión donde se encuentra el relé y los tableros de medidores en donde se encuentran instalados los medidores de tarificación, contraste y calidad.

6. *Medios de comunicación sistema de control y protección*

El medio de comunicación entre el relé ubicado en la celda +H4 y los switches de comunicación - SW1 y -SW2 ubicados en el tablero de comunicaciones será a través de enlace de fibra óptica multimodo por protocolo de comunicación IEC 61850. Con esto se garantiza que se tengan pérdidas mínimas por latencia y que se tenga fidelidad de la información enviada y recibida.

TABLA IV. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CABLES DE FIBRA ÓPTICA

MARCA	MODELO	CARACTERÍSTICAS
FIBRA ÓPTICA	FIBRA ÓPTICA MULTIMODO	<p>El cable de fibra debe tener una construcción de tubo holgado, totalmente dieléctrico.</p> <p><b>Numero de fibras:</b> 24 fibras  <b>Diámetro de fibra:</b> 50 <math>\mu</math>m  <b>OM2/OM3 Ambiente:</b> para interior</p> <p><b>Certificaciones:</b>  TIA/EIA-568  ANSI/ICEA S-83-596  ANSI/ICEA S-104-696,  61034 y IEC 60754-2  Atenuación máxima: 3.5dB/km @ 850nm,  1.5dB/km @ 1300nm</p>

TABLA V. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE ACCESORIOS DE FIBRA ÓPTICA

MARCA	MODELO	CARACTERÍSTICAS
CONECTOR	PATCH CORD FIBRA ÓPTICA MULTIMODO	<p>Se plantea los Patch Cord para la conexión interna de los tableros.</p> <p><b>Terminal:</b> LC/UPC Duplex</p> <p><b>Diámetro de Fibra:</b> 50 µm OM2/OM3</p> <p><b>Tipo:</b> Multimodo</p> <p><b>Certificaciones:</b> ANSI/TIA-568-3 ISO/IEC11801 EN50173-1 IEC61300-1 IEE 802.3ae LCS2 EN 50173-2</p>

*7. Medios de comunicación sistema de medida*

El medio de comunicación entre los medidores (tarifación y calidad ubicados en el tablero de medidores proyectado +Q03 y el medidor de contraste ubicado en el tablero de contadores +Q01) con el switch -SW1 ubicado en el tablero de comunicaciones será a mediante enlace en cobre (RJ45).

TABLA VI. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CABLE UTP CAT 6

MARCA	MODELO	CARACTERÍSTICAS
CABLE UTP	CABLE UTP CATEGORIA 6	<p>Son usados para cableado y/o redes de equipos de transmisión de datos para velocidades de hasta 1 GB y un ancho de banda de hasta 250 MHz.</p> <p><b>Formación de los pares:</b> Los conductores aislados son pareados con un paso muy corto.</p> <p><b>Formación del núcleo:</b> Los pares son separados por un eje central en poliolefina libre de halógenos retardante a la llama (PE NH FR), lo que mejora su respuesta en altas frecuencias, disminuye las interferencias y evita fenómenos de transmisión de datos tales como las diafonías.</p> <p><b>Cubierta de color:</b> Gris o blanca.</p> <p><b>Resistencia Óhmica (20°C):</b> 9,38 Ω/100m máx.</p> <p><b>Capacitancia mutua a 1 kHz (20°C):</b> 5,6 nF/100m máx.</p> <p><b>Desbalance capacitivo a tierra a 1 kHz (20°C):</b> 330 pF/100m máx.</p> <p><b>Impedancia característica (1-100 MHz):</b> 100 ± 15Ω.</p> <p><b>Propagation delay skew (1-250 MHz) (20°C):</b> 45ns/100m máx.</p> <p><b>Resistencia de aislamiento mínima:</b> 10 GΩ/Km.</p> <p><b>Certificaciones:</b> IEC 61156-1 ANSI/TIA-568-C2</p>

## *B. Dimensionamiento de los sistemas auxiliares*

En este capítulo se presentarán los diferentes criterios y premisas empleados para el desarrollo del dimensionamiento de SSAA necesarios en la interconexión del parque solar El Colibrí a la subestación Juan Mina.

### *1. Descripción general*

El parque solar El Colibrí se conectará al sistema de distribución local (SDL) en la subestación Juan Mina, más exactamente en al barraje con nivel de tensión de 34.5kV. Para lograr una correcta integración al sistema existente es necesario la instalación de una celda de media tensión con sus respectivos equipos de protección, así como también equipos de medida que permitan monitorear las características eléctricas de la línea. Además, es necesario la instalación de un nuevo tablero de medida para alojar los medidores asociados a la bahía del parque solar.

Para la integración es necesario brindar alimentación eléctrica a los siguientes tableros:

- Tablero de medidores proyectado (+Q03).
- Celda de media tensión proyectada (+H4)

Los tableros existentes que deben intervenir en la integración del parque solar EL COLIBRÍ son los siguientes

- Tablero SSAA AC (+NE1).
- Tablero de medidores existente (+Q01).

### *2. Sistema VAC*

El tablero y la celda proyectado estará alimentado con tensión AC desde el tablero de servicios auxiliares existente (+NE1). El dimensionamiento de las cargas se basó en las fichas técnicas referenciales de los equipos que se instalarán en el tablero de medida y la celda MT proyectada.

Las protecciones calculadas se muestran en las Tabla 8, 9 y 10, la capacidad interruptora de cada protección está basada en valores comerciales de equipos usados para este fin. La carga asumida puede variar ya que no se cuenta con la ficha técnica exacta de los equipos asociados al proyecto, una vez estos sean definidos se debe actualizar el presente documento y a su vez verificar que los resultados estén dentro de los rangos permitidos por la normativa colombiana vigente.

3. Protecciones para circuitos en tablero +Q01, +Q03 y celda +H4

Las características de las cargas asociadas a la celda y el tablero de medida proyectado y existente, así como sus protecciones correspondientes son las que se muestran a continuación:

TABLA VII. CARGAS AC ESENCIALES – TABLERO DE MEDIDA EXISTENTE (+Q01)

CARGA	POTENCIA [VA]	TENSIÓN [V]	FP	CORRIENTE [A]	I MCB [A]	MCB
ME05	60	120	0,9	0,6	0,7	1x2 A

TABLA VIII. CARGAS AC ESENCIALES – TABLERO DE MEDIDA PROYECTADO  
(+Q03)

CARGA	POTENCIA [VA]	TENSIÓN [V]	FP	CORRIENTE [A]	I MCB [A]	MCB
ME01	60	120	0,9	0,6	0,7	1x2 A
ME02	60	120	0,9	0,6	0,7	1x2 A
MC01	60	120	0,9	0,6	0,7	1x2 A

TABLA IX. CARGAS AC NO ESENCIALES – TABLERO DE MEDIDA PROYECTADO  
(+Q03)

CARGA	POTENCIA [VA]	TENSIÓN [V]	FP	CORRIENTE [A]	I MCB [A]	MCB
Iluminación	20	120	0,9	0,2	4,9	1x6 A
Calefacción	200	120	0,9	1,9		
Tomacorriente auxiliar	200	120	0,9	1,9		

TABLA X. CARGAS AC NO ESENCIALES – CELDA PROYECTADA 34,5kV (+H4)

CARGA	POTENCIA [VA]	TENSIÓN [V]	FP	CORRIENTE [A]	I MCB [A]	MCB
Señalización	20	120	0,9	0,2	0,3	1x2 A

TABLA XI. CARGAS AC ESENCIALES – CELDA PROYECTADA 34,5kV (+H4)

CARGA	POTENCIA [VA]	TENSIÓN [V]	FP	CORRIENTE [A]	I MCB [A]	MCB
Alimentación interruptor	1500	120	0,9	13,9	17,4	1x20 A
Relé de protección	60	120	0,9	0,6	0,7	1x2 A

#### 4. Protecciones para circuitos alimentadores

Los circuitos alimentadores comprenden el cableado entre el tablero existente de servicios auxiliares AC (+NE1) hasta el tablero de medida proyectado (+Q03) y la celda de llegada del parque solar(+H4).

TABLA XII. TABLERO DE MEDIDA PROYECTADO (+Q03)

CARGA	POTENCIA [VA]	TENSIÓN [V]	FP	CORRIENTE [A]	I MCB [A]	MCB
Esenciales	180	120	0,9	1,67	6,95	1x16 A
No esenciales	420	120	0,9	3,89		

TABLA XIII. CELDA PROYECTADA 34,5kV (+H4)

CARGA	POTENCIA [VA]	TENSIÓN [V]	FP	CORRIENTE [A]	I MCB [A]	MCB
Esenciales	1560	120	0,9	14,44	18,3	1x25 A
No esenciales	20	120	0,9	0,2		

Se calculó la carga total para estos circuitos, como se puede ver en la Tabla XII y XIII se escogió un MCB de 16A y 25A respectivamente, esto se hizo con el fin de permitir futuras integraciones necesarias en el funcionamiento y comunicación de los equipos presentes en el tablero y celda proyectada.

Nota: En la corriente (I MCB), se aplicó un factor de seguridad de (1,25), para dimensionar los MCBs, de tal manera que se permita algún cambio momentáneo de la carga sin desconectar el circuito por completo.

#### 5. Equipos de protección

Los equipos de protección sugeridos son los Miniature Circuit Breaker (MCB), debido a que protegen de sobre corrientes y cortocircuito, estos son usados para valores de corriente inferiores o iguales a los 20A, además se pueden usar para la conmutación del circuito en cuestión. Cabe mencionar que estos no cuentan con características de disparo ajustables, por tanto, si se requiere proteger un circuito con diferente corriente a la dimensionada o con control de retardo de disparo, se deberá cambiar la protección. Para el presente proyecto se seleccionaron MCBs con una curva Z para equipos electrónicos y curva C para circuitos de alimentación principal. Finalmente cuenta con ventajas respecto a la de los fusibles, ya que si se disparan no requieren de repuesto, adicionalmente cuentan con un costo operacional bajo.

#### C. Selección de conductores asociados a servicios auxiliares

En este capítulo se presentarán los diferentes criterios y premisas empleados para el desarrollo del dimensionamiento de los conductores asociados a los SSAA necesarios en la interconexión del parque solar El Colibrí a la subestación Juan Mina.

### *1. Selección del material aislante para los conductores*

Los conductores eléctricos deben contar con aislamiento para garantizar que resistan las condiciones atmosféricas y otras circunstancias del entorno sin sufrir deterioro, que puedan ocasionar posibles fugas de corriente o cortocircuitos. Además de aislar de acuerdo con los niveles de tensión presentes en el punto de instalación sin producir daños o choques eléctricos que desencadenen en fallas con otros conductores o elementos del sistema.

Para la correcta selección del material aislante de los conductores, es necesario tener presente los siguientes aspectos:

- Capacidad dieléctrica de acuerdo con las tensiones del sistema
- Niveles de temperatura permisibles en el material
- Resistencia a los rayos ultravioleta
- Radios de curvatura
- Resistencia mecánica ante los refuerzos que se pueden presentar durante la instalación
- Flexibilidad
- Contenido de halógenos

Generalmente en los sistemas de baja tensión se utiliza como material aislante de los conductores el Policloruro de Vinilo (PVC-RAD), por lo tanto, el aislamiento seleccionado en este proyecto para los conductores de baja tensión es el THWN-2, el cual cuenta con las siguientes características.

- Temperatura de operación 90°C
- Tensión de operación 600 V
- Aislamiento en PVC
- Ambientes: Secos, húmedos y mojados
- Resistentes al aceite
- Resiste a los rayos solares
- Retardante a la llama
- Resistentes a la abrasión
- Libres de sustancias peligrosas

## 2. Selección de conductores por ampacidad

Con los consumos eléctricos para cada uno de los sistemas, se procede con el cálculo de conductores por ampacidad. Las capacidades de corriente de cada uno de los calibres usados se deberán verificar según lo especificado en las tablas 310.15(B)(16) hasta la 310.15(B)(19) de la norma NTC 2050, es necesario tener en cuenta los factores de ajuste por temperatura y agrupamiento que se puedan presentar en cada uno de los tramos de circuito.

El procedimiento que se emplea para la selección de conductores consiste en partir de la corriente demandada por el circuito de interés, buscar en las tablas antes mencionadas que conductor cumple con esta capacidad de corriente. Luego aplicar los factores de ajuste necesarios en este caso se tomará una temperatura ambiente entre 26 °C y 30 °C y se considera que no se tendrá más de tres conductores portadores de corriente en el recorrido de todos los circuitos. En caso tal de que la capacidad de corriente obtenida del conductor seleccionado sea inferior a la demanda, es necesario aumentar el calibre del conductor y realizar de nuevo el anterior procedimiento hasta obtener el calibre que se ajuste a los requerimientos del circuito. En las Tablas XIV, XV y XVI se observan las corrientes nominales por circuito, así como el conductor elegido para cada uno.

TABLA XIV. CONDUCTORES SELECCIONADOS POR AMPACIDAD – TABLERO DE MEDIDA EXISTENTE (+Q01)

DESCRIPCIÓN DE LA CARGA	CARGA (VA)	TENSIÓN (V)	FP	CORRIENTE TOTAL (A)	CONDUTOR
ME05	60	120	0,9	0,7	2x14+14 AWG

TABLA XV. CONDUCTORES SELECCIONADOS POR AMPACIDAD – TABLERO DE MEDIDA PROYECTADO (+Q03)

DESCRIPCIÓN DE LA CARGA	CARGA (VA)	TENSIÓN (V)	FP	CORRIENTE TOTAL (A)	CONDUTOR
Iluminación	20	120	0,9	0,2	2x14+14 AWG
Calefacción	200	120	0,9	2,3	2x14+14 AWG
Tomacorriente auxiliar	200	120	0,9	2,3	2x14+14 AWG
ME01	60	120	0,9	0,7	2x14+14 AWG
ME02	60	120	0,9	0,7	2x14+14 AWG
MC01	60	120	0,9	0,7	2x14+14 AWG
<b>TOTAL</b>	<b>420</b>	<b>120</b>	<b>0,9</b>	<b>4,9</b>	<b>2x12+12 AWG</b>

TABLA XVI. CONDUCTORES SELECCIONADOS POR AMPACIDAD - CELDA PROYECTADA 34,5kV (+H4)

DESCRIPCIÓN DE LA CARGA	CARGA (VA)	TENSIÓN (V)	FP	CORRIENTE TOTAL (A)	CONDUTOR
Señalización	20	120	0,9	0,2	2x14+14 AWG
Alimentación interruptor	1500	120	0,9	17,4	2x12+12 AWG
Relé de protección	60	120	0,9	0,7	2x14+14 AWG
<b>TOTAL</b>	<b>1580</b>	<b>120</b>	<b>0,9</b>	<b>18,3</b>	<b>2x10+10 AWG</b>

### 3. Cálculo de caída de tensión

Partiendo de los conductores seleccionados en las tablas anteriores y los consumos de potencia de cada circuito, se procede en el presente capítulo con el cálculo de caída de tensión.

La caída tensión hace referencia a la cantidad de tensión perdida en un circuito, ocasionada por la resistencia de los conductores eléctricos. Por lo tanto, es necesario evaluar para cada circuito el porcentaje de caída de tensión y determinar si este porcentaje se encuentra dentro de los límites permisibles. Según lo establecido en la norma NTC 1340, la caída de tensión en los circuitos de baja tensión no debe superar el 5%.

En el caso de que alguno de los conductores seleccionados supere el 5% de caída de tensión, es necesario aumentar el calibre del conductor y realizar nuevamente el cálculo, hasta encontrar el calibre adecuado que obtenga una caída de tensión dentro de los límites permisibles.

En la siguiente tabla se presenta el cálculo de caída de tensión para cada uno de los circuitos eléctricos del proyecto.

TABLA XVII. SELECCIÓN DE CONDUCTORES POR CAÍDA DE TENSIÓN – TABLERO DE MEDIDA EXISTENTE (+Q01)

DESCRIPCIÓN	TENSIÓN (V)	CALIBRE (AWG)	POTENCIA (VA)	CORRIENTE (A)	LONGITUD (m)	IMPEDANCIA EQUIVALENTE	CAÍDA DE TENSIÓN (V)	% CAÍDA DE TENSIÓN	CAÍDA DE TENSIÓN % <5%
ME05	60	14	0,9	0,7	4	0,0093	0,05	0,37%	Cumple

**TABLA XVIII. SELECCIÓN DE CONDUCTORES POR CAÍDA DE TENSIÓN – TABLERO DE MEDIDA PROYECTADO (+Q03)**

DESCRIPCIÓN	TENSIÓN (V)	CALIBRE (AWG)	POTENCIA (VA)	CORRIENTE (A)	LONGITUD (m)	IMPEDANCIA EQUIVALENTE	CAÍDA DE TENSIÓN (V)	% CAÍDA DE TENSIÓN	CAÍDA DE TENSIÓN % <5%
Iluminación	120	14	20	0,2	4	0,0093	0,02	0,01%	Cumple
Calefacción	120	14	200	2,3	4	0,0093	0,17	0,14%	Cumple
Tomacorriente auxiliar	120	14	200	2,3	4	0,0093	0,17	0,14%	Cumple
ME01	120	14	60	0,7	4	0,0093	0,05	0,04%	Cumple
ME02	120	14	60	0,7	4	0,0093	0,05	0,04%	Cumple
MC01	120	14	60	0,7	4	0,0093	0,05	0,04%	Cumple
<b>TOTAL</b>	<b>120</b>	<b>12</b>	<b>420</b>	<b>4,9</b>	<b>5</b>	<b>0,0060</b>	<b>0,29</b>	<b>0,24%</b>	<b>Cumple</b>

**TABLA XIX. SELECCIÓN DE CONDUCTORES POR CAÍDA DE TENSIÓN – CELDA PROYECTADA 34,5kV DE MEDIDA EXISTENTE (+H4)**

DESCRIPCIÓN	TENSIÓN (V)	CALIBRE (AWG)	POTENCIA (VA)	CORRIENTE (A)	LONGITUD (m)	IMPEDANCIA EQUIVALENTE	CAÍDA DE TENSIÓN (V)	% CAÍDA DE TENSIÓN	CAÍDA DE TENSIÓN % <5%
Señalización	120	14	20	0,2	4	0,0093	0,02	0,01%	Cumple
Alimentación interruptor	120	12	1500	17,4	4	0,0060	0,84	0,70%	Cumple
Relé de protección	120	14	60	0,7	4	0,0093	0,05	0,04%	Cumple
<b>TOTAL</b>	<b>120</b>	<b>10</b>	<b>1580</b>	<b>18,3</b>	<b>27</b>	<b>0,0036</b>	<b>3,54</b>	<b>2,95%</b>	<b>Cumple</b>

Se observa en la última columna de las tablas, que ninguno de los circuitos supera el 5% de caída de tensión, por tanto, se conserva los calibres seleccionados en el ítem anterior. Los cálculos mostrados en este capítulo son referenciales, ya que las longitudes tomadas en cada circuito son estimadas y éstas podrán variar un poco dependiendo del punto exacto de conexión. Cabe destacar que las caídas de tensión del proyecto son muy pequeñas, por tanto, presenta buena holgura, sin embargo, se recomienda que este sea realizado nuevamente en una posterior etapa de ingeniería donde se cuente con las distancias y los consumos exactos con el fin de validar los cálculos realizados.

#### 4. Selección de conductor eléctrico entre el tablero por regulación de tensión

En esta sección se presentan los parámetros tenidos en cuenta para la selección de los conductores alimentadores del tablero de medida y la celda en media tensión proyectada. De la Tabla XX se tiene la caída de tensión que tendría el circuito alimentador, los valores calculados cumplen con lo expresado en la normativa vigente. Estos cálculos pueden variar si las distancias expresadas en las tablas varían. A continuación, los resultados obtenidos.

TABLA XX. SELECCIÓN DE ALIMENTADORES POR CAÍDA DE TENSIÓN AC

DESCRIPCIÓN	TENSIÓN (V)	CALIBRE (AWG)	POTENCIA (VA)	CORRIENTE (A)	LONGITUD (m)	IMPEDANCIA EQUIVALENTE	CAÍDA DE TENSIÓN (V)	% CAÍDA DE TENSIÓN	CAÍDA DE TENSIÓN % <5%
+NE1 A +Q03	120	12	420	5	5	0,0060	0,29	0,24%	Cumple
+NE1 A +H4	120	10	1580	18,3	27	0,0036	3,54	2,95%	Cumple

El ítem 4 muestra los conductores y sus calibres correspondientes los cuales cumplen con la normativa vigente, todos los porcentajes de caída de tensión están por debajo del 5% por lo cual se puede implementar el calibre estipulado en las tablas o conductores de mayor calibre en caso de que así el cliente lo solicite.

Cabe aclarar que los resultados pueden variar al momento de que se definan los equipos definitivos, esto debido a que los cálculos realizados se basan en consumos referenciales, por lo tanto, deben corroborarse los cálculos con los valores de consumo de los equipos definitivos, así como confirmar las distancias con las que se realizaron los cálculos, si los valores superan el 5% se deben cambiar los calibres estipulados en el presente documento.

#### D. Cargabilidad, saturación y regulación transformadores de medida

En este ítem se presentan los cálculos asociados a los equipos primarios de medida a nivel de 34.5 kV para la integración de PS El Colibrí a la celda +H4 de la subestación Juan Mina.

### 1. Dimensionamiento de transformadores de medida y protección

Para la integración del parque solar es necesario contar con puntos de medición para control, protección y medida en la conexión entre el tren de celdas a 34.5 kV de la subestación Juan Mina y la red a 34.5 kV proveniente del parque solar.

Para iniciar con el respectivo dimensionamiento de los transformadores es necesario determinar los diferentes tipos de núcleos a implementar en cada punto de interés, en el caso de la integración del parque solar es necesario implementar equipos con núcleos de medida y protección. Inicialmente las características asociadas a los núcleos de protección tanto de PT's y CT's son los mostrados en la tabla XXI, en los siguientes ítems se hará el cálculo correspondiente de estos valores con el fin de verificar si cumplen con la normativa correspondiente o si deben corregirse.

TABLA XXI. CARACTERÍSTICAS NÚCLEOS TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTACIÓN

Ubicación transformadores	Núcleos	
	Medida	Protección
CT – Llegada parque solar celda +H4	0.2S	5P20
PT – Llegada parque solar celda +H4	0.5	3P

### 2. Cálculo del transformador de tensión y corriente

Para determinar el cálculo de cargabilidad se consideran modelos referenciales de los dispositivos de medida, protección y control. En la Tabla XXII se presenta la lista de equipos con los respectivos consumos típicos de sus entradas para señales de medición tanto de corriente y tensión. Los equipos considerados no necesariamente coincidirán con el suministro final del proyecto, pero, cumplen con lo requerido para el objeto de este documento. En caso de que los consumos presentados por los equipos realmente instalados tengan diferencias significativas con los utilizados para el cálculo, es necesario realizar de nuevo los cálculos y validar que cumplan los requisitos normativos.

TABLA XXII. CONSUMOS DE ENTRADAS DE CORRIENTE Y TENSIÓN DE DISPOSITIVOS

Equipo	Descripción	Consumo de entradas en (VA)	
		Tensión	Corriente
PM3250 - Schneider	Medidor de energía principal	0.2	0.036
PM3250 - Schneider	Medidor de energía de respaldo	0.2	0.036
SEL-735	Medidor de energía de calidad	0.003	0.12
PM3250 - Schneider	Medidor de energía de contraste	0.2	0.036
ZIV H7IRV1803A	Relé de control y protección	0.1	0.2

Luego de verificar que equipos están conectados a cada circuito, es necesario estimar la ruta de cableado necesaria para llevar las señales desde los bornes secundarios de los transformadores hasta los equipos que recibirán dichas señales. Las siguientes distancias son estimadas y pueden cambiar, por lo que es necesario validar esta distancia para verificar los cálculos y el cumplimiento del burden en los transformadores.

- **Ruta cableado:** En este ítem se define la distancia aproximada que se requiere desde los transformadores de corriente y de potencial hasta los equipos secundarios.

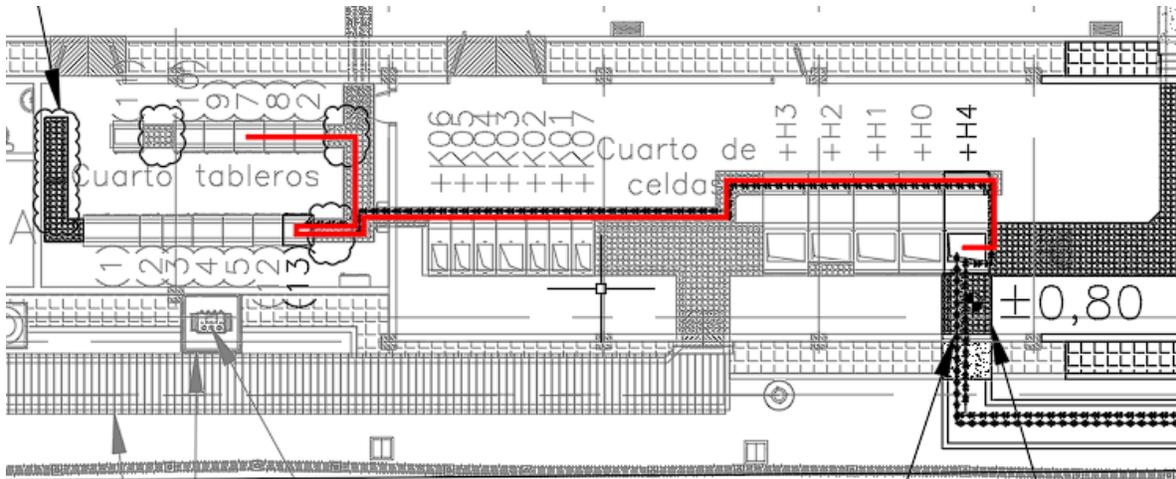


Fig 1. Ruta de cableado eléctrico

En resumen, las distancias empleadas para el cálculo de cargabilidad de los transformadores se presentan en la siguiente tabla:

TABLA XXIII. DISTANCIAS CABLEADO

Punto de interés	Distancia (m)
Celda +H4	7
Celda +H4 a tableros de medidores proyectado y existente	66

### 3. Clases de precisión

Un transformador de corriente en términos idealistas es un transformador cortocircuitado, donde la tensión en sus terminales secundarias es cero y la corriente de magnetización se considera despreciable, pero, en la práctica esta corriente no es despreciable, por lo que provoca un error en la medida.

Según la Tabla 202 de la norma IEC 61869-2 el error porcentual en la medición cambia conforme cambie la corriente primaria del transformador, es por esto que para valores de corriente inferiores al 20% del valor nominal el porcentaje de error es mayor que el nominal, ahora para el rango de corriente entre el 20% y el 120% del valor nominal, el error se encuentra dentro del nominal y finalmente para valores por encima del 120% del valor nominal de corriente, el error de medición vuelve a ser superior al nominal.

- **Núcleos de medida:** Partiendo de lo mencionado en la norma IEC 61869-2 y en el código de medida colombiano CREG 038 DE 2014 los transformadores de corriente deben tener una clase de precisión mínima de 0.5S, para el proyecto se selecciona la clase 0.2S garantizando una mayor precisión, con esto se garantiza el porcentaje de error nominal para todo valor de carga comprendido entre el 25% y el 100% de la potencia de salida asignada siempre que se tengan corrientes en el secundario del transformador entre el 20% y el 120% de su valor nominal.
- **Núcleos de protección:** Para que estos transformadores no afecten la precisión de los equipos de protección es necesario cumplir que estos no se saturen hasta el punto de ajuste de las protecciones. En pocas palabras es necesario validar que la corriente máxima a la que se mantiene la precisión del transformador es superior al nivel de cortocircuito del punto de interés.

#### 4. Relación de transformación transformadores de corriente

Esta relación depende de la corriente a medir en el punto de interés, que a su vez está determinada por la potencia asignada en dicho punto. Con base en NTC 5019 - 2018 la corriente primaria del equipo debe estar entre el 80% y el valor de corriente nominal multiplicada por un factor de cargabilidad, para este documento dicha factor de cargabilidad será de 1.2 veces la corriente a plena carga del sistema eléctrico. Los valores normalizados para corriente secundaria de los transformadores de corriente son de 5 A, pero en casos especiales se puede emplear una corriente secundaria de 1 A, casos tales como cuando la distancia entre los transformadores de corriente y el medidor es tan grande que una corriente secundaria de 5A supera la potencia nominal de los transformadores de medida que existen en el mercado.

En la siguiente tabla se muestra la selección de la relación de transformación para núcleo de protección y medida de los transformadores de corriente.

TABLA XXIV. RELACIÓN DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

Ubicación transformadores	Núcleos	Relación
CT – Llegada parque solar celda +H4	5P20	600/5
	0.2S	600/5

## 5. Cálculo de cargabilidad transformadores de corriente

Para el cálculo de la cargabilidad del CT se debe calcular la carga real y el porcentaje de esta respecto a la carga nominal, para esto se utilizaron las siguientes formulas:

$$B_c = R_c I_s^2$$
$$B_r = B_e + B_c$$
$$\%Carga = \frac{B_r}{B_n}$$

Donde:

$B_e$ : Burden total de los equipos [VA].

$B_n$ : Burden nominal del CT [VA].

$B_c$ : Burden del conductor [VA].

$B_r$ : Burden real secundario total [VA].

Para el CT de medida, los errores en las clases de precisión 0.2S y 0.5S no deben superar los límites establecidos en la Tabla 202 de la norma IEC 61869-2 y el burden conectado debe oscilar entre el 25% y el 100% del burden nominal como se estipula en la NTC 5019. Luego la carga real debe estar entre el siguiente rango:

$$25\% \leq \%Carga \leq 100\%$$

Para el CT de protección, si es burden calculado se encuentra en el rango del 0% al 100% el equipo cumple con la cargabilidad y no afecta la precisión de la medida.

$$0\% \leq \%Carga \leq 100\%$$

Las siguientes tablas muestran la información preliminar de los circuitos en cuestión, la carga real calculada para estos y los respectivos resultados de cargabilidad para el núcleo de protección y el núcleo de medida del transformador de corriente.

TABLA XXV. INFORMACIÓN PRELIMINAR PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE CT

Llegada parque solar celda +H4 - 34,5kV	Descripción de recorrido	Distancia [m]	Conductor [AWG]
600/5A-10VA, 5P20	+H4	7	14
600/5A-10VA, 0,2s	+H4 → +Q03(Proyectado) → +Q01(Existente)	66	12

TABLA XXVI. CARGA REAL SECUNDARIO EN TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

Clase TC	Equipos	Cantidad	Consumo [VA]	Unidad	Br [VA]
600/5A-10VA, 5P20	Conductor secundario	7	1,51	Metros	1,71
	Relé de protección	1	0,20	Unidad	
600/5A-10VA, 0,2s	Conductor secundario	66	9,00	Metros	9,29
	Contador de energía	4	0,29	Unidad	

TABLA XXVII. VALIDACIÓN CARGABILIDAD TRANSFORMADORES DE CORRIENTE  
NÚCLEO DE MEDIDA

Clase TC	Descripción	Inp [A]	Ins [A]	Bn [VA]	Conductor [AWG]	Longitud [m]	Br [VA]	%Carga	Check mínima carga	Check máxima carga
600/5A-10VA, 0,2s	Llegada parque solar celda +H4	600	5	10	12	66	9,29	92,91%	✓	✓

TABLA XXVIII. VALIDACIÓN CARGABILIDAD TRANSFORMADORES DE  
CORRIENTE NÚCLEO DE PROTECCIÓN

Clase TC	Descripción	Inp [A]	Ins [A]	Burden nominal	Conductor [AWG]	Longitud [m]	Burden real	%Carga	Check cargabilidad
600/5A-10VA, 5P20	Llegada parque solar celda +H4	600	5	10	14	7	1,71	17,10%	✓

#### 6. Cálculo de saturación transformadores de corriente

Para efectos de cálculo de saturación se debe tener la ficha técnica del equipo a implementar ya que se necesita la resistencia del devanado secundario y la curva de saturación para determinar la tensión máxima del equipo en función de la relación de transformación. Luego se debe validar cada uno de los criterios como se muestra a continuación:

Para el cálculo de la saturación del núcleo de protección del CT y partiendo de la ficha técnica del equipo se calcula la tensión en el secundario del CT.

$$R_s = R_c + R_{br}$$

$R_c$ : Resistencia del conductor [ $\Omega$ ].

$R_s$ : Resistencia del circuito secundario [ $\Omega$ ].

$R_{br}$ : Resistencia de burden nominal de equipos [ $\Omega$ ].

$$V_{sec} = \frac{I_{cc,max}}{\left(\frac{I_p}{I_s}\right)} (R_{CT} + R_s)$$

$R_B$ : Resistencia del burden nominal del CT [ $\Omega$ ].

$R_{CT}$ : Resistencia del devanado secundario CT [ $\Omega$ ].

$I_{cc,max}$ : Corriente máxima de cortocircuito a la cual el transformador de corriente mantiene la precisión [A].

$I_p$ : Corriente nominal primaria [A].

$I_s$ : Corriente nominal secundaria [A].

Para que el CT seleccionado cumpla con la normativa vigente y no presente errores en la medida se debe cumplir lo siguiente:

$$V_{s,max} > V_{sec}$$

$V_{sec}$ : Voltaje de secundario [V].

$V_{s,max}$ : Voltaje de saturación [V].

TABLA XXIX. RESULTADOS DE SATURACIÓN OBTENIDOS

Clase TC	Descripción	Inp [A]	Ins [A]	Icc Máx [A]	Rct [Ohm]	Rbr [Ohm]	Rc [Ohm]	Rs [Ohm]	Vsec [V]	Vs,max [V]	Check saturación
600/5A-10VA, 5P20	Llegada parque solar celda +H4	600	5	25000	0,193	0,008	0,0604	0,0684	54,46	100	✓

**Nota:** Los cálculos se hicieron con fichas técnicas referenciales por lo que el cálculo de saturación debe realizarse de nuevo cuando se tengan las fichas técnicas de los equipos definitivos.

Por último, se debe garantizar que la precisión del CT se mantenga en las condiciones de falla, Es decir, el transformador de corriente deberá cumplir con la precisión especificada para la magnitud de corriente más grande de falla que se presente en el sistema.

Normalmente en este cálculo es necesario contar con el factor límite de precisión actual ( $ALF_R$ ) o de condiciones normales y con el factor de límite de precisión nominal ( $ALF$ ). Donde ambos son proporcionales a la relación entre la carga admisible y la carga actual del transformador de corriente. Tal como se muestra en la siguiente expresión:

$$ALF_R = ALF \cdot \left[ \frac{R_{CT} + R_B}{R_{CT} + R_S} \right]$$

Donde:

$R_B$ : Resistencia del burden nominal del CT [ $\Omega$ ].

$R_{CT}$ : Resistencia del devanado secundario CT [ $\Omega$ ].

$ALF_R$ : Factor de límite de precisión actual.

$ALF$ : Factor límite de precisión nominal.

Para validar si el CT de protección seleccionado cumple con los requerimientos de soportabilidad de corriente máxima del sistema, se tiene que cumplir lo siguiente:

$$I_{ALF_R} = ALF_R \cdot I_p$$

$$I_{cc,max} \leq I_{ALF_R}$$

Donde:

$I_p$ : Corriente nominal primaria [A].

$I_{cc,max}$ : Corriente máxima de cortocircuito a la cual el transformador de corriente mantiene la precisión [A].

$I_{ALF_R}$ : Corriente primaria con factor límite de precisión actual.

Partiendo de los niveles de cortocircuitos obtenidos del diagrama unifilar de protecciones, el barraje de 34.5kV se tiene que para los puntos de interés del proyecto los niveles de cortocircuito son inferiores a 25 kA. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos en la validación de las características del CT.

TABLA XXX. RESULTADOS DE PRECISIÓN EN CONDICIONES DE FALLA

Clase TC	Descripción	Inp [A]	Ins [A]	Icc Máx [A]	Rct [Ohm]	RB [Ohm]	Rbr [Ohm]	Rc [Ohm]	Rs [Ohm]	ALF Nominal	ALF Real	IALF Real [A]	Check Icc,max
600/5A-10VA, 5P20	Llegada parque solar celda +H4	600	5	25000	0,193	0,4	0,008	0,0604	0,0684	20	45,37	27224,26	✓

Los resultados en este ítem ratifican las características propuestas para el CT. Todas se encuentran dentro de los rangos permitidos por lo tanto cumplen con la normativa vigente. Sin embargo, algunos cálculos fueron hechos con información referencial por lo tanto estos cálculos deben

realizarse de nuevo con los valores de fichas técnicas de los equipos definitivos y de ser necesario realizar las correcciones correspondientes.

### 7. Cálculo del transformador de potencial

Un transformador de tensión es idealmente un transformador sin carga, donde la corriente que circula por los secundarios de este es nula y la caída de tensión es solo causada por la corriente de magnetización que en su mayoría se considera despreciable.

Para la protección del sistema Juan Mina existente y el parque solar, es necesario que el relé de control y protección ubicado en la celda Llegada PS El Colibrí +H4 tenga como referencia la tensión de la barra del tren de celdas, por tanto, se conectará a los transformadores existentes. En la siguiente tabla se muestra las características seleccionadas para relación de transformación, clase de precisión y burden

TABLA XXXI. RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN DE POTENCIAL

Ubicación transformadores	Núcleos	Relación	Burden
PT – Llegada parque solar celda +H4	3P	$34500/\sqrt{3} - 115/\sqrt{3}$	10 VA
	0,5	$34500/\sqrt{3} - 115/\sqrt{3}$	10 A

### 8. Cálculos transformadores de potencial

Para determinar la cargabilidad de cada uno de los transformadores de potencial es necesario tener presente lo siguiente:

- La carga conectada en los transformadores de potencial para medida es la obtenida entre el consumo representado por los medidores de energía y el cableado entre los transformadores y los medidores.
- La carga conectada en los transformadores de potencial para protección es la obtenida entre el consumo representado por los relés de protección y el cableado entre los transformadores y los equipos.

En la siguiente tabla se presentan los transformadores seleccionados para ser objeto de verificación:

TABLA XXXII. INFORMACIÓN PRELIMINAR PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE PT

Llegada parque solar celda +H4 - 34,5kV	Descripción de recorrido	Distancia [m]	Conductor [AWG]
3P-10VA	+H4	7	14
0,5-10VA	+H4 → +Q03(Proyectado) → +Q01(Existente)	34	14

Partiendo de lo mencionado en la Tabla XXII, se tiene que los consumos asociados a cada uno de los equipos son los siguientes:

TABLA XXXIII. CÁLCULO DE CONSUMO SECUNDARIO TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

Clase TP	Equipos	Cantidad	Consumo [VA]	Unidad	Br [VA]
3P-10VA	Conductor secundario	7	0,00	Metros	0,10
	Relé de protección	1	0,10	Unidad	
0,5-10VA	Conductor secundario	34	0,00	Metros	0,60
	Contador de energía	4	0,60	Unidad	

TABLA XXXIV. IMPEDANCIAS DE ENTRADAS DE TENSIÓN DE DISPOSITIVOS

Equipo	Descripción	Impedancia [MΩ]
PM3250 - Schneider	Medidor de energía principal	3
PM3250 - Schneider	Medidor de energía de respaldo	3
SEL-735	Medidor de energía de calidad	10
PM3250 - Schneider	Medidor de energía de contraste	3
ZIV H7IRV1803A	Relé de control y protección	0.14

Partiendo de los datos mostrados, en la siguiente tabla se efectúan los cálculos para validar el cumplimiento de los transformadores de potencial:

Criterios para validar si el PT de medida seleccionado cumple con los requerimientos de cargabilidad, queda entonces como:

$$B_c = \frac{V_c^2}{R_c}$$

$B_c$ : Burden del conductor [VA].

$R_c$ : Resistencia del conductor [Ω].

$V_c$ : Voltaje del conductor [V].

Debido a que la corriente en los conductores es tan baja podemos decir que la tensión es casi nula, entonces el burden de los conductores también es despreciable:

$$B_r = B_e + B_c$$

$$B_r = B_e$$

$$\%Carga = \frac{B_r}{B_n}$$

Donde:

$B_e$ : Burden total de los equipos [VA].

$B_n$ : Burden nominal del PT [VA].

$B_r$ : Burden real secundario total [VA].

$B_c$ : Burden del conductor [VA].

En general los transformadores de potencial deben tener una carga conectada en su respectivo secundario que se encuentre entre el 0 y 100% de su valor nominal, pero, es necesario contar con certificado de calibración que garantice la correcta operación del equipo en este rango. Lo anterior aplica para las aplicaciones de protección y medida.

$$0\% \leq \%Carga \leq 100\%$$

Para validar si el PT cumple con los requerimientos de regulación, queda entonces como:

$$V_{Re} = \frac{V_s R_e}{R_e + 2R_c}$$

$$V_c = V_s - V_{Re}$$

$$\%\Delta V = \left( \frac{V_s - V_{Re}}{V_{Re}} \right) (100)$$

$R_e$ : Resistencia equivalente de los equipos [ $\Omega$ ].

$V_s$ : Voltaje secundario [V].

$V_{Re}$ : Voltaje de los equipos [V].

TABLA XXXV. VALIDACIÓN TRANSFORMADORES DE POTENCIAL NÚCLEO DE MEDIDA

Clase TP	Vp [V]	Vs [V]	Bn [VA]	Longitud [m]	Rc [Ohm]	Be [VA]	Br [VA]	%Carga	Check cargabilidad
0,5	19918,58	66,395	10	34	0,293	0,60	0,60	6%	✓

TABLA XXXVI. VALIDACIÓN TRANSFORMADORES DE POTENCIAL NÚCLEO DE PROTECCIÓN

Clase TP	Vp [V]	Vs [V]	Bn [VA]	Longitud [m]	Rc [Ohm]	Be [VA]	Br [VA]	%Carga	Check cargabilidad
3P	19918,58	66,395	10	7	0,0604	0,10	0,10	1%	✓

Respecto al transformador de potencial para medida, se tiene que este operará con un error porcentual mayor al nominal (0.2%) ya que, la carga conectada al equipo es inferior al 25% de la carga de precisión nominal, por lo tanto, es necesario que estos transformadores cuenten con certificado de calibración desde los 0 VA para así garantizar el correcto funcionamiento del equipo con la carga actual.

#### 9. Cálculo de regulación transformadores de tensión

Para este cálculo se emplea los lineamientos planteados para los transformadores de corriente. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

TABLA XXXVII. CÁLCULO REGULACIÓN TRANSFORMADORES DE POTENCIAL NÚCLEO DE MEDIDA

Clase TP	Vp [V]	Vs [V]	Rc [Ohm]	Re [Ohm]	Br [VA]	VRe [V]	Caída [V]	%Reg	Check regulación
0,5	19918,6	66,395	0,569	909000,00	0,60	66,3952	0,00008	0,00013%	✓

TABLA XXXVIII. CÁLCULO REGULACIÓN TRANSFORMADORES DE POTENCIAL  
NÚCLEO DE PROTECCIÓN

Clase TP	Vp [V]	Vs [V]	Rc [Ohm]	Re [Ohm]	Br [VA]	VRe [V]	Caída [V]	%Reg	Check regulación
3P	19918,6	66,395	0,060	140000,00	0,10	66,3952	0,00006	0,00009%	✔

Como todos los resultados de regulación son inferiores al 0.1%, se tiene que estos cumplen con las recomendaciones normativas.

**Nota:** Los anteriores cálculos se realizaron con base a fichas técnicas de equipos referenciales, por lo tanto, es necesario validar los cálculos con los valores reales de los equipos que se van a instalar y de esta forma garantizar la correcta operación del sistema.

E. Diagramas unifilares de protección, medida y servicios auxiliares

1. Diagrama unifilar de protecciones

TABLA XXXIX. TABLA DE CONVENCIONES DEL DIAGRAMA UNIFILAR DE PROTECCIONES

CONVENCIONES	
SÍMBOLOS	DESCRIPCIÓN
	Transformador de potencia tridevanado
	Descargador de sobretensión.
	Transformador de servicios auxiliares.
	Transformador de tensión bidevanado.
	Transformador de corriente.
	Interruptor de potencia motorizado.
	Elemento extraíble.
	Seccionador motorizado.
	Seccionador con cuchilla de puesta a tierra.
	Interruptor de potencia.
	Cuchilla de puesta a tierra.
	Terminal de cable de potencia.
	Divisor capacitivo de tensión.
	Celdas AIS 34,5 kV.
	Celdas AIS 13,8 kV.
	Salida de línea o circuito.
	Cable de potencia monopolar.
	Existente.
	Proyectado.
	Señales de corriente
	Señales de tensión
	Disparos transferidos
	Relé de protección



## 2. Diagrama unifilar de medida

TABLA XL. TABLA DE CONVENCIONES DEL DIAGRAMA UNIFILAR DE MEDIDA

CONVENCIONES	
SÍMBOLOS	DESCRIPCIÓN
	Trasformador de potencia tridevanado.
	Descargador de sobretensión.
	Transformador de servicios auxiliares.
	Transformador de tensión bidevanado.
	Transformador de corriente.
	Interruptor de potencia motorizado.
	Elemento extraíble.
	Seccionador motorizado.
	Seccionador con cuchilla de puesta a tierra.
	Interruptor de potencia.
	Cuchilla de puesta a tierra.
	Terminal de cable de potencia.
	Divisor capacitivo de tensión.
	Celdas AIS 34,5 kV.
	Celdas AIS 13,8 kV.
	Salida de línea o circuito.
	Cable de potencia monopolar.
	Existente.
	Proyectado.
	Señal de tensión.
	Señal de corriente.
	Medidor de tarificación.
	Medidor de calidad.
	Medidor de contraste.

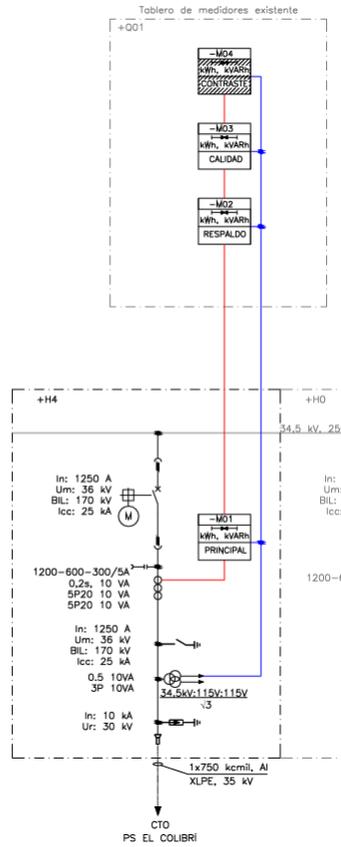


Fig 4. Diagrama unifilar de celda proyectada y tablero de medidores existente

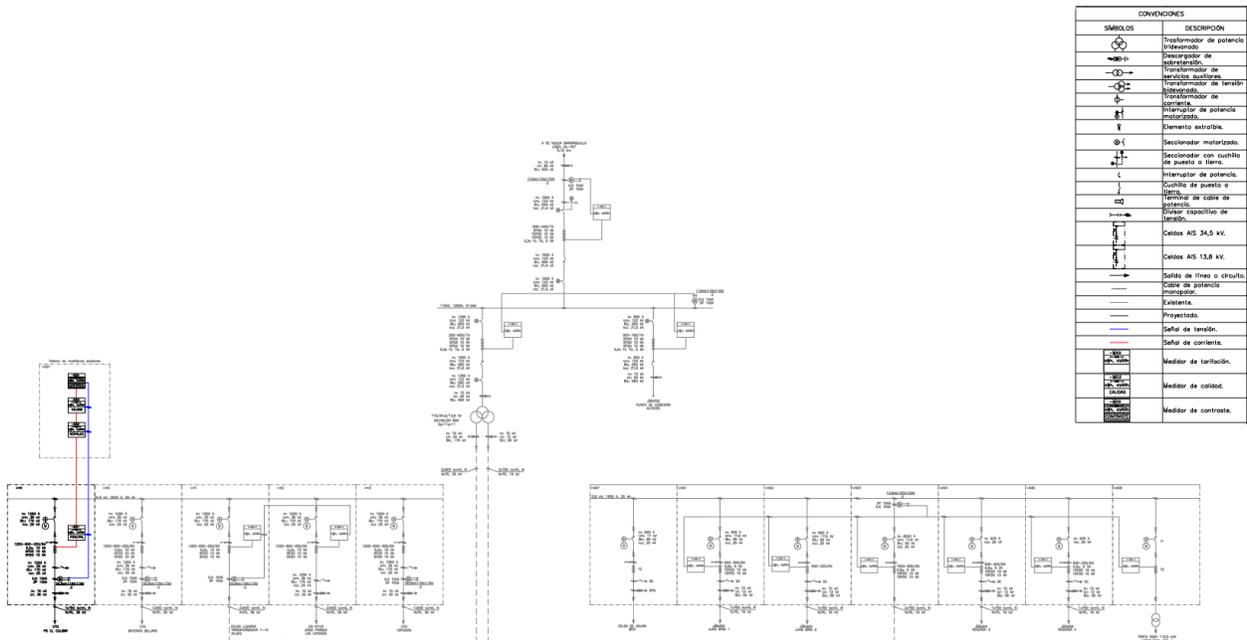


Fig 5. Diagrama unifilar general de medida

## F. Diagramas eléctricos

### 1. Diagrama eléctrico de tablero de medidores

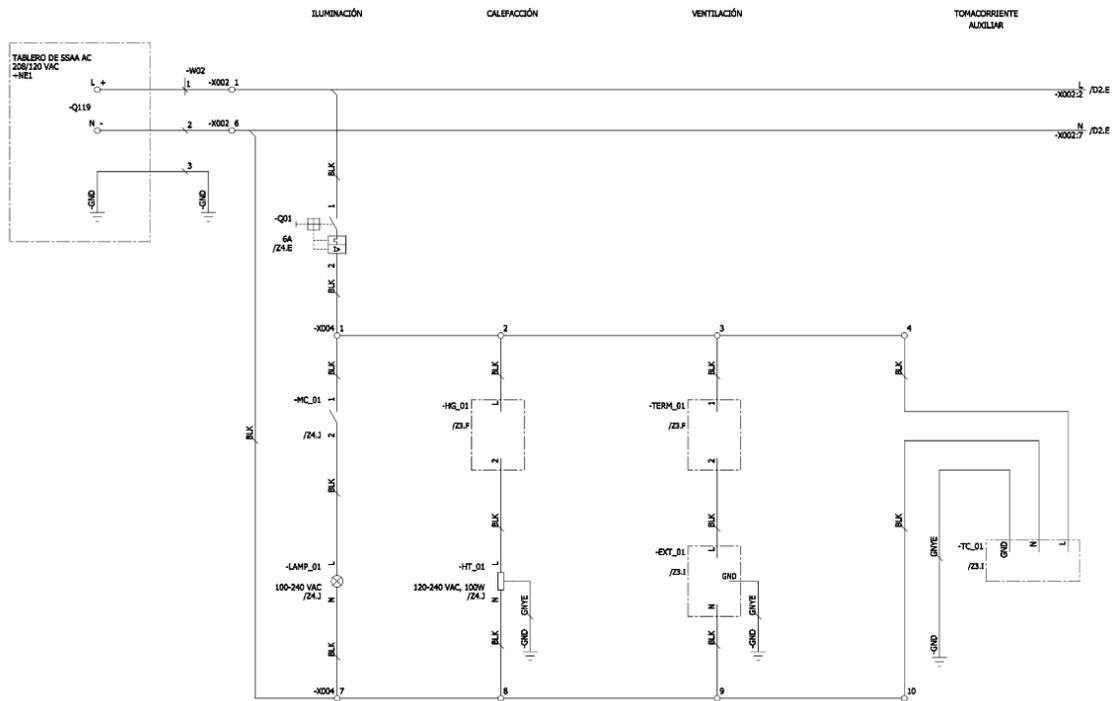


Fig 6. Diagrama eléctrico de SSAA del tablero de medidores

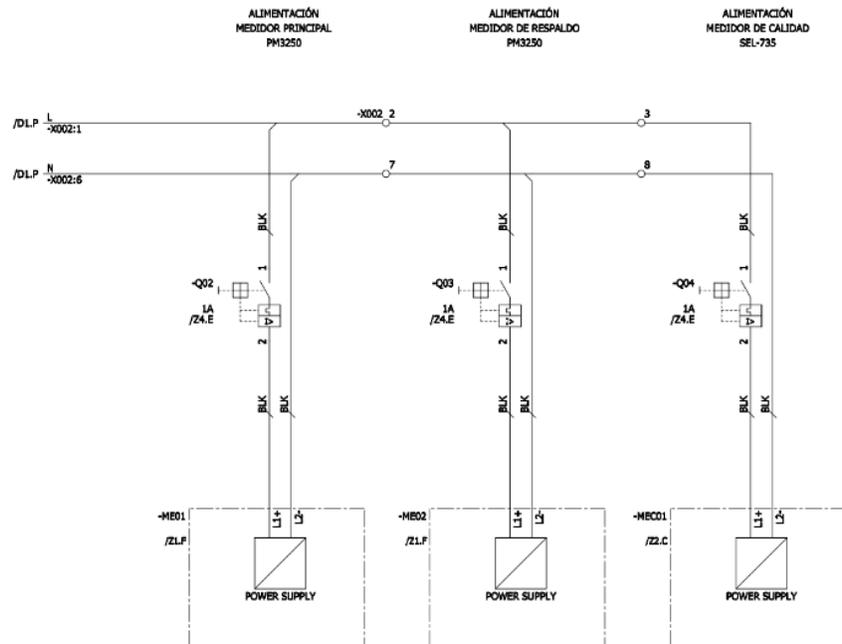


Fig 7. Diagrama eléctrico de alimentación de medidores

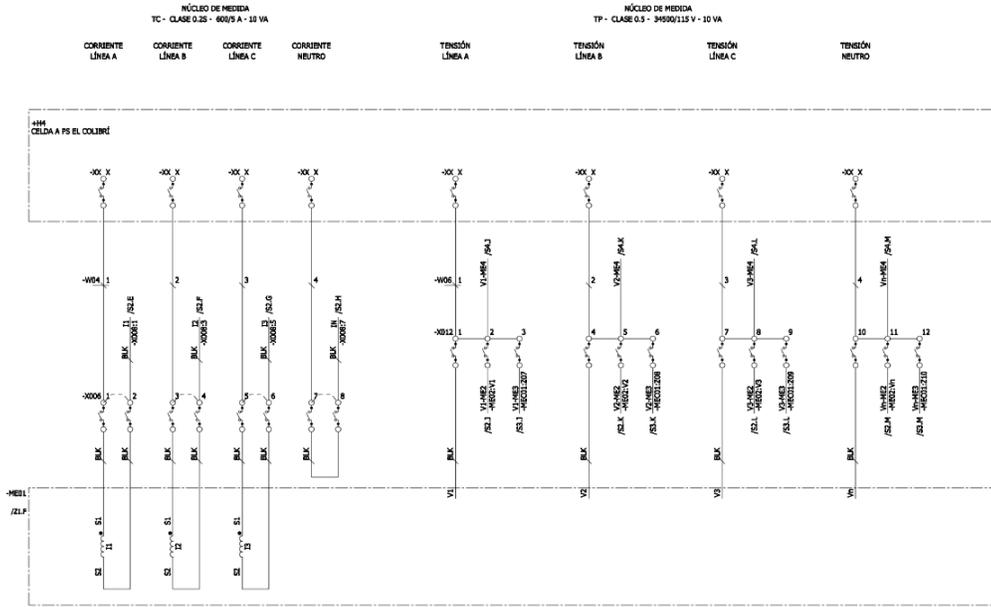


Fig 8. Diagrama eléctrico de núcleos de medida del medidor 1 (ME01)

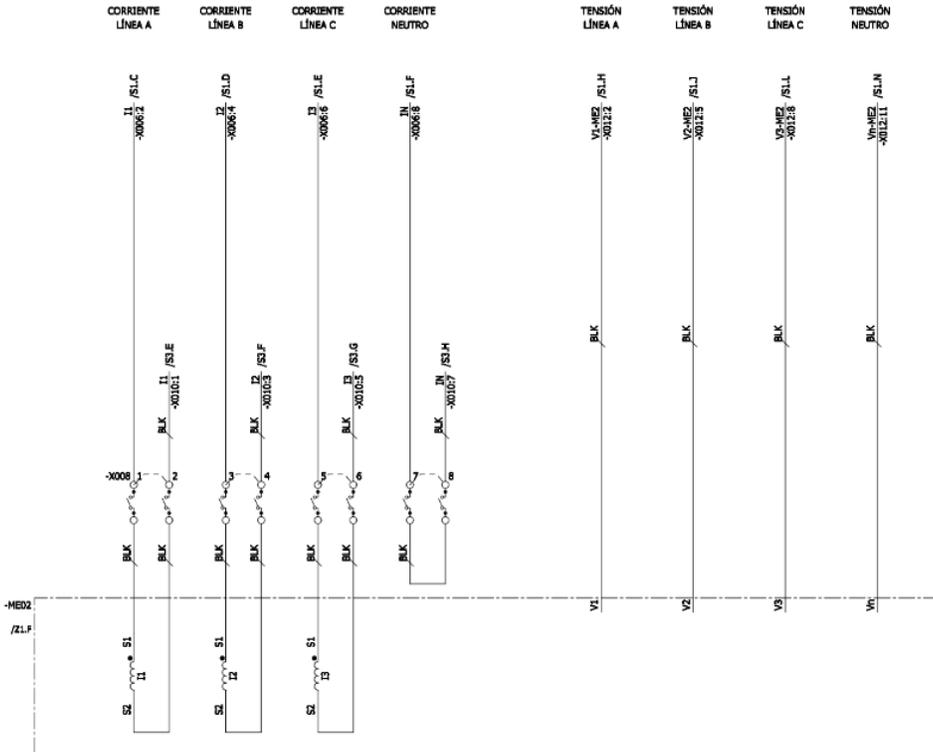


Fig 9. Diagrama eléctrico de núcleos de medida del medidor 2 (ME02)

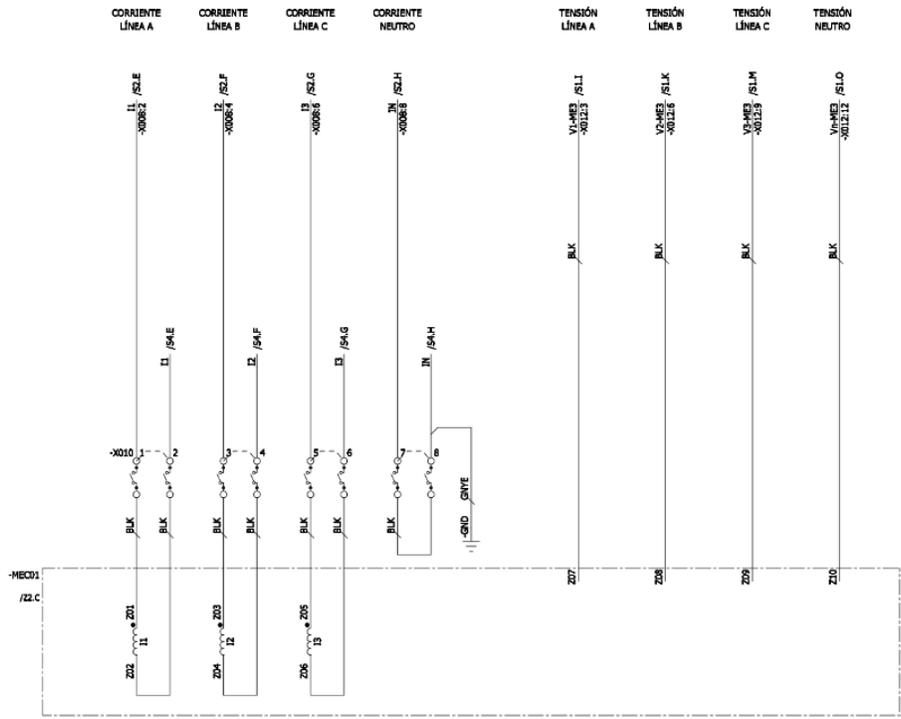


Fig 10. Diagrama eléctrico de núcleos de medida del medidor de calidad (MEC01)

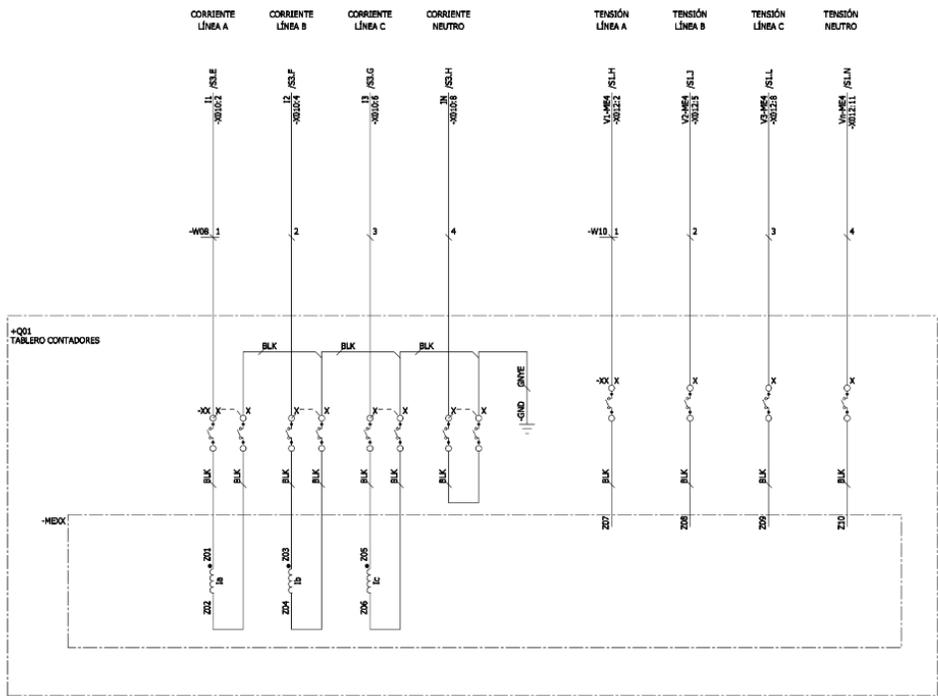


Fig 11. Diagrama eléctrico de la llegada de señales al tablero de contadores (+Q01)

## G. Diagrama mecánico

### 1. Diagrama mecánico de tablero de medidores

TABLA XLI. LISTADO DE MATERIALES DEL TABLERO DE MEDIDORES

LISTA MATERIALES					
ÍTEM	TAG	DESCRIPCIÓN	MARCA	REFERENCIA	CANTIDAD
1	-	Rack de comunicaciones autosoportado - Dimensiones - H:2100mm , W:800, D:800mm	-	-	1
2	-	Canaleta de cableado para la instalación y el montaje en armarios de control, gris claro, sin halógenos 60x80, tramo 2000mm	Phoenix Contact	CD-HF 60X80	2
3	-	Tapa para canaleta de cableado 60mm de ancho, gris claro, sin halógenos, tramo 2000mm, ancho 80mm	Phoenix Contact	CD-HF COVER 60	2
4	-	Canaleta de cableado para la instalación y el montaje en armarios de control, gris claro, sin halógenos 80x80, tramo 2000mm	Phoenix Contact	CD-HF 80X80	5
5	-	Tapa para canaleta de cableado 80mm de ancho, gris claro, sin halógenos, tramo 2000mm, ancho 80mm	Phoenix Contact	CD-HF COVER 80	5
6	-	Riel simétrico perforado - NS 35/7.5 tramo 2000mm	Phoenix Contact	NS 35/7.5	3
7	-GND_01	Barra de tierra	-	-	1
	-GND_02				1
8	-ME01	Medidor principal	Schneider	PM3250	1
9	-ME02	Medidor de respaldo	Schneider	PM3250	1
10	-ME01	Medidor de Calidad y Medidor de ingresos	SEL	SEL - 735	1
11	-	Aislador para barraje de 25mm con tornillos y arandelas, SM-25	EBCHQ	34025	4
12	-	Soporte para barras de tierra en lamina	Generico	Generico	2
13	-LAMP_01	Lámpara 11 W mas micro de accionamiento integrado 100 V - 240 V, 1~, 50 Hz/60 Hz	RITTAL	SZ 2500.200	1
14	-HG_01	Higrostat electrónico (calefacción): +40 a +90°C	Stego	MFR 012	1
15	-HT_01	Resistencia 100W, AC 110V - 240V, 1, 50 Hz/60 Hz	RITTAL	SK 3105.360	1
16	-TC_01	Tomacorriente dúplex con polo a tierra 2P+T	Legrand	686533	1
17	-MC_01	Switch fin de carrera para iluminación tablero	RITTAL	SZ 2500.470	1
18	-EXT_01	Conjunto ventilación, filtro, flujo de aire libre	STEGO	-	1
19	-X002	Borne de paso de 1 piso	Phoenix Contact	UTURTK	10
	-X004				12
20	-X006	Borne interrumpible para circuito de medida	Phoenix Contact	UT 4	8
	-X008				8
	-X010				8
	-X012				12
21	-Q01	Protección termomagnética MCB Monopolar 6A	ABB	S201-C6	1
22	-Q02	Protección termomagnética MCB Monopolar 1A	SCHNEIDER	A9F84101	1
	-Q03				1
	-Q04				1

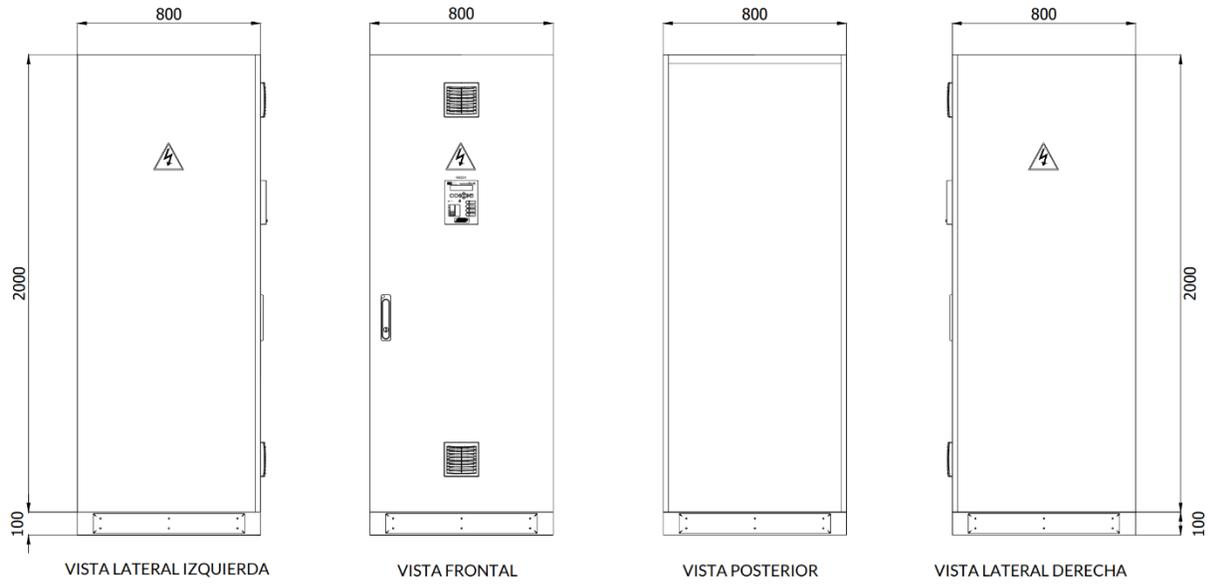


Fig 12. Dimensiones del tablero de medidores

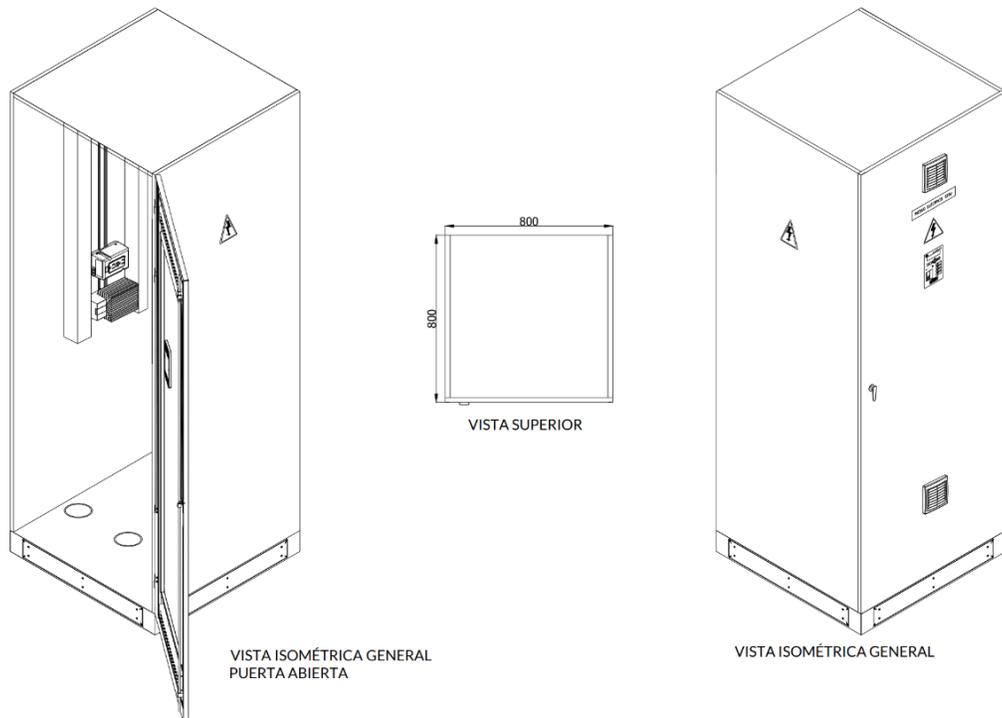


Fig 13. Vistas generales de tablero de medidores

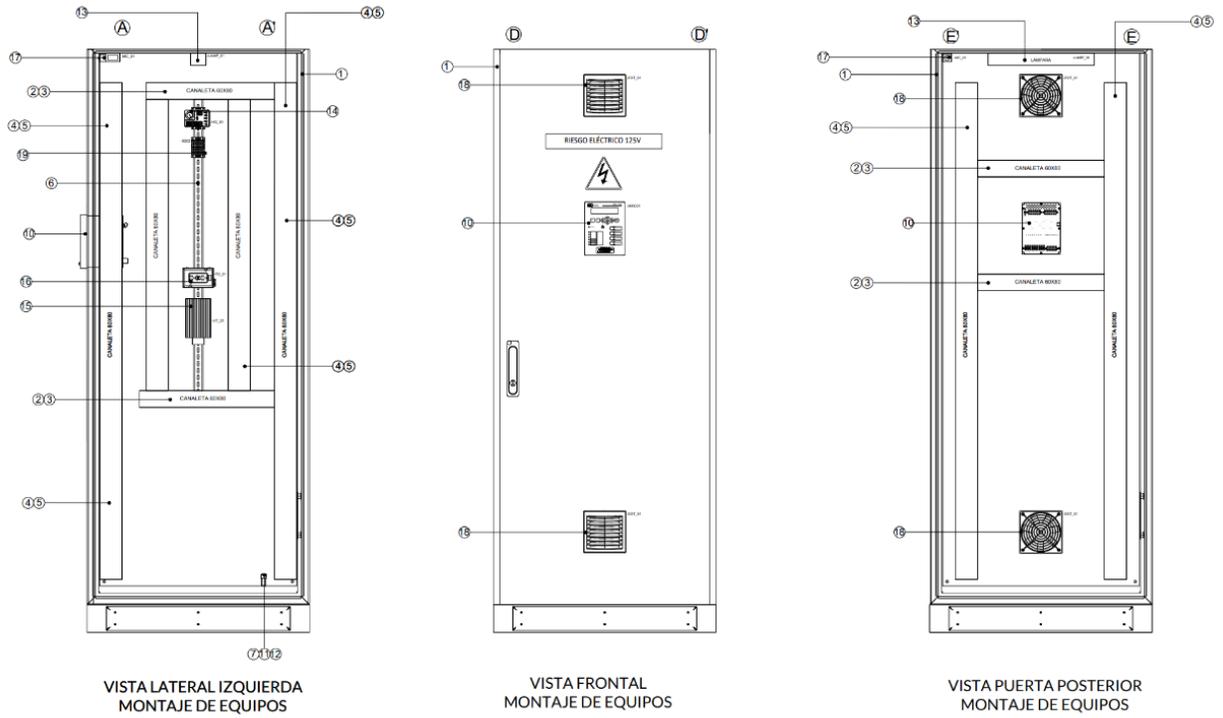


Fig 14. Vista de la disposición física de los equipos del tablero de medidores

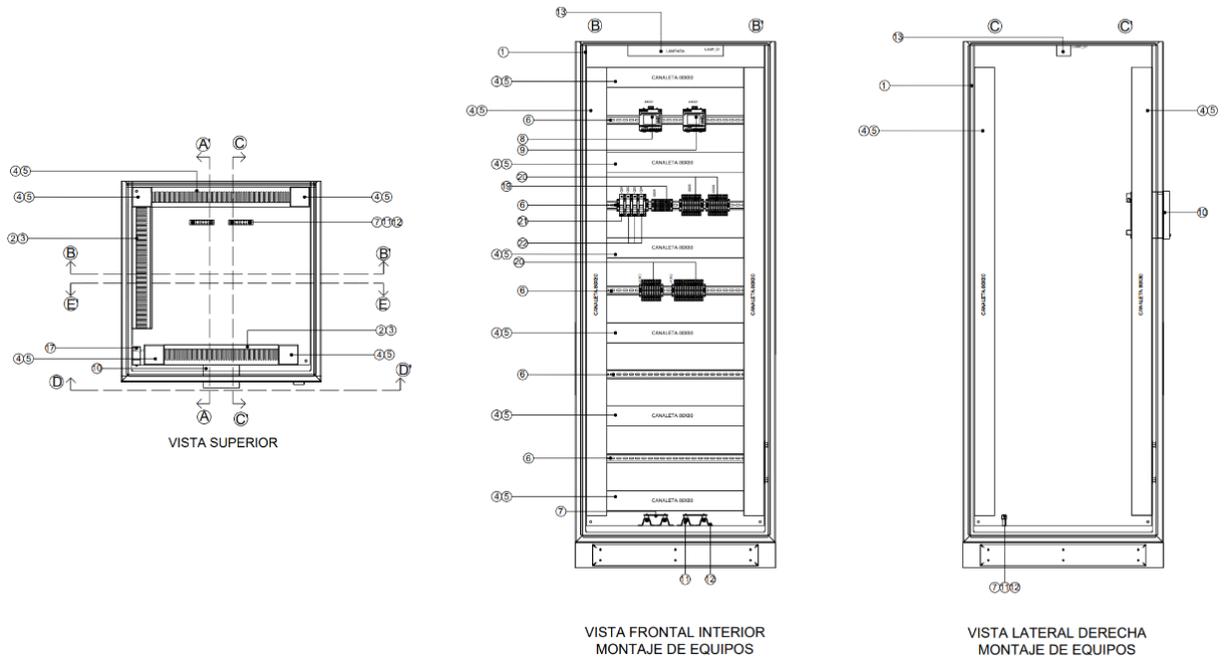


Fig 15. Vista de la disposición física de los equipos internos del tablero de medidores

## VI. ANÁLISIS

El diseño del sistema de control, protección y medición para la integración del parque solar "PS El Colibrí" a la subestación Juan Mina tiene como objetivo garantizar la seguridad y eficiencia de la operación. Este sistema incluye una celda de media tensión y un relé de protección que monitorea variables clave como tensión y corriente, actuando automáticamente ante cualquier anomalía. Además, se instalan medidores para tarifación y calidad de energía, cumpliendo con las normativas de medición vigentes. La comunicación entre los equipos se realiza mediante fibra óptica y cables UTP Cat 6, lo que asegura una transmisión de datos confiable y de baja latencia. De este modo, se garantiza una operación continua, segura y conforme a la normativa.

El dimensionamiento de los sistemas auxiliares para la integración del parque solar detalla los criterios para dimensionar las protecciones y los equipos necesarios para su correcta operación. Las celdas de media tensión y los tableros de medida se alimentarán desde el tablero de servicios auxiliares existente. El dimensionamiento de las cargas se basa en las fichas técnicas de los equipos y en cálculos de protecciones para asegurar su correcto funcionamiento. Se instalarán Miniature Circuit Breakers (MCB) para proteger los circuitos contra sobrecorrientes y cortocircuitos, considerando factores de seguridad que permiten futuras ampliaciones del sistema. Las protecciones de cada tablero y celda están diseñadas conforme a las características de las cargas esenciales y no esenciales, garantizando la seguridad y expansión futura.

En cuanto a los transformadores de medida y protección, se dimensionan transformadores de corriente (CT) y transformadores de potencial (PT) para garantizar la medición y protección en la conexión entre la subestación y el parque solar. Se realizan cálculos para verificar la cargabilidad, saturación, precisión y regulación de los transformadores, asegurando que operen dentro de los rangos establecidos por las normas IEC 61869-2 y la normativa colombiana. Sin embargo, dado que estos cálculos se basan en equipos referenciales, será necesario validar los resultados con los equipos finales para asegurar su correcto funcionamiento.

Los diagramas unifilares son fundamentales en este proceso, ya que proporcionan una representación clara de las conexiones eléctricas entre equipos clave como transformadores,

interruptores y medidores, además de especificar el tipo de cableado utilizado en cada circuito. Estos diagramas simplifican la visualización del sistema, facilitando la comprensión y el análisis de las interconexiones.

Por otro lado, los diagramas eléctricos detallados no solo representan la infraestructura general del sistema, sino que también detallan la conexión precisa de cada componente, incluyendo las entradas de los medidores. Estos diagramas especifican las rutas del cableado que llevarán las señales de medición desde los transformadores hasta los equipos de medición, así como los puntos exactos de conexión de los medidores. Esta información es esencial para verificar que la distribución de la energía, las protecciones y los controles sean correctos, optimizando la operación y el mantenimiento del sistema.

Finalmente, la disposición física de los medidores dentro del tablero es un aspecto crítico para garantizar la seguridad, accesibilidad y eficiencia operativa. Un diseño bien planificado facilita la lectura y el monitoreo de los medidores, reduce los riesgos operativos y optimiza el espacio disponible. Este enfoque asegura que el sistema pueda operar de manera eficiente, reduciendo tiempos de inactividad y facilitando futuras expansiones o ajustes sin comprometer la seguridad o la funcionalidad del sistema.

## VII. CONCLUSIONES

La conexión de un parque solar a una subestación requiere de un diseño detallado que contemple el dimensionamiento adecuado de equipos, protecciones y sistemas de medición, asegurando su correcta operación y minimizando riesgos.

La integración debe cumplir con las normativas locales e internacionales, garantizando tanto la seguridad del sistema como la calidad de la energía suministrada.

Es fundamental contar con sistemas de protección y monitoreo adecuados, que permitan identificar y gestionar posibles fallos o anomalías de manera oportuna, asegurando la continuidad y confiabilidad del servicio.

La integración de fuentes de energía renovable puede implicar ajustes operativos y tecnológicos en la subestación, pero, si se realiza correctamente, puede mejorar la capacidad de gestión y distribución de la energía.

## REFERENCIAS

- [1] “Integración de energía solar en la red eléctrica: guía completa”. Ecopositivo. [En línea]. Disponible: <https://ecopositivo.com/integracion-energia-solar-red-electrica-guia-completa/>
- [2] “Sistema Eléctrico de Protección - KINENERGY”. KINENERGY - Expertos de Confianza. [En línea]. Disponible: <https://www.kin.energy/blogs/tag/sistema-eléctrico-de-protección/>
- [3] Suárez, S. (2022). “Diseño de servicios auxiliares en subestaciones eléctricas de alta tensión” (Trabajo de grado). Universidad de Antioquia. Disponible en: [https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/31806/5/SuarezSantiago\\_2022\\_ServiciosSubestacionesElectricas.pdf](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/31806/5/SuarezSantiago_2022_ServiciosSubestacionesElectricas.pdf)
- [4] “¿Cuál es la diferencia entre cable control y cable potencia? - ZMS CABLE”. ZMS CABLE. [En línea]. Disponible: <https://zmscable.es/diferencia-entre-cable-control-cable-potencia/>
- [5] “¿Qué es un diagrama unifilar?”. Vertiv. [En línea]. Disponible en: <https://www.vertiv.com/es-latam/about/news-and-insights/articles/educational-articles/what-is-a-single-line-diagram/>
- [6] “Diagramas eléctricos y sus diferencias. - CCEEA”. ccea.mx. [En línea]. Disponible: <https://ccea.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/diagramas-electricos-y-sus-diferencias>
- [7] “Equipos Primarios de una Subestación Eléctrica - IDS”. IDS. [En línea]. Disponible: <https://ingenieriadesubestaciones.com/equipos-electricos-primarios-de-una-subestacion-electrica/>
- [8] “Análisis y Cargabilidad de los Transformadores de Corriente”. IDS. [En línea]. Disponible: <https://ingenieriadesubestaciones.com/transformadores-de-corriente/>
- [9] “Cargabilidad de un Transformador de Potencial - IDS”. IDS. [En línea]. Disponible: <https://ingenieriadesubestaciones.com/cargabilidad-de-un-transformador-de-potencial/>