

**SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE PANELES
SOLARES FOTOVOLTAICOS PARA LA AUTOGENERACIÓN DE ENERGÍA, EN EL
MUNICIPIO DE TAME, ARAUCA.**

DISEÑO INSTALACIONES ELÉCTRICAS.

DISEÑO:

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Oscar Alexander Merchán Peñaranda', is written over the printed name and title.

**OSCAR ALEXANDER MERCHAN PEÑARANDA
INGENIERO ELECTRICISTA
SN205-165063**

MEMORIAS DE CÁLCULO

ARAUCA 2025

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
2. OBJETIVO DEL PROYECTO	6
3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	7
3.1. LOCALIZACIÓN	7
3.4. CAPACIDAD INSTALADA	13
3.5. DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS	15
3.6. SELECCIÓN DE MEDIDA	16
3.7. DISPONIBILIDAD DE LA RED	18
4. MEMORIAS DE CÁLCULO (diseño detallado)	20
4.1. ANÁLISIS DE RIESGOS DE ORIGEN ELÉCTRICO Y MEDIDAS PARA MITIGARLOS	20
a. ARCOS ELÉCTRICOS	20
b. AUSENCIA DE ELECTRICIDAD (EN DETERMINADOS CASOS)	20
c. CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	20
d. CONTACTO DIRECTO	21
e. CONTACTO INDIRECTO	21
f. CORTOCIRCUITO	21
g. ELECTRICIDAD ESTÁTICA	21
h. EQUIPO DEFECTUOSO	21
i. RAYOS	22
j. SOBRECARGA	22
k. Tensión de contacto	22
l. Tensión de paso	22
4.1.2. EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO	23
4.2. ANÁLISIS DE RIESGOS POR DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS (RAYOS) Y MEDIDAS DE PROTECCIÓN	36
4.3. ANÁLISIS Y CÁLCULO DE CARGAS INICIALES Y FUTURAS, INCLUYENDO FACTOR DE POTENCIA Y ARMÓNICOS	39
4.4. COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO ELÉCTRICO	40
4.5. ANÁLISIS Y CÁLCULOS DE CORTOCIRCUITO, ARCO ELÉCTRICO Y FALLA A TIERRA	41

4.6.	ANÁLISIS DEL NIVEL TENSIÓN REQUERIDO	42
4.7.	CÁLCULOS DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	43
4.8.	CÁLCULO DE TRANSFORMADORES INCLUYENDO EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS Y FACTOR DE POTENCIA EN LA CARGA.	43
4.9.	SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	43
4.10.	CÁLCULO ECONÓMICO DE CONDUCTORES, TENIENDO EN CUENTA TODOS LOS FACTORES DE PÉRDIDAS, LAS CARGAS RESULTANTES Y LOS COSTOS DE LA ENERGÍA.....	43
4.10.1.	CÁLCULO DE CONDUCTOR DC	43
4.10.2.	CÁLCULO DE CONDUCTOR AC	45
4.10.	ESPECIFICACIÓN DE LOS CONDUCTORES, TENIENDO EN CUENTA EL TIEMPO DE DISPARO DE LOS INTERRUPTORES, LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO DE LA RED Y LA CAPACIDAD DE CORRIENTE DEL CONDUCTOR, DE ACUERDO CON LA NORMA IEC 60909 U OTRA EQUIVALENTE.	
49		
4.11.	CÁLCULO MECÁNICO DE ESTRUCTURAS Y DE ELEMENTOS DE SUJECCIÓN Y SOPORTE DE REDES DE TRANSMISIÓN, DE DISTRIBUCIÓN, SUBESTACIONES Y CENTRALES DE GENERACIÓN.	51
4.12.	CÁLCULO Y COORDINACIÓN DE PROTECCIONES CONTRA SOBRECORRIENTES. EN BAJA TENSIÓN SE PERMITE LA COORDINACIÓN CON LAS CARACTERÍSTICAS DE LIMITACIÓN DE CORRIENTE DE LOS DISPOSITIVOS SEGÚN IEC 60947-2 ANEXO A.	53
4.12.1.	PROTECCIONES EN AC	53
4.12.2.	PROTECCIONES EN DC	54
4.12.	CÁLCULOS DE CANALIZACIONES (TUBOS, DUCTOS, CANALES Y ELECTRODUCTOS), BANDEJAS PORTACABLES Y VOLUMEN DE ENCERRAMIENTOS (CAJAS, CONDULETAS, ARMARIOS, ETC.).....	55
4.13.	CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA, TENIENDO EN CUENTA LOS EFECTOS DE ARMÓNICOS Y FACTOR DE POTENCIA.	57
4.14.	ÁREAS CLASIFICADAS COMO PELIGROSAS.	60
4.15.	DIAGRAMAS UNIFILARES.....	60
4.16.	PLANOS ELÉCTRICOS PARA CONSTRUCCIÓN.	60
4.17.	ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN COMPLEMENTARIAS A LOS PLANOS, INCLUYENDO LAS DE TIPO TÉCNICO DE EQUIPOS Y MATERIALES Y SUS CONDICIONES PARTICULARES.	60
4.18.	DISTANCIAS DE SEGURIDAD O SERVIDUMBRE REQUERIDAS.....	60

4.19. JUSTIFICACIÓN DE DESVIACIONES TÉCNICAS CUANDO SEA Estrictamente necesarias, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación.	64
4.20. SELECCIÓN, CÁLCULO Y ESPECIFICACIÓN DE EQUIPOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA CONVENCIONALES Y NO CONVENCIONALES	64

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Arreglo STRING paralelo	9
<i>Tabla 2. Cálculo de generación mensual</i>	10
<i>Tabla 3. Clasificación de puntos de medición.</i>	16
Tabla 4. Requisitos exactitud para medidores y transformadores de medida.	16
Tabla 5. Tabla de pérdidas.	39
Tabla 6. Consumo mensual.	39
Tabla 7. datos de entrada conductores	47
Tabla 8. Datos de entrada de conductores	48
Tabla 9. Conductor AC del sistema tramo 1	49
Tabla 10. Conductores del sistema en corriente directa	55
Tabla 11. Conductores del sistema en corriente Alterna	56
Tabla 12 Ocupación de ductos IMC	56
Tabla 13. Tabla de regulación DC.	59
Tabla 14. Tabla de regulación AC	59
Tabla 15. Distancias de seguridad	61
Tabla 16. Distancias mínimas de seguridad para diferentes situaciones	63
Tabla 17. Distancias verticales mínimas en vanos con líneas de diferentes tensiones.	64

INDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. LOCALIZACIÓN I.E. ERNESTO RINCÓN DUCON	7
Ilustración 2. Datos del mapa (rango mínimo-máximo).	8
Ilustración 3. Irradiación Global Horizontal	8
Ilustración 4. Hoja de Datos Modulo Fotovoltaico.	11
Ilustración 5. Inclinação óptima de módulos (OPTA).	12
Ilustración 6. Hoja de Datos inversor SOLIS	14
Ilustración 7. Hoja de Cálculo de Medidor Bidireccional.	17
Ilustración 8. Medidor Bidireccional E570-Zxy405.3	18
Ilustración 9. Disponibilidad de Red.	19
Ilustración 10. Matriz de riesgo por Arcos Eléctricos	25
Ilustración 11. Matriz de riesgo por contacto directo	25
Ilustración 12. Matriz de riesgo por contacto indirecto	26
Ilustración 13. Matriz de riesgo por contacto cortocircuito	26
Ilustración 14. Matriz de riesgo por Descargas Eléctricas Atmosféricas	27

Ilustración 15. Matriz de riesgo por Sobrecarga	27
Ilustración 16. Matriz de riesgo por tensión de contacto.....	28
Ilustración 17. Matriz de riesgo por tensión de paso	28
Ilustración 18. Matriz de riesgo por Electricidad estática	29
<i>Ilustración 19. Matriz de riesgo por equipos defectuosos.....</i>	<i>29</i>
Ilustración 20. Matriz de riesgo por Falla técnica / desconexión /error humano.....	30
Ilustración 21. Matriz de riesgo por Falla técnica / equipos no calibrados	30
Ilustración 22. Decisiones y acciones para controlar el riesgo	31
Ilustración 23. Resultado DDT.	38
Ilustración 24. límites de corriente armónica.....	40
Ilustración 25. Cortocircuito monofásico después de implementar el SSFV.....	41
Ilustración 26. Cortocircuito trifásico después de implementar el SSFV.	42
Ilustración 27. Tabla de Conductores Fotovoltaicos CENTELSA.....	44
Ilustración 28. Tabla 250.122 Conductores de Tierra NTC 2050 Segunda Actualización.	44
Ilustración 29. Tabla conductores 310.15(b) según NTC 2050 segunda actualización,	45
Ilustración 30.Tabla 250.122 Conductores de Tierra NTC 2050 Segunda Actualización	46
Ilustración 31. Materiales mecánicos de las estructuras proyectadas a instalar.....	53

1. INTRODUCCIÓN

La presente Memoria de Cálculo Eléctrica establece los lineamientos técnicos, normativos y operativos para el diseño detallado, instalación y puesta en servicio de un Sistema Solar Fotovoltaico (SSFV) destinado a la autogeneración de energía eléctrica a pequeña escala (AGPE) en la Institución Educativa Ernesto Rincón Ducon, ubicada en el centro poblado Botalón, adjudicado al municipio de Tame, departamento de Arauca.

Este documento tiene como propósito documentar y sustentar los criterios técnicos, normativos y metodológicos empleados para el dimensionamiento, selección y verificación de los componentes que integran el sistema fotovoltaico, garantizando una operación segura, confiable y eficiente.

El proyecto busca proporcionar un suministro energético sostenible y económicamente eficiente, que contribuya a reducir los costos asociados al consumo eléctrico mensual de la institución. De igual manera, promueve la adopción de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), en coherencia con la política nacional de transición energética liderada por el Ministerio de Minas y Energía.

La memoria de cálculo constituye un soporte técnico del diseño eléctrico, elaborada en cumplimiento de los requisitos establecidos por el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE 2024 (Numerales 3.3.1.1 y 3.17.23), la Norma Técnica Colombiana NTC 2050 (Secciones 690 y 705), así como las disposiciones emitidas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), en especial la Resolución 174 de 2021 y los Acuerdos del Consejo Nacional de Operación (CNO) 1862, aplicables a sistemas de autogeneración conectados a la red del Operador de Red ENELAR E.S.P.

Además, el documento se apoya en normas IEC e IEEE complementarias, aplicables al diseño de sistemas eléctricos en baja tensión, asegurando que las instalaciones proyectadas cumplan con las condiciones técnicas y de seguridad exigidas para su certificación RETIE.

Finalmente, la memoria forma parte integral del conjunto documental del diseño eléctrico, junto con los planos, diagramas unifilares, especificaciones técnicas, estudios de puesta a tierra y demás anexos, que respaldan la integridad, trazabilidad y conformidad técnica del proyecto.

2. OBJETIVO DEL PROYECTO

Diseñar e implementar un sistema de generación de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica ON-GRID en Institución educativa Ernesto Rincón Ducon, ubicada en el centro poblado Botalón, adjudicado al municipio de Tame, Arauca., con el fin de abastecer la mayor parte de su consumo eléctrico e inyectar los excedentes a la red pública, optimizando así los costos de facturación del servicio.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto consiste en el diseño de un sistema solar fotovoltaico, cuyo objetivo principal es garantizar el acceso a la energía de manera continua, segura y eficiente. Para ello, se realiza la selección y justificación técnica de los equipos que conforman el sistema, de modo que la implementación cumpla con los criterios de calidad, confiabilidad y normatividad aplicable. Así mismo, se definieron los equipos necesarios para la correcta ejecución del proyecto dentro del sistema fotovoltaico.

3.1. LOCALIZACIÓN

El proyecto se ejecutará en el centro poblado Botalón, adjudicado al del municipio de Tame, ubicado en el departamento de Arauca (Colombia)

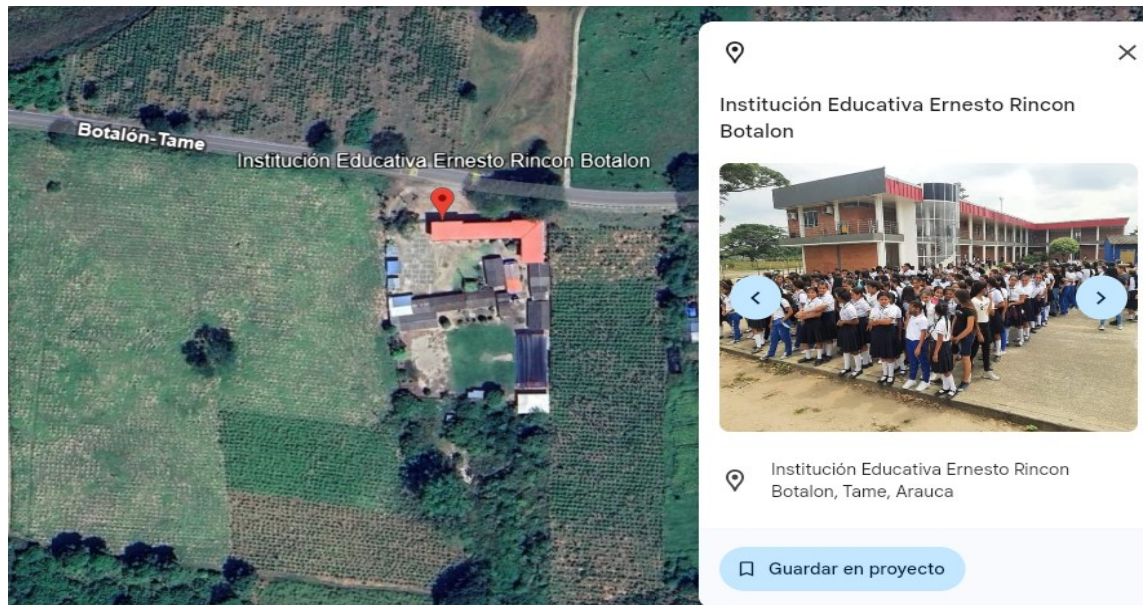


Ilustración 1. LOCALIZACIÓN I.E. ERNESTO RINCÓN DUCON.

Figura1. LOCALIZACIÓN I.E. ERNESTO RINCÓN DUCON

Tipo de servicio: Oficial

Transformador: Transformador trifásico existente de 75 kVA T-3651

Líneas y redes de B.T: Se conecta al tablero general existente.

3.2. Radiación electromagnética

El análisis de la irradiación solar en Arauca se basa en estadísticas de la base de datos Solaris (periodo base 1994–2018) y presenta las magnitudes medias diarias y su distribución.

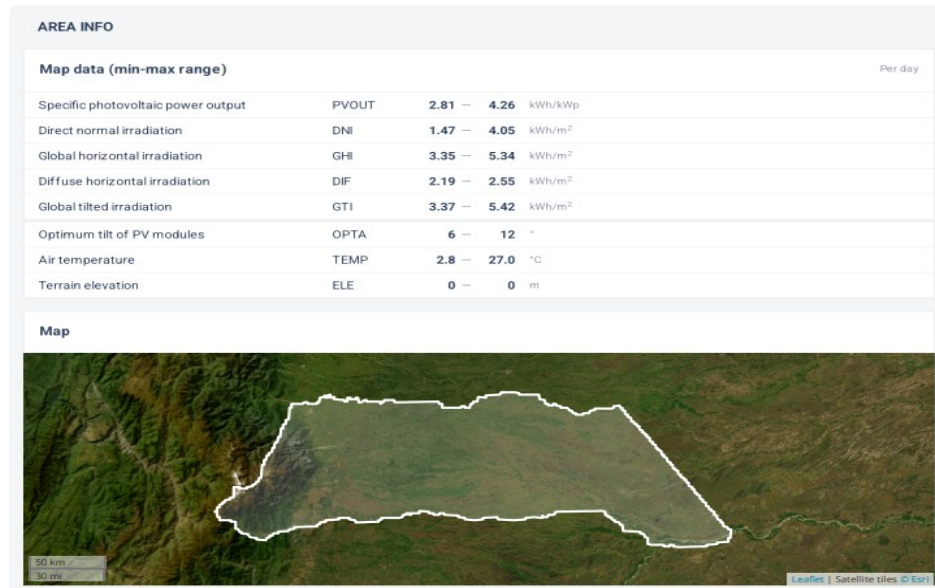


Ilustración 2. Datos del mapa (rango mínimo-máximo).

- **Irradiación Global Horizontal (GHI).**

La GHI promedio es 5.04 kWh/m²·día (valores en el área: 3.35–5.34 kWh/m²·día). La distribución muestra que cerca del 49 % de la zona presenta GHI > 5.20 kWh/m²·día y que la mediana es ≈ 5.20 kWh/m²·día, lo que indica un recurso solar elevado y estable para sistemas fotovoltaicos fijos, estas cifras confirman condiciones favorables para la implementación de sistemas fotovoltaicos como generación de energía eléctrica, se muestran los datos tomados de Solaris en la siguiente figura.



Ilustración 3. Irradiación Global Horizontal

- **Arreglo fotovoltaico**

Una vez conocidas las características técnicas de los equipos principales del sistema a desarrollar se procede a realizar el cálculo de las configuraciones límites de generación fotovoltaica.

ARREGLO SOLAR EN SERIE			
Número máximo de paneles en serie	Vmax Inversor	>	Voc panel
	Vmax Inversor	/	Voc panel
	1000 V	/	49,6 V
	20		
Número mínimo de paneles en serie	Vmin Inversor	<	Voc panel
	Vmin Inversor	/	Voc panel
	200 V	/	49,6 V
	4		

Tabla 1. Arreglo STRING paralelo

3.3. CALCULO DE GENERACIÓN

Una vez calculados los parámetros principales del sistema solar fotovoltaico se calcula la capacidad de generación solar fotovoltaica que alimentará las instalaciones.

CONCEPTO	VALOR	OBSERVACIONES
Consumo (kWh) Anual	48029	Dato de entrada respaldado por facturación del OR/comercializador o registros medidos.
Consumo diario (kWh/día)	132	Valor normalizado a día calendario para modelación energética; no sustituye el perfil horario real de carga.
Horas Sol Pico (HSP)	4.96	Referencia de recurso solar del sitio (IDEAM/atlas o base satelital validada); se confirmará en diseño ejecutivo.
Factor de reducción por temperatura	0.88	Ajuste por condiciones térmicas de operación y montaje del módulo
Eficiencia del Inversor	0.986	S5-GC-30K
Factor de reducción por suciedad	0.95	Pérdidas por suciedad consideradas con plan de O&M; ajustar según condiciones locales (polvo, lluvias, vegetación).
Capacidad del sistema FV (kWac)	32	Definida para alcanzar la meta de cobertura energética, respetando relación DC/AC y restricciones de conexión a red (RETIE/CREG).
Inversor para implementar (kWac)	36	Selección acorde a red en BT, compatibilidad de tensión/corriente y requisitos de protección, anti-isla y calidad de energía.
Número de inversores	1	Determinado por topología del sistema, redundancia operativa y relación DC/AC objetivo; facilita mantenimiento y disponibilidad.

Potencia unitaria del módulo FV (Wp)	725	Módulos certificados; verificar compatibilidad eléctrica con rangos MPPT y tensiones máximas bajo temperaturas extremas del sitio.
Número total de módulos FV	50	Cantidad resultante del dimensionamiento; sujeta a ajuste por sombreados, pasillos, y configuración de strings/MPPT en diseño definitivo.
Área requerida (m²)	1.303	Área neta de módulos más pasillos y estructura; validar con medidas de diseño (AutoCAD), inclinación/orientación y distancias de seguridad conforme RETIE.
Producción anual estimada (kWh/año)	2.384	Estimación sujeta a orientación, sombreados y pérdidas adicionales; se valida con simulación (p. ej., PVsyst) en diseño ejecutivo.
Producción mensual promedio (kWh/mes)	171	Promedio mensual equivalente para balance preliminar; no representa la estacionalidad real del recurso.
Cobertura mensual de la demanda (%)	51934	Indicador comparativo frente al consumo promedio mensual; varía por estacionalidad y patrón de uso (p. ej., calendario escolar).
Cobertura anual de la demanda (%)	4328	Indicador de cobertura anual respecto a la demanda; referencia para metas energéticas y verificación contractual.

Tabla 2. Cálculo de generación mensual

3.3.1. CÁLCULO MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

3.3.1.1. Módulos Fotovoltaicos

Se seleccionaron módulos fotovoltaicos monocristalinos bifaciales de 725 Wp, marca Trina Solar, cuya función es captar la radiación solar incidente y convertirla en energía eléctrica mediante corriente continua (CC). Esta energía posteriormente es transformada en corriente alterna (CA) mediante inversores, permitiendo su utilización dentro de la instalación y su eventual inyección a la red.

ELECTRICAL DATA (STC & NOCT & BNPI)																											
Testing Condition	STC			NOCT			BNPI			STC			NOCT			BNPI			STC			NOCT			BNPI		
Peak Power Watts- $P_{max}(W_p)^*$	700	534	776	705	540	781	710	543	787	715	547	792	720	551	798	725	555	801									
Power Selection (W)**	0 ~ +5																										
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	40.5	38.0	40.5	40.7	38.3	40.7	40.9	38.5	40.9	41.1	38.7	41.1	41.3	38.8	41.3	41.5	39.0	41.5									
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	17.29	14.04	19.15	17.33	14.08	19.19	17.36	14.12	19.23	17.40	14.14	19.28	17.44	14.19	19.32	17.47	14.23	19.36									
Open Circuit Voltage- V_{oc} (V)	48.6	46.1	48.6	48.8	46.3	48.8	49.0	46.5	49.0	49.2	46.7	49.2	49.4	46.9	49.4	49.6	47.1	49.6									
Short Circuit Current- I_{sc} (A)	18.32	14.76	20.30	18.36	14.80	20.34	18.40	14.83	20.39	18.44	14.86	20.43	18.49	14.90	20.49	18.54	14.94	20.54									
Module Efficiency η_m (%)	22.5			22.7			22.9			23.0			23.2			23.3											
STC: Irradiance 1000W/m ² , Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5. NOCT: Irradiance at 800W/m ² , Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s. BNPI: Irradiance: front 1000W/m ² , rear 135W/m ² , Temperature 25°C, Air Mass AM1.5																											
*Measuring tolerance: ±3%. **Power selection up to: +3%.																											

Electrical characteristics with different power bin (reference to 5% & 10% backside power gain)																
Backside Power Gain	5%		10%		5%		10%		5%		10%		5%		10%	
Peak Power Watts- $P_{max}(W_p)$	735	770	740	776	746	781	751	787	756	792	761	798				
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	40.5	40.5	40.7	40.7	40.9	40.9	41.1	41.1	41.3	41.3	41.5	41.5				
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	18.15	19.02	18.20	19.06	18.23	19.10	18.27	19.14	18.31	19.18	18.34	19.22				
Open Circuit Voltage- V_{oc} (V)	48.6	48.6	48.8	48.8	49.0	49.0	49.2	49.2	49.4	49.4	49.6	49.6				
Short Circuit Current- I_{sc} (A)	19.24	20.15	19.28	20.20	19.32	20.24	19.36	20.28	19.41	20.34	19.47	20.39				
Power Bifaciality: 80±5%.																

Ilustración 4. Hoja de Datos Modulo Fotovoltaico.

- Inclinación óptima de módulos (OPTA).**

En la Institución Educativa Promoción Agropecuaria se proyecta la instalación de los módulos fotovoltaicos sobre las cubiertas existentes, con el fin de optimizar el uso del espacio dentro de la infraestructura escolar. La inclinación de los módulos estará determinada por la pendiente de dichas cubiertas, sin superar en ningún caso los 12°. De acuerdo con el Global Solar Atlas, la inclinación óptima para el departamento de Arauca se encuentra en un rango entre 6° y 12°, lo cual asegura un aprovechamiento eficiente del recurso solar.

$$\beta(opt) = 3,7 + 0,69 * |\phi|$$

$$\beta(opt) = 3,7 + 0,69 * 6,506 = 8,18^\circ \cong 12^\circ$$

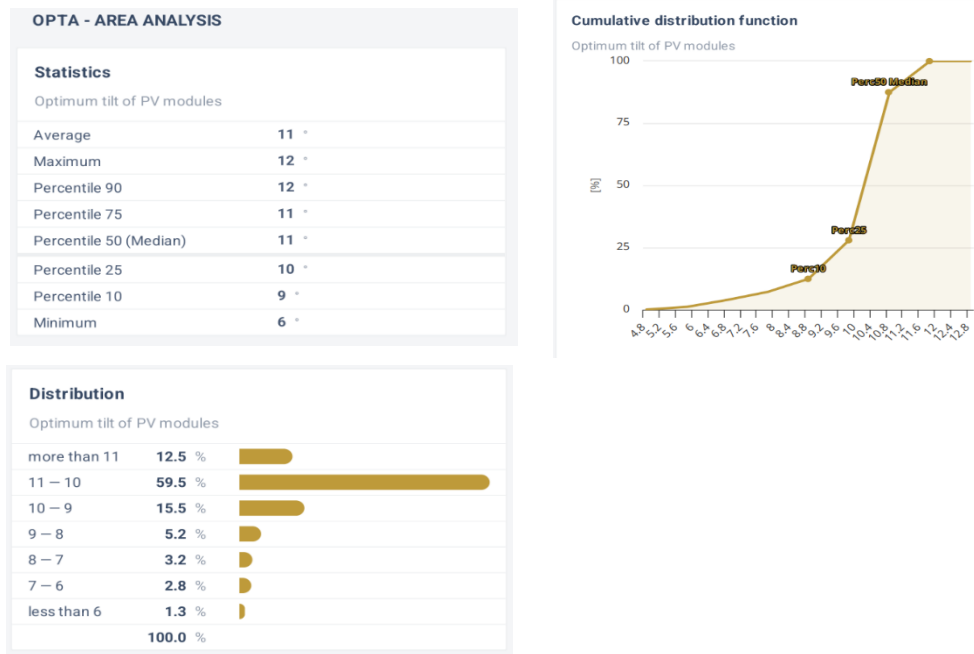


Ilustración 5. Inclinación óptima de módulos (OPTA).

Los paneles que se van a utilizar tienen una potencia nominal de 725Wp, por lo tanto:

$$P_{demandada} = \frac{\text{Consumo promedio día} \left(\frac{kWh}{\text{día}} \right)}{HSP * \text{Perdidas}}$$

$$P_{demandada} = \frac{132 \frac{kWh}{\text{día}}}{5,17 * 0,95 * 0,88 * 0,986} = 19476.2W$$

De acuerdo con el CREG 174 de 2021, artículo 6, literal a, se implementará un inversor comercial de la marca Solis que no supere el 50% de la capacidad nominal del transformador. El inversor seleccionado tiene una capacidad de 36 kW.

Para determinar el número de paneles requeridos, se realizó el siguiente cálculo:

$$\text{Numero de paneles} = \frac{\text{Potencia demandada}}{P_{mppt}}$$

$$\text{Numero de paneles} = \frac{36 \text{ kW}}{725W} = 49.655 \cong 50 \text{ paneles}$$

Sin embargo, a criterio del diseñador, se decidió instalar 48 paneles. En consecuencia, se proyecta la instalación de 48 paneles de 725 Wp cada uno.

3.4. CAPACIDAD INSTALADA

El sistema fotovoltaico contará con una capacidad instalada de 34.8 kWp en módulos, conformados por 48 paneles fotovoltaicos Trina Solar TSM-NEG21C.20 de 725 Wp, estos módulos estarán organizados en 4 strings, distribuidos en 4 MPPT por cada uno, es decir 12 módulos fotovoltaico por cada string.

La capacidad nominal del inversor a instalar será de 36 kWac, utilizando equipos Solís S5-GC-36K, cumpliendo con lo establecido en el RETIE 2024 y demás normativas aplicables.

- **Inversor DC/AC**

El equipo inversor de corriente directa se encarga de convertir la corriente directa generada por los módulos solares y convertirla en corriente alterna para su uso final con la señal de tensión y frecuencia que requieren sistema eléctrico definido por el operador de red, el inversor seleccionado cumple con los estándares de prueba de la IEEE 1547, y de conformidad con el alcance de la UL 1741.

La certificación será presentada al Operador de Red (OR) como requisito para la conexión del sistema de generación SIN. El/los equipos empleados fue un inversor de 36 kW marca SOLIS referencia S5-GC-36K con rango de tensión de salida de 220V.

Modelo	25K	30K	33K	36K	40K
Entrada (DC)					
Potencia FV máxima de entrada recomendada	37.5 kW	45 kW	49.5 kW	54 kW	60 kW
Voltaje máximo de entrada	1100 V				
Voltaje nominal	600 V				
Voltaje de arranque	180 V				
Rango de voltaje MPPT	200 - 1000 V				
Corriente máxima de entrada	32 A / 32 A / 32 A			4 x 32 A	
Corriente máxima de cortocircuito	40 A / 40 A / 40 A			4 x 40 A	
Número de MPPT / Número máximo de cadenas de entrada	3 / 6			4 / 8	
Salida (AC)					
Potencia nominal de salida	25 kW	30 kW	33 kW	36 kW	40 kW
Potencia aparente máxima de salida	27.5 kVA	33 kVA	36.3 kVA	39.6 kVA	44 kVA
Potencia máxima de salida	27.5 kW	33 kW	36.3 kW	39.6 kW	44 kW
Voltaje nominal de la red	3/N/PE, 220 V / 380 V, 230 V / 400 V				
Frecuencia nominal de la red	50 Hz / 60 Hz				
Corriente nominal de salida de red	38.0 A / 36.1 A	45.6 A / 43.3 A	50.1 A / 47.6 A	54.7 A / 52.0 A	60.8 A / 57.7 A
Corriente máxima de salida	41.8 A	50.2 A	55.1 A	60.2 A	66.9 A
Factor de potencia	> 0.99 (0.8 capacitivo a 0.8 Inductivo)				
THDi	< 3%				
Eficiencia					
Eficiencia máxima	98.5%		98.6%	98.7%	
Eficiencia EU	98.1%		98.2%	98.3%	
Protección					
Protección contra polaridad inversa DC	SI				
Protección contra cortocircuito	SI				
Protección de sobrecorriente de salida	SI				
Protección contra sobretensiones	DC Tipo I / AC Tipo II				
Monitoreo de red	SI				
Protección Anti-isla	SI				
Protección de temperatura	SI				
Monitoreo de cadenas	SI				
Escaneo de curvas I/V	SI				
Escaneo múltiplo	SI				
AFCI 2.0 Integrado	Opcional				
Recuperación PID Integrada	Opcional				
Interruptor de DC Integrado	SI				
Datos generales					
Dimensiones (longitud x altura x ancho)	647 x 629 x 252 mm				
Peso	38.2 kg			42.1 kg	
Topología	Sin Transformador				
Consumo propio (noche)	≤ 1 W				
Rango de temperatura de funcionamiento	-25 ~ +60°C				
Humedad relativa	0 - 100%				
Nivel de protección	IP66				
Emisión de ruido (típica)	≤ 60 dB(A)				
Enfriamiento	Refrigeración Inteligente con ventilador				
Altitud máxima de funcionamiento	4000 m				
Estándar de conexión de red	D99, VDE-AR-N 4105/VDE V 0124, EN 50549-1, VDE 0126/UTE C 15/VFR 2019, RD 1699/RD 244/UNE 206006/UNE 206007-1, CEI 0-21, C10/11, NRS 097-2-1, EIP S 2018.2, IEC 62116, IEC 61727, IEC60068, IEC 61683, EN 50530				
Estándar de seguridad / EMC	IEC/EN 62109-1/-2, IEC/EN 61000-6-1/-2/-3/-4				
Características					
Conexión de DC	Conector MC4				
Conexión de AC	Terminal OT				
Pantalla	LCD				
Comunicación	RS485, Opcional: Wi-Fi, GPRS				

Ilustración 6. Hoja de Datos inversor SOLIS

3.5. DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS

Para la distribución de los equipos se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Inversor SOLIS
- Modulo Fotovoltaico

De acuerdo con la información se calcula la corrección de la tensión en circuito abierto (Voc) del panel:

$$\begin{aligned}V_{oc} &= V_{oc\ STC} + V_{oc\ STC} * \beta (T_{min} - T_{STC}) \\V_{oc\ max} &= 49,6\ V + 49,6\ V (-0,0024)(18 - 25) \\V_{oc\ max} &= 49,95 + 0,8396 \\V_{oc\ max} &= 50.43\ V\end{aligned}$$

Para el inversor utilizado, el voltaje máximo de operación es 1000 V, por lo tanto:

$$\text{Máximo Número de paneles en serie} = \frac{1000\ V}{50,43\ V} = 19,8 \cong 20\ \text{paneles}$$

Con el fin de garantizar la correcta operación del inversor y evitar sobrecargas en las entradas MPPT (Maximum Power Point Tracking), se realizó el cálculo del número máximo de strings que pueden conectarse en paralelo por cada MPPT.

El inversor seleccionado dispone de 4 MPPT independientes con una capacidad de corriente máxima de entrada de 32 A cada uno, considerando que cada módulo fotovoltaico presenta una corriente de cortocircuito (I_{cc}) de 18,54 A, la capacidad de conexión en paralelo se determinó mediante la relación:

$$\begin{aligned}\text{Máximo número de string} &= \frac{I_{inversor}}{I_{panel}} \\ \text{Máximo Número de string paralelo} &= \frac{32A}{18,54\ A} = 1,72\ \text{string}\end{aligned}$$

El inversor permite la conexión de hasta dos strings en paralelo por cada MPPT sin superar sus límites de corriente (factor 1,72). No obstante, para este caso particular no se realizará conexión en paralelo de strings; la distribución se establecerá en configuraciones de 12 módulos por string.

3.6. SELECCIÓN DE MEDIDA

De acuerdo con la Resolución CREG 038 /2014, Artículo 6, los puntos de medición se clasifican acorde con el consumo o transferencia de energía por la frontera, o por la capacidad instalada en el punto de conexión.

Tabla 3. Clasificación de puntos de medición.

Tipos de puntos de medición	Consumo o transferencia de energía, C, (MWh-mes)	Capacidad Instalada, CI (MVA)*
1	$C \geq 15000$	$CI \geq 30$
2	$15000 > C \geq 500$	$30 > CI \geq 1$
3	$500 > C \geq 50$	$1 > CI \geq 0.1$
4	$50 > C \geq 5$	$0.1 > CI \geq 0.01$
5	$C < 5$	$CI < 0.01$

Tabla 4. Requisitos exactitud para medidores y transformadores de medida.

Tipo de puntos medición	Índice de clase para medidores de energía activa	Índice de clase medidores de energía reactiva	Clase de exactitud transformadores de corriente	Clase de exactitud para transformadores de tensión
1	0.2 S	2	0.2 S	0.2
2 y 3	0.5 S	2	0.5 S	0.5
4	1	2	0.5	0.5
5	1	2	--	--

- **Equipo de medida**

El equipo de medida seleccionado posee las siguientes especificaciones técnicas:

E570 Series 2 2G/4G Transformer Connected 3-Phase Electricity Meter (ZxY400CW1) - Technical Data

General

Functions

Measurement:

- Combined bi-directional measurement
- 3-phase/4-wire and 3-phase/3-wire

Communication:

- Two-way communication to the AMM system with 2G/GPRS or 2G/4G LTE
- IDIS-compliant except data type 64 bit

Serial interface:

- Integrated RS-485 with twin jack RJ12

Version with wired M-Bus interface:

- Wired M-Bus master supports up to 4 multi-energy devices (gas, water, district heating)
- Also used as a CII customer interface

Inputs and outputs:

- Up to 5 S0 outputs
- 1 control input
- 1 mechanical on-off latching 10 A load control switch
- 2 solid-state 100 mA auxiliary control switches
- Optical port for local reading, configuration and parameterisation

Control buttons:

- 1 scroll button for the display
- 1 sealable reset button

LCD display:

- 9 digits for displaying register values
- Phase, energy direction, no-load mode, alarm, units of measure and supply control switch state indicators on display
- Multi-energy units

External supply control switch control:

- Control for the disconnection of power
- 3 operating modes
- Can be controlled remotely from the AMM system, manually with a push-button or via local communication interfaces

Interoperability and certification

- IDIS 2 DLM, DLMS and IEC readout
- MID certification
- IEC 62052-31 safety standard compliant
- RED compliant (2G and 2G/4G)
- RoHS compliant

Voltage

Nominal voltage U_n ZMY

3 x 58/100 V to 277/480 VAC

Nominal voltage U_n ZFY

3 x 100 to 240VAC

Extended operating voltage range

80% – 115% U_n

Frequency

Nominal frequency f_n

50 Hz or 60 Hz

Tolerance

± 5%

IEC-Specific Data

Current

Nominal current I_n

1 A, 5 A

Maximum current I_{max}

Metrological

200% I_n

2 A, 10 A

Thermal

12 A

Short-circuit current

0.5 s with 30 x I_{max}

Measurement Accuracy

ZxY405

Active energy, to IEC 62053-22

class 0.5 S

Reactive energy:

ZFY to IEC 62053-23

class 2

ZMY to IEC 62053-24

class 1 S

ZxY410

Active energy, to IEC 62053-21

class 1

Reactive energy:

ZFY to IEC 62053-23

class 2

ZMY to IEC 62053-24

class 2



Ilustración 8. Medidor Bidireccional E570-Zxy405.3

3.7. DISPONIBILIDAD DE LA RED

En concordancia con lo estipulado en el Artículo 5. Estándares técnicos de disponibilidad del sistema en el nivel de tensión 1 de la Resolución CREG 030 de 2018, se realizó la consulta al Operador de Red sobre la disponibilidad de conexión.

El proyecto dispone de un transformador de 75 kVA, destinado únicamente al suministro de las instalaciones, por lo que no se comparte capacidad con otros usuarios. En este sentido, la disponibilidad de red está condicionada únicamente por la capacidad del transformador instalado, siendo el límite de generación aplicable el establecido para los Autogeneradores a Pequeña Escala (AGPE), esto es ≤ 1 MW, conforme a lo definido en la regulación vigente.

Información de Baja Tensión

Transformador: T3651
Propietario: EMPRESA
Voltaje nominal (V): 220
Capacidad (kVA): 45
Generación instalada (%): 0%
Capacidad máxima disponible (kW): 22.5
Total de capacidad ocupada (kW): 0
Energía Promedio min demanda del año anterior 24 horas:
Energía entregada por generadores no fotovoltaicos (%): 0%
Total de energía horaria ocupada (kWh): 0
Capacidad máxima de energía horaria disponible (kWh):
Energía Promedio min demanda del año anterior 6 am-6 pm:
Energía entregada por generadores fotovoltaicos (%): 0%
Energía horaria ocupada de fotovoltaicos (kWh): 0
Energía horaria disponible para fotovoltaicos (kWh):

Información de Media Tensión

Circuito: TA0301
Voltaje nominal (KV): 13.8
Capacidad (kVA): 1195.12
Generación instalada (%): 0%
Capacidad máxima disponible (kW): 597.56
Total de capacidad ocupada (kW): 0
Energía Promedio min demanda del año anterior 24 horas: 573.91
Energía entregada por generadores no fotovoltaicos (%): 0%
Total de energía horaria ocupada (kWh): 0
Capacidad máxima de energía horaria disponible (kWh): 286.96
Energía Promedio min demanda del año anterior 6 am-6 pm: 607.32
Energía entregada por generadores fotovoltaicos (%): 0%
Energía horaria ocupada de fotovoltaicos (kWh): 0
Energía horaria disponible para fotovoltaicos (kWh): 303.66

Ilustración 9. Disponibilidad de Red.

- A partir de la descripción del proyecto y de los cálculos realizados, fue posible dimensionar los equipos requeridos para la instalación, así como determinar las cantidades necesarias. A continuación, se presentan las referencias de los equipos definidos junto con sus respectivas cantidades
- 48 Módulos Fotovoltáicos Vertex N de 725 W con referencia TSM-NEG21C.20.
- Inversor de 36 kW GINLONG TECHNOLOGIES (SOLIS) con referencia S5-GC-36K.
- Medidor bidireccional E570-Zxy405.

4. MEMORIAS DE CÁLCULO (diseño detallado)

4.1. ANÁLISIS DE RIESGOS DE ORIGEN ELÉCTRICO Y MEDIDAS PARA MITIGARLOS

Con relación al análisis de riesgos de origen eléctrico, se hará una breve descripción de los factores de riesgos potenciales o presentes en la instalación, operación y mantenimiento de los equipos al interior de la subestación, de igual forma se darán las recomendaciones para minimizarlos.

a. ARCOS ELÉCTRICOS

POSIBLES CAUSAS: Malos contactos, cortocircuitos, aperturas de interruptores con carga, apertura o cierre de transformadores con carga, apertura de transformadores de corriente, apertura de transformadores de potencia con carga sin utilizar equipo extintor de arco, apertura de transformadores de corriente en secundarios con carga, manipulación indebida de equipos de medida, materiales o herramientas olvidadas en gabinetes, acumulación de óxido o partículas conductoras, descuidos en los trabajos de mantenimiento.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Utilizar materiales envolventes resistentes a los arcos, mantener una distancia de seguridad, usar prendas acordes con el riesgo y gafas de protección contra los rayos ultravioletas.

b. AUSENCIA DE ELECTRICIDAD (EN DETERMINADOS CASOS)

POSIBLES CAUSAS: Apagón o corte del servicio, no disponer de un sistema ininterrumpido de potencia - UPS, no tener plantas de emergencia, no tener transferencia. Por ejemplo: Lugares donde se exijan plantas de emergencia como hospitales y aeropuertos.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Disponer de sistemas ininterrumpidos de potencia y de plantas de emergencia con transferencia automática.

diferenciales, elementos de protección personal, puesta a tierra, probar ausencia de tensión, doble aislamiento.

c. CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

POSIBLES CAUSAS: Falla en el diseño, violación de anchos de zonas de servidumbre, mediciones con equipo no calibrado.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Respetar los anchos de zonas de servidumbre y los valores de límites de exposición a campos electromagnéticos.

d. CONTACTO DIRECTO

POSIBLES CAUSAS: Negligencia de técnicos o impericia de no técnicos, violación de las distancias mínimas de seguridad.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Establecer distancias de seguridad, interposición de obstáculos, aislamiento o recubrimiento de partes activas, utilización de interruptores diferenciales, elementos de protección personal, puesta a tierra, probar ausencia de tensión, doble aislamiento.

e. CONTACTO INDIRECTO

POSIBLES CAUSAS: Fallas de aislamiento, mal mantenimiento, falta de conductor de puesta a tierra.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Separación de circuitos, uso de muy baja tensión, distancias de seguridad, conexiones equipotenciales, sistemas de puesta a tierra, interruptores diferenciales, mantenimiento preventivo y correctivo.

f. CORTOCIRCUITO

POSIBLES CAUSAS: Fallas de aislamiento, impericia de los técnicos, accidentes externos, vientos fuertes, humedades, equipos defectuosos.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Interruptores automáticos con dispositivos de disparo de máxima corriente o cortacircuitos fusibles.

g. ELECTRICIDAD ESTÁTICA

POSIBLES CAUSAS: Unión y separación constante de materiales como aislantes, conductores, sólidos o gases con la presencia de un aislante.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Sistemas de puesta a tierra, conexiones equipotenciales, aumento de la humedad relativa, ionización del ambiente, eliminadores eléctricos y radiactivos, pisos conductivos.

h. EQUIPO DEFECTUOSO

POSIBLES CAUSAS: Mal mantenimiento, mala instalación, mala utilización, tiempo de uso, transporte inadecuado.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Mantenimiento predictivo y preventivo, construcción de instalaciones siguiendo las normas técnicas, caracterización del entorno electromagnético.

i. RAYOS

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: el diseño, construcción, operación, mantenimiento del sistema de protección.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Pararrayos, bajantes, puestas a tierra, equipotencialización, apantallamientos, topología de cableados. Además, suspender actividades de alto riesgo, cuando se tenga personal al aire libre.

j. SOBRECARGA

POSIBLES CAUSAS: Superar los límites nominales de los equipos o de los conductores, instalaciones que no cumplen las normas técnicas, conexiones flojas, armónicos, no controlar el factor de potencia.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Uso de Interruptores automáticos con relés de sobrecarga, interruptores automáticos asociados con cortacircuitos, cortacircuitos, fusibles bien dimensionados, dimensionamiento técnico de conductores y equipos, compensación de energía reactiva con banco de condensadores.

k. TENSIÓN DE CONTACTO

POSIBLES CAUSAS: Rayos, fallas a tierra, fallas de aislamiento, violación de distancias de seguridad.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Puestas a tierra de baja resistencia, restricción de accesos, alta resistividad del piso, equipotencializar.

l. TENSIÓN DE PASO

POSIBLES CAUSAS: Rayos, fallas a tierra, fallas de aislamiento, violación de áreas restringidas, retardo en el despeje de la falla.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Puestas a tierra de baja resistencia, restricción de accesos, alta resistividad del piso, equipotencializar.

4.1.2. EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO.

Identificar los potenciales riesgos de origen eléctrico asociados a la manipulación y uso de la energía eléctrica durante el proceso de autogeneración en corriente continua y alterna, mediante un sistema fotovoltaico instalado en Tame - Arauca, incorporando recomendaciones orientadas a establecer medidas de protección que minimicen o eliminen dichos riesgos.

Alcance

Determinar, mediante la aplicación de matrices de análisis de riesgos conforme al RETIE, las acciones necesarias para controlar los riesgos identificados en las áreas destinadas a generación eléctrica, con el fin de garantizar la seguridad y el cumplimiento normativo en el proyecto.

Riesgo por áreas

Se realizó una clasificación de áreas con el fin de efectuar un análisis de riesgos eléctrico para cada una de las mismas, dando como resultado las siguientes áreas:

Planchas de paneles solares: las descargas atmosféricas pueden llegar a causar tensiones de paso y contacto peligrosas, si el personal no cuenta con los elementos de protección personal adecuados, por lo tanto, se deben implementar letreros de no trabajar en condiciones de lluvia o posible tormenta, toda la estructura deberá estar firmemente conectada a tierra.

Inversores de potencia: Los contactos directos e indirectos, las sobrecargas, cortocircuitos, el arco eléctrico son riesgos que están presentes en los inversores, por lo tanto, se etiqueta las cubiertas de protección de acceso al centro de conexiones, los inversores cuentan con tornillos tipo torx por lo tanto disminuye el riesgo de que cualquier persona pueda abrirlos.

Evaluación del nivel de riesgo

Con el fin de evaluar el nivel o grado de riesgo de tipo eléctrico, se aplicará la metodología que se establece en el numeral 1.5.1.4.1 del RETIE y la matriz para la toma de decisiones (Tabla 1.5.1.4.1).

La metodología para seguir es la siguiente:

- Definir el factor de riesgo que se requiere evaluar o categorizar.
- Definir si el riesgo es potencial o real.

- Determinar las consecuencias para las personas, económicas, ambientales y de imagen de la empresa. Estimar dependiendo del caso particular que analiza.
- Buscar el punto de cruce dentro de la matriz correspondiente a la consecuencia (1, 2, 3, 4, 5) y a la frecuencia determinada (a, b, c, d, e): esa será la valoración del riesgo para cada clase.
- Repetir el proceso para la siguiente clase hasta que cubra todas las posibles pérdidas.
- Tomar el caso más crítico de los cuatro puntos de cruce, el cual será la categoría o nivel del riesgo.
- Tomar las decisiones o acciones, según lo indicado en la Tabla 1.5.1.4.1” del RETIE.

Desarrollo del análisis

Se tomaron los factores de riesgo eléctrico con posible ocurrencia en AGPE. Muchos de los factores que afectan al proyecto están discriminados en el RETIE como factores más comunes (Tabla 1.5.1.4.1 del RETIE), se realizó un análisis para poder cubrir los numerales “b” “c” y “d” de la metodología asumiendo una operación normal, sin considerar eventos no controlables que puedan crear afectaciones tales como eventos naturales o antrópicos.

A continuación, se detallan cada una de las matrices de acuerdo con cada factor de riesgo, sus causas, valoración y medidas de protección.

La evaluación y clasificación de los riesgos debe hacerse teniendo en cuenta los siguientes tres elementos:

El primero es la categoría de consecuencia con la cual está relacionada la evaluación: Personas, Económicas, Ambientales y en la Imagen de la empresa.

El segundo corresponde a la gravedad de las consecuencias: 1-5.

El tercero corresponde al nivel de probabilidad (frecuencia) del suceso: Calificada de A-E (mayor hasta no ocurrencia).

La intersección de la fila elegida con la columna seleccionada corresponde a la clasificación del riesgo. Los incidentes pueden tener consecuencias en las cinco categorías, por lo tanto, para una evaluación o clasificación, deben examinarse las categorías Personas, Económicas, Ambientales y la Imagen de la empresa. El riesgo de un incidente se debe

clasificar de acuerdo con la categoría de consecuencia que tenga la mayor clasificación.

EVALUACIÓN RIESGO 1															
FACTOR DE RIESGOS POR ARCOS ELÉCTRICOS															
Tabla 1: Análisis de riesgo causado por arcos eléctricos según (Tabla 1.5.1.4.1 RETIE) Matriz para análisis de riesgos.															
POSIBLES CAUSAS: En el desarrollo de la instalación eléctrica primaria externa se pueden presentar quemaduras eléctricas por malos contactos, cortocircuitos o aperturas de interruptores con carga o por contacto accidental de herramientas con la línea o equipos energizados.															
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Utilizar guantes dieléctricos de clase clase 2 para media tensión y gafas de protección ultravioleta; además de ropa de dotación hecha a base de algodón															
RIESGO A EVALUAR:		Electrocución, quemaduras,heridas y contusiones		por	Arcos Eléctricos			(al) o (en)	Media tensión 13,2kV						
POTENCIAL		EVENTO O EFECTO			FACTOR DE RIESGO (CAUSA)				FUENTE						
POTENCIAL		X		REAL		X					PROBABILIDAD				
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A					
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa					
	Una o mas muertes	Daño grave en infraestructura Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO					
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO					
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos Interrupción Temporal.	Contaminación localizada	Regional	3	B AJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO					
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes Interrupción breve.	Efecto menor	Local	2	B AJO	B AJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO					
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY B AJO	B AJO	B AJO	B AJO	MEDIO					
Evaluador:		Prof. S.O Isabel T Hidalgo Sarmiento			MP:	Resolución 10213/2025			FECHA:		29/09/2025				

Ilustración 10. Matriz de riesgo por Arcos Eléctricos

EVALUACIÓN RIESGO 2										
FACTOR DE RIESGOS POR CONTACTO DIRECTO										
Tabla 1: Análisis de riesgo causado por arcos eléctricos según (Tabla 1.5.1.4.1 RETIE) Matriz para análisis de riesgos.										
POSIBLES CAUSAS: En el desarrollo de la instalación primaria en media tensión se pueden presentar electrocución por negligencia de técnicos y por violación de las distancias mínimas de a seguridad										
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Establecer distancias de seguridad, interposición de obstáculos, aislamiento o recubrimiento de partes activas, utilización de interruptores diferenciales, elementos de protección personal, puesta a tierra, probar ausencia de tensión, doble aislamiento										
RIESGO A EVALUAR:		Electrocución, quemaduras,heridas y contusiones		por	contacto directo		(al) o (en)	Media tensión 13,2kV		
POTENCIAL		EVENTO O EFECTO		REAL	X	FACTOR DE RIESGO (CAUSA)			FUENTE	
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		PROBABILIDAD				
						E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o mas muertes	Daño grave en infraestructura Interrupción regional..	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos Interrupción Temporal.	Contaminación localizada	Regional	3	B AJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes Interrupción breve.	Efecto menor	Local	2	B AJO	B AJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY B AJO	B AJO	B AJO	B AJO	MEDIO	
Evaluador:		Prof. S.O Isabel T Hidalgo Sarmiento			MP:	Resolución 10213/2025			FECHA:	29/09/2025

Ilustración 11. Matriz de riesgo por contacto directo

EVALUACIÓN RIESGO 3										
FACTOR DE RIESGOS POR INDIRECTO										
Tabla 1: Análisis de riesgo causado por arcos eléctricos según (Tabla 1.5.1.4.1 RETIE) Matriz para análisis de riesgos.										
POSIBLES CAUSAS: En el desarrollo de la instalación eléctrica de media tensión se puede presentar electrocución por fallas de aislamiento, por falta de conductor de puesta a tierra o quemaduras por inducción al violar distancias de seguridad.										
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Establecer y señalizar distancias de seguridad, utilizar elementos de protección personal (EPP) certificados, instalar sistemas de puesta a tierra sólidos, y realizar mantenimiento preventivo y correctivo de las instalaciones.										
RIESGO A EVALUAR:		Quemaduras, Electrocución		por		Contacto indirecto		(añ o (en)	0	
EVENTO O EFECTO						FACTOR DE RIESGO (CAUSA)			FUENTE	
POTENCIAL		X		REAL	X	PROBABILIDAD				
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o mas muertes	Daño grave en infraestructura Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos Interrupción Temporal.	Contaminación localizada	Regional	3	B AJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes Interrupción breve.	Efecto menor	Local	2	B AJO	B AJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY B AJO	B AJO	B AJO	B AJO	MEDIO
Evaluador:		Prof. S.O Isabel T Hidalgo Samiento			MP:	Resolución 10213/2025			FECHA:	29/09/2025

Ilustración 12. Matriz de riesgo por contacto indirecto

EVALUACIÓN RIESGO 4											
FACTOR DE RIESGOS POR CORTOCIRCUITO											
Tabla 1: Análisis de riesgo causado por arcos eléctricos según (Tabla 1.5.1.4.1 RETIE) Matriz para análisis de riesgos.											
POSIBLES CAUSAS: En el desarrollo de la instalación eléctrica de baja tensión se puede presentar electrocución por fallas de aislamiento, por falta de conductor de puesta a tierra o quemaduras por inducción al violar distancias de seguridad.											
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Establecer y señalar distancias de seguridad, utilizar elementos de protección personal (EPP) certificados, instalar sistemas de puesta a tierra sólidos y efectivos, realizar mantenimiento preventivo y correctivo periódico, y efectuar monitoreo térmico para detectar puntos calientes o fallas incipientes.											
RIESGO A EVALUAR:		Electrocución, quemaduras,heridas y contusiones		por		Cortocircuito		(añ o (en)		0	
EVENTO O EFECTO						FACTOR DE RIESGO (CAUSA)				FUENTE	
POTENCIAL		X		REAL		X		PROBABILIDAD			
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A	
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa	
	Una o mas muertes	Daño grave en infraestructura Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO	
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos Interrupción Temporal.	Contaminación localizada	Regional	3	B AJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes Interrupción breve.	Efecto menor	Local	2	B AJO	B AJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY B AJO	B AJO	B AJO	B AJO	MEDIO	
Evaluador:		Prof. S.O Isabel T Hidalgo Sarmiento			MP:		Resolución 10213/2025		FECHA:		29/09/2025

Ilustración 13. Matriz de riesgo por contacto cortocircuito

EVALUACIÓN RIESGO 5										
FACTOR DE RIESGOS POR RAYOS (DESCARGAS ATMOSFERICAS)										
Tabla 1: Análisis de riesgo causado por arcos eléctricos según (Tabla 1.5.1.4.1 RETIE) Matriz para análisis de riesgos.										
POSIBLES CAUSAS: En el desarrollo de la instalación eléctrica de baja tensión se puede presentar electrocución por fallas de aislamiento, por falta de conductor de puesta a tierra o quemaduras por inducción al violar distancias de seguridad al momento del impacto de un rayo.										
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Instalar puestas a tierras sólidas, equipotencialización de sistema de puesta a tierra y de apantallamiento de ser necesarios.										
RIESGO A EVALUAR:		Electrocución, quemaduras,heridas y contusiones		por	Rayos			(al) o (en)	0	
		EVENTO O EFECTO			FACTOR DE RIESGO (CAUSA)				FUENTE	
POTENCIAL		X		REAL	X	PROBABILIDAD				
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o mas muertes	Daño grave en infraestructura Interrupción regional..	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos Interrupción Temporal.	Contaminación localizada	Regional	3	B AJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes Interrupción breve.	Efecto menor	Local	2	B AJO	B AJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY B AJO	B AJO	B AJO	B AJO	MEDIO
Evaluador:		Prof. S.O Isabel T Hidalgo Sarmiento			MP:	Resolución 10213/2025			FECHA:	29/09/2025

Ilustración 14. Matriz de riesgo por Descargas Eléctricas Atmosféricas

EVALUACIÓN RIESGO 6										
FACTOR DE RIESGOS POR SOBRECARGA										
Tabla 1: Análisis de riesgo causado por arcos eléctricos según (Tabla 1.5.1.4.1 RETIE) Matriz para análisis de riesgos.										
POSIBLES CAUSAS: En las instalaciones eléctricas de baja tensión se pueden presentar incendios, daños a equipos, por corrientes nominales superiores de los equipos y conductores, instalaciones que no cumplen con normas técnicas y conexiones flojas.										
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Usar interruptores automáticos con relés de sobrecarga, dimensionamiento técnico de conductores y equipos.										
RIESGO A EVALUAR:		Electrocución, quemaduras, heridas y contusiones, Incendio		por	Sobrecarga			(al) o (en)	0	
EVENTO O EFECTO		FACTOR DE RIESGO (CAUSA)			FUENTE					
POTENCIAL		X		REAL	X	PROBABILIDAD				
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o mas muertes	Daño grave en infraestructura Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos Interrupción Temporal.	Contaminación localizada	Regional	3	B AJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes Interrupción breve.	Efecto menor	Local	2	B AJO	B AJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY B AJO	B AJO	B AJO	B AJO	MEDIO
Evaluador:				Prof. S.O Isabel T Hidalgo Sarmiento	MP:	Resolución 10213/2025			FECHA:	29/09/2025

Ilustración 15. Matriz de riesgo por Sobrecarga

EVALUACIÓN RIESGO 7											
FACTOR DE RIESGOS POR TENSIÓN DE CONTACTO											
Tabla 1: Análisis de riesgo causado por arcos eléctricos según (Tabla 1.5.1.4.1 RETIE) Matriz para análisis de riesgos.											
POSIBLES CAUSAS: En el desarrollo de la instalación eléctrica se pueden presentar quemaduras eléctricas por malos contactos, cortocircuitos.											
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Establecer distancias de seguridad, utilizar elementos de protección personal, instalar puestas a tierra solidas, hacer mantenimiento preventivo y correctivo, instalación de equipos de corte certificados.											
RIESGO A EVALUAR:		Electrocución, quemaduras,heridas y contusiones		por	Tensión contacto		(al) o (en)	Conductores y equipos			
		EVENTO O EFECTO			FACTOR DE RIESGO (CAUSA)			FUENTE			
POTENCIAL		X			REAL	X	PROBABILIDAD				
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa			E	D	C	B	A
							No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o mas muertes	Daño grave en infraestructura Interrupción regional..	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos Interrupción Temporal.	Contaminación localizada	Regional	3	B AJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes Interrupción breve.	Efecto menor	Local	2	B AJO	B AJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY B AJO	B AJO	B AJO	B AJO	B AJO	MEDIO
Evaluador:		Prof. S.O Isabel T Hidalgo Sarmiento			MP:	Resolución 10213/2025		FECHA:	29/09/2025		

Ilustración 16. Matriz de riesgo por tensión de contacto

EVALUACIÓN RIESGO 8											
FACTOR DE RIESGOS POR TENSIÓN DE PASO											
Tabla 1: Análisis de riesgo causado por arcos eléctricos según (Tabla 1.5.1.4.1 RETIE) Matriz para análisis de riesgos.											
POSIBLES CAUSAS:En el desarrollo de la instalación eléctrica interna y externas de baja tensión s e pueden presentar electrocución por falla de aislamiento en conductores y fallas a tierra.											
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Instalar puestas a tierra de baja resistencia, equipotencialización y señalización en zonas críticas.											
RIESGO A EVALUAR:		Electrocución, quemaduras,heridas y contusiones		por	Tensión de paso		(al) o (en)	Conductores y equipos			
		EVENTO O EFECTO			FACTOR DE RIESGO (CAUSA)			FUENTE			
POTENCIAL		X			REAL	X	PROBABILIDAD				
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A	
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa	
	Una o mas muertes	Daño grave en infraestructura Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO	
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos Interrupción Temporal.	Contaminación localizada	Regional	3	B AJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes Interrupción breve.	Efecto menor	Local	2	B AJO	B AJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY B AJO	B AJO	B AJO	B AJO	MEDIO	
Evaluador:		Prof. S.O Isabel T Hidalgo Sarmiento			MP:	Resolución 10213/2025		FECHA:	29/09/2025		

Ilustración 17. Matriz de riesgo por tensión de paso

EVALUACIÓN RIESGO 9										
FACTOR DE RIESGOS POR ELECTRICIDAD ESTÁTICA										
Tabla 1: Análisis de riesgo causado por arcos eléctricos según (Tabla 1.5.1.4.1 RETIE) Matriz para análisis de riesgos.										
POSIBLES CAUSAS: En el desarrollo de la instalación eléctrica interna y externas de baja tensión se pueden presentar electrocución por falla de aislamiento en conductores y fallas a tierra.										
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Instalar sistemas de puesta a tierra de baja resistencia y realizar una adecuada equipotencialización para garantizar la seguridad de las instalaciones eléctricas										
RIESGO A EVALUAR:		Electrocución, quemaduras,heridas y contusiones		por	Electricidad estática			(al) o (en)	Ambiente o manipulación	
POTENCIAL		EVENTO O EFECTO			FACTOR DE RIESGO (CAUSA)				FUENTE	
POTENCIAL		X		REAL	X	PROBABILIDAD				
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o mas muertes	Daño grave en infraestructura Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos Interrupción Temporal.	Contaminación localizada	Regional	3	B AJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes Interrupción breve.	Efecto menor	Local	2	B AJO	B AJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY B AJO	B AJO	B AJO	B AJO	MEDIO
Evaluador:		Prof. S.O Isabel T Hidalgo Sarmiento			MP:	Resolución 10213/2025			FECHA:	29/09/2025

Ilustración 18. Matriz de riesgo por Electricidad estática

EVALUACIÓN RIESGO 10										
FACTOR DE RIESGOS POR EQUIPOS DEFECTUOSOS										
Tabla 1: Análisis de riesgo causado por arcos eléctricos según (Tabla 1.5.1.4.1 RETIE) Matriz para análisis de riesgos.										
POSIBLES CAUSAS: En el desarrollo de la instalación eléctrica primaria externa se pueden presentar quemaduras eléctricas por malos contactos, cortocircuitos o contactos con equipos energizados a través de equipos defectuosos.										
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Utilizar guantes dieléctricos para media tensión y gafas de protección ultravioleta; además de ropa de dotación hecha a base de algodón. Efectuar mantenimiento a los equipos utilizados										
RIESGO A EVALUAR:		Electrocución, quemaduras,heridas y contusiones		por	Equipo defectuoso			(al) o (en)	Ambiente o manipulación	
POTENCIAL		EVENTO O EFECTO			FACTOR DE RIESGO (CAUSA)				FUENTE	
POTENCIAL		X		REAL	X	PROBABILIDAD				
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o mas muertes	Daño grave en infraestructura Interrupción regional..	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos Interrupción Temporal.	Contaminación localizada	Regional	3	B AJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes Interrupción breve.	Efecto menor	Local	2	B AJO	B AJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY B AJO	B AJO	B AJO	B AJO	MEDIO
Evaluador:		Prof. S.O Isabel T Hidalgo Sarmiento		MP:	Resolución 10213/2025			FECHA:	29/09/2025	

Ilustración 19. Matriz de riesgo por equipos defectuosos

EVALUACIÓN RIESGO 11										
FACTOR DE RIESGOS POR AUSENCIA DE ELECTRICIDAD (EN DETERMINADOS CASOS)										
Tabla 1: Análisis de riesgo causado por arcos eléctricos según (Tabla 1.5.1.4.1 RETIE) Matriz para análisis de riesgos.										
POSIBLES CAUSAS: En el desarrollo de la instalación eléctrica primaria externa se pueden presentar quemaduras eléctricas por malos contactos, cortocircuitos o contactos con equipos energizados a través de equipos defectuosos.										
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Respetar los anchos de zonas de servidumbre y los valores de límites de exposición a campos electromagnéticos. Verificación de tensión antes de opera, Procedimientos LOTO, Capacitación continua, Sistemas de respaldo de energía (UPS, plantas)										
RIESGO A EVALUAR:		Riesgo por ausencia de tensión		por	Falla técnica/ desconexión / error humano		(al) o (en)	Celdas de media tensión, red local de distribución		
		EVENTO O EFECTO			FACTOR DE RIESGO (CAUSA)			FUENTE		
POTENCIAL		X		REAL	X	PROBABILIDAD				
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o mas muertes	Daño grave en infraestructura Interrupción regional..	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos Interrupción Temporal.	Contaminación localizada	Regional	3	B AJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes Interrupción breve.	Efecto menor	Local	2	B AJO	B AJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY B AJO	B AJO	B AJO	B AJO	MEDIO
Evaluador:		Prof. S.O Isabel T Hidalgo Sarmiento			MP:	Resolución 10213/2025		FECHA:		29/09/2025

Ilustración 20. Matriz de riesgo por Falla técnica / desconexión /error humano

EVALUACIÓN RIESGO 12										
FACTOR DE RIESGOS POR CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS										
Tabla 1: Análisis de riesgo causado por arcos eléctricos según (Tabla 1.5.1.4.1 RETIE) Matriz para análisis de riesgos.										
POSIBLES CAUSAS: En el desarrollo de la instalación eléctrica primaria externas que pueden presentar quemaduras eléctricas por malos contactos, cortocircuitos o contactos con equipos energizados a través de equipos defectuosos.										
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Respetar los anchos establecidos para las zonas eléctrica y cumplir con los límites máximos permisibles de exposición a campos electromagnéticos, según la normativa vigente.										
RIESGO A EVALUAR:		Quemaduras, golpes		por	Falla técnica / equipos no calibrados		(al) o (en)	Ambiente o manipulación de equipos		
		EVENTO O EFECTO			FACTOR DE RIESGO (CAUSA)			FUENTE		
POTENCIAL		X		REAL	X	PROBABILIDAD				
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o mas muertes	Daño grave en infraestructura Interrupción regional..	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos Interrupción Temporal.	Contaminación localizada	Regional	3	B AJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes Interrupción breve.	Efecto menor	Local	2	B AJO	B AJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY B AJO	B AJO	B AJO	B AJO	MEDIO
Evaluador:		Prof. S.O Isabel T Hidalgo Sarmiento		MP:	Resolución 10213/2025		FECHA:	29/09/2025		

Ilustración 21. Matriz de riesgo por Falla técnica / equipos no calibrados

Medidas para mitigar los riesgos eléctricos

De acuerdo con la clasificación del nivel del riesgo obtenido, se presentan las decisiones a tomar frente a cada riesgo de incidente y la respectiva medida de control para la ejecución de los trabajos de los Diez (10) factores analizados se obtienen que todos están en el nivel de riesgo “MEDIO”, por lo tanto, en la tabla 1.5.1.4.1. RETIE 2024 se muestran las decisiones a tomar y control, como acciones para ejecutar los trabajos:

COLOR	NIVEL DE RIESGO	DECISIONES A TOMAR Y CONTROL	PARA EJECUTAR LOS TRABAJOS
	Muy alto	Inadmisibles para trabajar. Hay que eliminar fuentes potenciales, hacer reingeniería o minimizarlo y volver a valorarlo en grupo, hasta reducirlo. Requiere permiso especial de trabajo.	Buscar procedimientos alternativos si se decide hacer el trabajo. La alta dirección participa y aprueba el Análisis de Trabajo Seguro – ATS y autoriza su realización, mediante un Permiso Especial de Trabajo – PES.
	Alto	Minimizarlo. Buscar alternativas que presenten menor riesgo. Demostrar cómo se va a controlar al riesgo, aislar con barreras o distancia, usar EPP. Requiere permiso especial de trabajo.	El jefe o supervisor del área involucrada, aprueba el Análisis de Trabajo Seguro – ATS y el Permiso de Trabajo – PT presentados por el líder a cargo del trabajo.
	Medio	Aceptarlo. Aplicar los sistemas de control (Minimizar, aislar, suministrar EPP, procedimientos, protocolos, lista de verificación, usar EPP). Requiere permiso de trabajo.	El líder de grupo de trabajo diligencia el Análisis de Trabajo Seguro – ATS y el jefe de área aprueba el Permiso de Trabajo – PT según procedimiento establecido.
	Bajo	Asumirlo. Hacer control administrativo rutinario. Seguir los procedimientos establecidos. Utilizar EPP. No requiere permiso especial de trabajo.	El líder del trabajo debe verificar: • ¿Qué puede salir mal o fallar? • ¿Qué puede causar que algo salga mal o falle? • ¿Qué podemos hacer para evitar que algo salga mal o falle?
	Muy bajo	Vigilar posibles cambios.	No afecta la secuencia de las actividades.

Ilustración 22. Decisiones y acciones para controlar el riesgo

Conforme a lo indicado en la tabla 1.5.1.4.1. del RETIE, los factores de riesgo detectados deben ser gestionados mediante la aplicación de medidas que permitan su control, priorizando la reducción o eliminación en la fuente y, cuando no sea posible, implementando métodos de aislamiento y protección.

Es indispensable el uso de Elementos de Protección Personal (EPP) certificados, así como la aplicación de protocolos, listas de verificación y procedimientos específicos para la ejecución, operación y mantenimiento de las instalaciones eléctricas del proyecto AGPE. Antes de cualquier intervención se debe realizar un Análisis de Trabajo Seguro (ATS), identificando los riesgos existentes y los nuevos factores que puedan surgir, documento que debe ser diligenciado por el líder de cuadrilla, revisado y autorizado por el jefe del área.

Para este proyecto se contemplan acciones específicas como:

Instalación de descargadores de sobretensión (DPS) en tableros principales y cajas de combinación DC, de acuerdo con el análisis de cortocircuito y si corresponde técnicamente.

Colocación de señalización preventiva y demarcación de zonas y equipos energizados.

Elaboración y cumplimiento de procedimientos que incluyan la identificación del nivel de riesgo, la determinación del EPP requerido y la marcación visible de los límites de aproximación segura.

Capacitación del personal en trabajos con tensión, actualización de planos eléctricos y formalización de órdenes de trabajo autorizadas.

Uso de equipos de protección personal adecuados a la tensión y energía incidente, respetando las categorías mínimas indicadas en el Artículo 3.10.5 del RETIE.

Instalación de conductores dimensionados conforme a cálculos de capacidad de corriente, regulación y tiempos de disparo de protecciones, cumpliendo con las distancias mínimas de seguridad de las tablas Tabla 3.10.5 o Tabla 3.10.7 del RETIE y con las referencias NFPA 70 e IEEE 1584.

Ejecución de mantenimientos preventivos y correctivos programados, y utilización de accesorios y equipos aprobados para áreas clasificadas.

En lugares con riesgo de incendio o explosión, control y minimización de sustancias inflamables, evitando trabajos en tensión salvo que el equipo esté diseñado para esas condiciones y cumpla con la normativa correspondiente.

Realización de trabajos sin tensión siempre que sea posible, empleando herramientas y procedimientos apropiados para evitar cortocircuitos o accidentes por contacto eléctrico.

Estas medidas, alineadas con lo establecido por el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) y las buenas prácticas de seguridad eléctrica, buscan que cada nivel de riesgo identificado en la matriz tenga un plan de control claro y documentado, asegurando la integridad de las personas y la confiabilidad de las instalaciones.

Procedimiento para trabajos sin tensión:

- Desconectar la instalación.
- Impedir cualquier posible retroalimentación.
- Confirmar la ausencia de tensión.
- Colocar puesta a tierra y cortocircuito.
- Proteger frente a elementos energizados cercanos.

Reposición de la tensión:

- Retirar protecciones y señalización que delimitan el área de trabajo.

- Retirar la puesta a tierra y el cortocircuito.
- Desbloquear o retirar la señalización de dispositivos de corte.
- Restablecer el cierre de los circuitos para energizar nuevamente la instalación.

Trabajos con Tensión en el proyecto

En los trabajos del proyecto donde la comunicación resulte limitada, será obligatorio que participe al menos un trabajador capacitado en primeros auxilios y la NFPA 70E. Asimismo, todo el personal que intervenga en labores con tensión deberá cumplir las siguientes disposiciones básicas de seguridad según lo establecido en el Artículo 3.16.3 “Procedimientos de ejecución de los trabajos con tensión”

Las empresas que realicen trabajos con tensión o con redes energizadas, deben disponer y aplicar procedimientos claros, precisos y seguros, para lo cual deben cumplir los siguientes lineamientos, además de dar cumplimiento a los requisitos de seguridad y salud en el trabajo, establecidos en la legislación y regulación colombiana vigente y en particular la Resolución No. 5018 de 2019, expedida por el Ministerio del Trabajo, o las que las modifiquen, adicionen o sustituyan:

- a. El responsable de la instalación debe garantizar que todo operario de trabajo con tensión sea persona competente y esté autorizado para tal fin.
- b. Todo operario de trabajo con tensión, debe estar afiliado a la seguridad social y riesgos profesionales. Además, debe practicarse exámenes periódicos para calificar su estructura ósea o para hallar deficiencias pulmonares, cardíacas o psicológicas y enfermedades como la epilepsia. Igualmente, es importante detectar consumo de drogas y alcoholismo.
- c. El jefe del trabajo antes de comenzar las labores, debe reunir y exponer al personal competente el procedimiento de ejecución que se va a realizar, cerciorándose que ha sido perfectamente comprendido, que cada trabajador conoce su función y que cada uno comprende cómo se integra en la operación conjunta.
- d. El jefe del trabajo es responsable de las decisiones y acciones de cualquier orden que afecten la seguridad. Al terminar los trabajos, debe verificar su correcta ejecución y comunicar al centro de control la finalización de los mismos.
- e. Ningún operario puede participar en un trabajo con tensión si no dispone de sus elementos de protección personal, que comprenden:

1. En todos los casos: Casco aislante y guantes de protección.
 2. En casos particulares, los equipos previstos en los procedimientos de ejecución para utilizar son, entre otros: Botas dieléctricas o calzado especial con suela conductora para los trabajos a potencial, dos pares de guantes aislantes, gafas de protección contra rayos ultravioleta, manguitos aislantes, herramientas aislantes y protección personal contra arco eléctrico.
- f. Cada operario debe velar por la conservación de su dotación personal. Estos elementos, equipos y herramientas deben mantenerse en lugar seco, al abrigo de la intemperie y transportarse en fundas, estuches o compartimientos previstos para este uso y no deben sacarse de los mismos hasta el momento de su utilización.
- g. Antes de trabajar a potencial, el operario debe conectarse eléctricamente al conductor energizado para asegurar su equipotencialidad.
- h. En caso de tormenta eléctrica, lluvia o niebla, los trabajos no deben comenzarse y de haberse iniciado se deben interrumpir. Cuando las condiciones atmosféricas impliquen la interrupción del trabajo, se debe retirar al personal hasta que las condiciones vuelvan a ser favorables, no obstante, los dispositivos aislantes se pueden dejar instalados.
- i. Cuando se emplee el método de trabajo a contacto, los operarios deben llevar guantes aislantes revestidos con guantes de protección mecánica y guantes de algodón en su interior.
- j. Todo operario que trabaje a potencial debe llevar una protección total tipo Jaula de Faraday para instalaciones en media, alta y extra alta tensión.
- k. En trabajos a distancia con tensiones menores o iguales a 230 kV, cuando no se coloquen dispositivos de protección que impidan todo contacto o arco eléctrico con un conductor desnudo, la mínima distancia de aproximación al conductor es 0,8 m cuando las cadenas de aisladores sean menores a 0,8 m y la distancia mínima será igual a la longitud de la cadena cuando esta es mayor a 0,8 m. Esta distancia puede reducirse a 0,60 m para la colocación de dispositivos aislantes cerca de los puntos de fijación de las cadenas de aisladores y de los aisladores en sus soportes.
- l. Todo equipo de trabajo con tensión debe ser sometido a ensayos periódicos de acuerdo con las normas técnicas o recomendaciones del productor. A cada elemento de trabajo debe abrirse y llenarse una ficha técnica.
- m. Los guantes aislantes deben ser sometidos a una prueba de porosidad por inyección de aire, antes de cada jornada de trabajo y debe hacerles un

ensayo de rigidez dieléctrica en laboratorio que tenga aseguramiento metrológico, mínimo cada seis meses.

n. Para las mangas, cubridores, protectores, mantas, pértigas, tensores, escaleras y demás equipos, se debe hacer mínimo un ensayo de aislamiento al año en laboratorio.

o. Los vehículos deben ser sometidos a una inspección general y ensayos de aislamiento a las partes no conductoras, mínimo una vez al año en laboratorio acreditado.

Parágrafo 1: Se entiende por distancia mínima de aproximación la distancia entre un conductor o elemento energizado y una parte cualquiera del cuerpo del operario estando este situado en la posición de trabajo más desfavorable.

Parágrafo 2: Para garantizar la seguridad, las pruebas de verificación rutinarias, es decir, las que se realizan antes de cada jornada de trabajo, a los equipos referidos en los literales m, n y o pueden ser efectuadas por personal de la empresa debidamente entrenado. De estos hechos deben llevarse registros y mantenerlos disponibles para atender solicitudes de autoridad competente.

Conclusiones y recomendaciones.

En relación con el riesgo por arco eléctrico, se determina un nivel medio de afectación para las personas. Las acciones preventivas incluyen la colocación de señalización de advertencia, mantener los tableros cerrados y rotulados, utilizar EPP conforme a la categoría de riesgo, y efectuar maniobras de apertura o cierre de interruptores preferiblemente sin tensión, únicamente por personal competente y capacitado. Es indispensable cumplir con las distancias mínimas de seguridad y con los requisitos establecidos en el artículo 3.10.1. del RETIE.

Para el riesgo de contacto directo e indirecto, también clasificado como medio, se recomiendan distancias seguras, instalación de barreras físicas, aislamiento o recubrimiento de partes activas, uso de EPP adecuados, conexión a tierra, mantenimiento preventivo y correctivo, así como inspección visual y medición anual del sistema de puesta a tierra.

En cuanto al riesgo de cortocircuito, de nivel medio, deben emplearse elementos de protección personal, instalar interruptores automáticos con disparo por máxima corriente o fusibles, y ejecutar planes de mantenimiento preventivo y correctivo.

Respecto al riesgo por descargas atmosféricas, también de nivel medio, se debe instalar un sistema externo de protección contra rayos (pararrayos) y

uno interno con descargadores de sobretensión (DPS), siguiendo la NTC 4552 y, cuando aplique, lo definido por el estudio de apantallamiento.

El riesgo por tensiones de contacto y de paso, igualmente medio, se mitiga mediante una malla de puesta a tierra de baja resistencia y equipotencializados, que garantice valores inferiores a los límites tolerables para el ser humano; instalación de sistema de protección contra rayos, control de accesos, señalización, verificación de ausencia de tensión en maniobras, doble aislamiento y conexión a tierra de todas las estructuras metálicas.

En el caso de equipos defectuosos, con riesgo medio para personas y bienes, además de impacto económico y ambiental, se requiere el uso de EPP, mantenimiento periódico de los equipos y correctivo/preventivo de las instalaciones.

Para el riesgo de explosión e incendio, de nivel medio, las medidas incluyen el uso de interruptores automáticos, dimensionamiento correcto de conductores y equipos, construcción de fosos de retención para transformadores, empleo adecuado de canalizaciones y accesorios para áreas clasificadas, así como instalación de cortafuegos.

En la operación durante tormentas, el personal de mantenimiento u operación, así como los contratistas, deberá acatar los procedimientos de seguridad establecidos por SST, evitando en lo posible trabajos en altura sobre las planchas cuando existan indicios de tormenta o lluvia, dado que la resistividad del terreno disminuye con la humedad, todo trabajador que transite por el parque de generación en estas condiciones deberá portar botas dieléctricas.

4.2. ANÁLISIS DE RIESGOS POR DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS (RAYOS) Y MEDIDAS DE PROTECCIÓN.

Las descargas eléctricas atmosféricas no se pueden evitar, pero existen medidas para ejercer un control que ofrezca seguridad a las personas y a los equipos eléctricos y electrónicos. Por lo tanto, las precauciones de protección apuntan hacia los efectos secundarios y a las consecuencias de una descarga eléctrica atmosférica a tierra.

El nivel de riesgo se obtiene de la ponderación de los indicadores de exposición al rayo y de la gravedad que puede implicar un impacto directo o indirecto del rayo sobre la estructura o instalación. Para evitar tales problemas conviene tomar medidas preventivas en cuanto a seguridad. Para esto se deben evaluar el nivel de riesgo del sistema ante la eventualidad que un impacto de rayo ponga en peligro: Vidas humanas, procesos industriales, continuidad de servicios, etc. Para este propósito, basados en la norma técnica NTC 4552 con énfasis en RETIE 2024 se determinará el grado de exposición de la edificación locales y oficinas.

Para la evaluación se utiliza un software de distribución libre, el cual hace la evaluación con la norma IEC 62305, que corresponde a zonas templadas. La diferencia más significativa es que para la evaluación en regiones tropicales, de acuerdo con la NTC 4552, se debe utilizar para la densidad de rayos a tierra (DDT) la ecuación:

$$DDT = 0.0017 \times Nc^{1,56}$$

Por lo tanto, el número de días tormentosos al año, Nc (NTC4552) o Td (IEC 62305); en el software no equivale al real, allí solo se configura el número que de la DDT de la zona en estudio. La NTC 4552-1 entrega un mapa de ISO-niveles ceráunicos para Colombia en el Anexo A.5.1, con la ecuación de DDT, se calcula para la zona de ubicación del proyecto a la densidad de descargas a tierra.

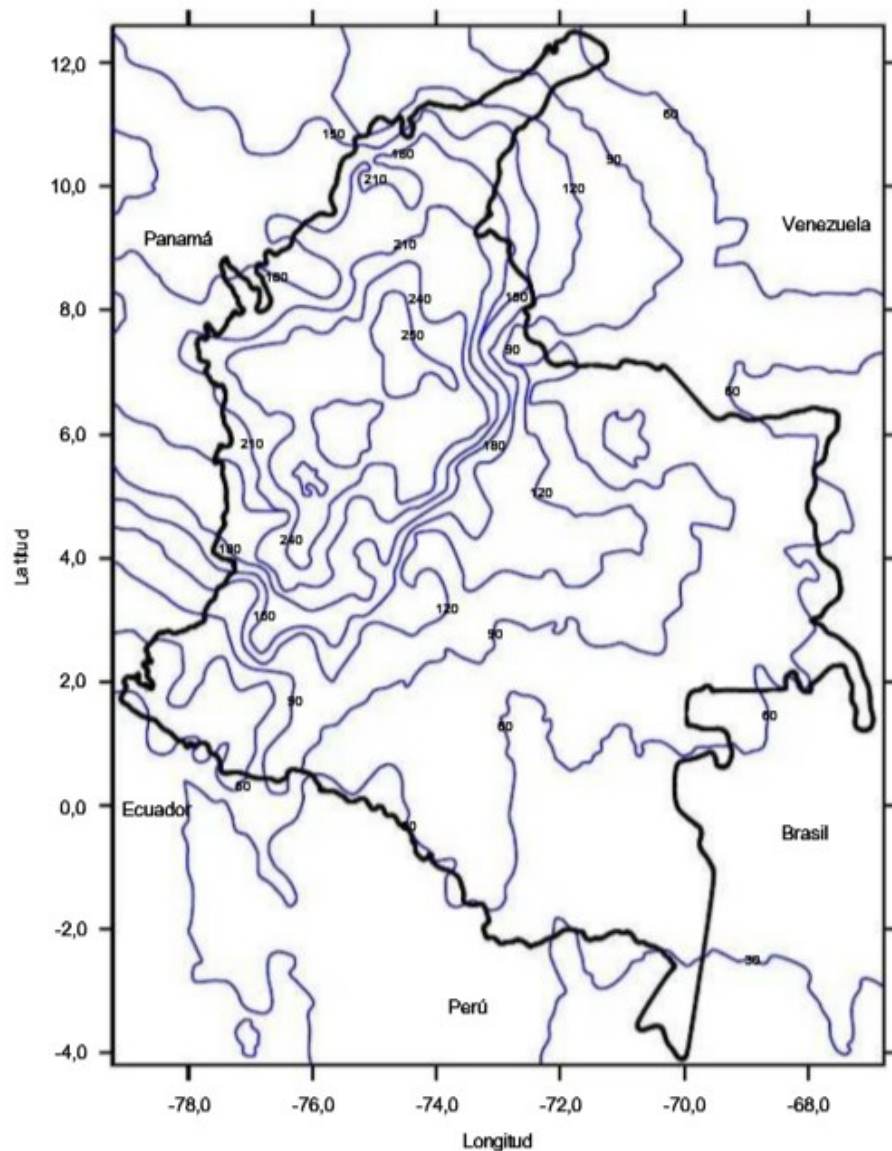


Figura 1. Nivel Ceráunicos de DDT

Para el presente proyecto se tiene una densidad de descargas a tierra de 10 rayos/km² al año.

[illegible]

Ilustración 23. Resultado DDT.

Los resultados arrojados por el simulador indican que no existe un riesgo económico el cual, se puede controlar con la instalación de SIPCR (Sistema interno de protección contra rayos) pero no es necesario. El SEPCR (Sistema externo de protección contra rayos) no es necesario en la instalación según la información arrojada por el simulador.

Los valores típicos de riesgo tolerable se presentan en la tabla 7 de la NTC 4552-2, del capítulo 5.4:

Tipo de pérdida	$R_T (y^{-1})$
Pérdida de vidas o lesiones permanentes	10^{-5}
Pérdida de servicio público	10^{-3}
Pérdida de patrimonio Cultural	10^{-3}

Tabla 5. Tabla de pérdidas.

De acuerdo con lo anterior, se puede determinar que el riesgo calculado es menor al riesgo tolerable, por lo tanto, la estructura o servicio está protegida para cada tipo de pérdida (pérdida de vidas, pérdida de servicio público, pérdida de patrimonio cultural), por lo tanto, no es necesario tomar más medidas.

Acciones recomendadas según el nivel de riesgo tolerable: Sistema de protección interno Cableados y PT según NEC, IEEE 1100, IEC364, IEC 61000-5-2

4.3. ANÁLISIS Y CÁLCULO DE CARGAS INICIALES Y FUTURAS, INCLUYENDO FACTOR DE POTENCIA Y ARMÓNICOS.

La siguiente gráfica presenta el nivel de consumo mensual registrado en la factura de energía de la Institución educativa Ernesto Rincón Ducon, ubicada en el centro poblado Botalón, adjudicado al municipio de Tame, Arauca. Este análisis resulta fundamental, ya que permite identificar las variaciones en la demanda eléctrica a lo largo del año, mostrando meses de mayor y menor consumo. Al contar con esta información se obtiene una visión más clara del comportamiento de la carga de la institución, lo cual es esencial para determinar la capacidad requerida del sistema fotovoltaico, proyectar la generación de energía y garantizar que la solución propuesta responda adecuadamente a las necesidades reales de la institución.

Año	Mes	Consumo (Kwh)
2025	Enero	840
2025	Febrero	1020
2025	Marzo	1260
2025	Abril	642
2025	Mayo	798
2025	Junio	360
2025	Julio	840
2025	Agosto	900
2025	Septiembre	1080
PROMEDIO		860

Tabla 6. Consumo mensual.

El histórico de consumo de la institución educativa promoción agropecuaria muestra una demanda mensual entre 0.360 kWh y 1.240 kWh, con un promedio de 0.860 kWh/mes. Para atender estas necesidades, se proyecta un sistema fotovoltaico de 36 kW trifásico a 220/127V.

La planta solar, de 34,8 kWp con cuatro (4) cadenas de doce (12) módulos en serie cada una, asegura que la tensión se mantenga dentro del rango seguro del inversor, en operación, el inversor entregará unos 36 kW en AC, equivalentes a una corriente aproximadamente de 100 A por fase, suficientes para cubrir gran parte de la carga.

En cuanto al contenido armónico, el inversor trifásico, según su ficha técnica, asegura una distorsión armónica total (THD) inferior al 3 %, valor que se encuentra dentro de los rangos recomendados por los organismos internacionales de calidad de energía y que, a su vez, cumple con los estándares establecidos en la Resolución CREG 024 de 2005 y el std IEEE 519 – 2014.

El proyecto contempla un factor de potencia de operación de 0,90, valor adecuado para garantizar un desempeño eficiente del sistema y el cumplimiento de los requisitos normativos aplicables.

A continuación, se muestra la tabla de límites de corriente armónica para sistemas con voltajes entre 120 V y 69 KV establecidos en la norma IEEE 519 – 2014.

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a, b}						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$< 20^c$	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
$20 < 50$	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
$50 < 100$	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
$100 < 1000$	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
> 1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0

^aEven harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

^bCurrent distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed.

^cAll power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual I_{sc}/I_L

where

I_{sc} = maximum short-circuit current at PCC

I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component)
at the PCC under normal load operating conditions

Ilustración 24. Límites de corriente armónica.

4.4. COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO ELÉCTRICO.

La norma IEC 60071-1:2019, titulada Coordinación de aislamiento – Parte 1: Definiciones, principios y reglas, establece que se aplica a sistemas de corriente alterna trifásica con tensiones superiores a 1 kV.

En el colegio se maneja una tensión inferior a 1 kV, ya que maneja una tensión de 220V. Por lo tanto, según la norma, **NO APLICA** la coordinación de aislamiento para las instalaciones eléctricas de la institución.

4.5. ANÁLISIS Y CÁLCULOS DE CORTOCIRCUITO, ARCO ELÉCTRICO Y FALLA A TIERRA

Se realiza una simulación de la red interna del I.E. técnico industrial Froilán Farias en el software ETAP, con el fin de evaluar las corrientes de cortocircuito máximas que pueden presentarse en los diferentes puntos de la red eléctrica. Este análisis permite verificar los niveles de cortocircuito que deben soportar las protecciones instaladas y las proyectadas en el sistema fotovoltaico.

Para dicho análisis es necesario contar con el valor de la corriente de cortocircuito suministrado por el operador de red; en este caso dicho valor se establece de 7.80KA para corriente de corto circuito trifásica y de 9.80KA para corriente de corto circuito monofásica.

Posteriormente, con los datos necesarios para la evaluación de las corrientes de cortocircuito en el sistema, se obtienen los resultados, los cuales se presentan a continuación:

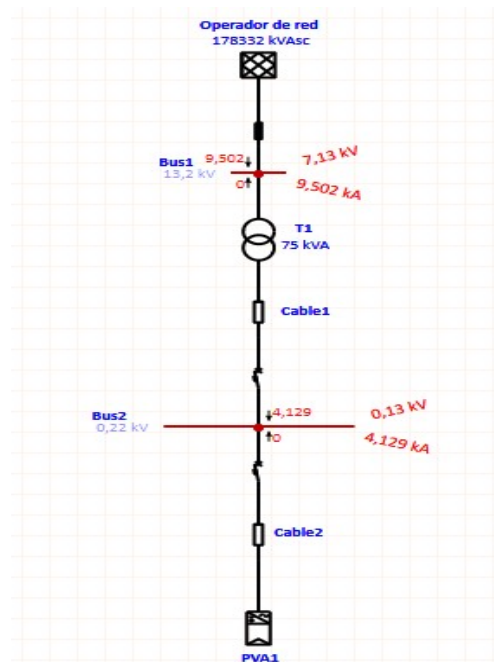


Ilustración 25. Cortocircuito monofásico después de implementar el SSFV.

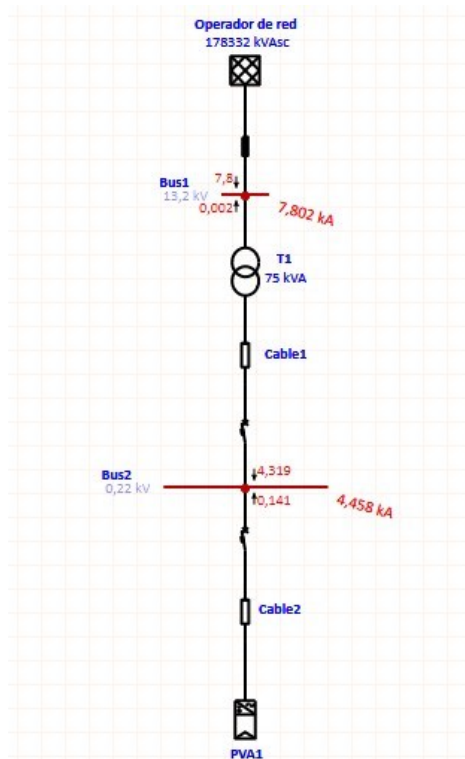


Ilustración 26. Cortocircuito trifásico después de implementar el SSFV.

Los resultados de la simulación muestran que en el punto de conexión del transformador de 75 kVA (13,2 kV / 0,22 kV) la corriente de cortocircuito en el lado de media tensión alcanza un valor de 7,802 kA, mientras que en el bus de baja tensión se registran corrientes del orden de 4,458 kA. Estos valores son determinantes para la selección de los dispositivos de protección (interruptores automáticos, fusibles y demás dispositivos) asegurando que tengan un poder de corte adecuado para soportar estas condiciones.

4.6. ANÁLISIS DEL NIVEL TENSIÓN REQUERIDO.

El sistema eléctrico de la Institución Educativa Ernesto Rincón Ducon, se estructura conforme a los niveles de tensión definidos en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) y a las condiciones técnicas de conexión establecidas por ENELAR ESP. El sistema se clasifica en los siguientes niveles:

a) Media Tensión (MT)

Corresponde al suministro de energía eléctrica proporcionado por ENELAR ESP, con una tensión nominal de 13,2 kV. En este nivel se encuentra un transformador de distribución de 75 kVA, con relación de transformación 13,2 kV / 220 V.

b) Baja Tensión (BT)

Corresponde al nivel de baja tensión (220 V), desde el cual se suministra energía al sistema eléctrico de la institución. Este nivel integra el tablero de distribución principal y la conexión del sistema solar fotovoltaico, asegurando un flujo energético estable y seguro.

4.7. CÁLCULOS DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

Como lo establece el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE se deben realizar estudios y cálculos de campos electromagnéticos cuando se diseñan líneas o subestaciones de tensión superior a 57.5 kV, hecho que no ocurre en el presente diseño; por lo tanto, este ítem no es aplicable en el proyecto.

4.8. CÁLCULO DE TRANSFORMADORES INCLUYENDO EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS Y FACTOR DE POTENCIA EN LA CARGA.

No aplica para este proyecto, ya que se cuenta con un transformador existente utilizado para la institución educativa promoción agropecuario.

4.9. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.

El sistema de puesta a tierra tiene por finalidad proteger la vida de las personas, evitar daños en los equipos por sobretensiones y mejorar la efectividad de las protecciones eléctricas, al proporcionar una adecuada conducción de la corriente de falla a tierra. La resistencia de puesta a tierra debe garantizar que las tensiones de paso y contacto sean inferiores a las máximas admisibles exigidas.

Se realiza el cálculo del sistema puesta a tierra cumpliendo la normativa IEEE 80, el determina cuál debería ser la malla correspondiente al sistema de puesta a tierra para el proyecto.

En el Anexo 1. Se podrá encontrar el cálculo completo realizado mediante la metodología de la IEEE80-2013.

4.10. CÁLCULO ECONÓMICO DE CONDUCTORES, TENIENDO EN CUENTA TODOS LOS FACTORES DE PÉRDIDAS, LAS CARGAS RESULTANTES Y LOS COSTOS DE LA ENERGÍA.

4.10.1. CÁLCULO DE CONDUCTOR DC

Para el sistema fotovoltaico en corriente continua (DC) se seleccionará un conductor de acuerdo con la siguiente ecuación, dicha ecuación indica la corriente para cada string:

$$InDC = I_{sc}MF * 1,56$$

$$InDC = 18,54 * 1,56 = 28,92 A$$

Como son tres string, entonces la corriente para el cálculo del conductor es 4 mm²:

Conductor		Aislamiento		Cubierta		Peso Total Aproximado	Ampacidad ⁽¹⁾		
Calibre	Resistencia Eléctrica DC a 20°C	Espesor Nominal	Díametro Aproximado	Espesor Nominal	Díametro Aproximado		Un Cable al Aire	Un Cable Sobre una Superficie	Dos Cables en Contacto Sobre Superficie
mm ²	Ω/km	mm	mm	mm	mm	kg/km		A	
1,5	13,2980	0,70	3,06	0,80	4,74	31	30	29	24
2,5	7,9693	0,70	3,53	0,80	5,21	42	41	39	33
4	4,9408	0,70	4,08	0,80	5,76	58	55	52	44
6	3,2906	0,70	4,66	0,80	6,34	78	70	67	57
10	1,8928	0,70	5,65	0,80	7,33	120	98	93	79
16	1,2036	0,70	6,54	0,90	8,44	183	132	125	107
25	0,7717	0,90	8,21	1,00	10,31	280	176	167	142
35	0,5484	0,70	9,38	1,10	11,66	380	218	207	176
50	0,3815	1,00	11,08	1,20	13,58	537	276	262	221
70	0,2689	1,10	13,05	1,20	15,55	752	347	330	278
95	0,2038	1,10	15,24	1,30	17,94	980	416	395	333
120	0,1592	1,20	17,26	1,30	19,96	1254	488	464	390
150	0,1281	1,40	19,31	1,40	22,23	1549	566	538	453
185	0,1048	1,60	21,40	1,60	24,72	1893	644	612	515
240	0,0793	1,70	27,77	1,70	31,31	2593	775	736	620

Ilustración 27. Tabla de Conductores Fotovoltaicos CENTELSA.

El conductor de puesta a tierra se selecciona un 10 AWG, cumpliendo con lo establecido en la NTC 2050 (segunda actualización) para la capacidad del dispositivo de protección previsto, y proporcionando una sección suficiente para soportar corrientes de falla, garantizar continuidad eléctrica y ofrecer mayor durabilidad mecánica.

Valor nominal o ajuste de dispositivos automáticos contra sobrecorriente en circuitos antes del equipo, tubo (<i>conduit</i>), etc., sin exceder (A)	Sección transversal			
	Cobre		Aluminio o aluminio recubierto de cobre*	
	mm ²	AWG o kcmil	mm ²	AWG o kcmil
15	2,08	14	3,30	12
20	3,30	12	5,25	10
60	5,25	10	8,36	8
100	8,36	8	13,29	6
200	13,29	6	21,14	4
300	21,14	4	33,62	2
400	26,66	3	42,2	1
500	33,62	2	53,5	1/0
600	42,2	1	67,44	2/0
800	53,5	1/0	85,02	3/0
1 000	67,44	2/0	107,21	4/0
1 200	85,02	3/0	126,67	250
1 600	107,21	4/0	177,34	350
2 000	126,67	250	202,68	400
2 500	177,34	350	304,02	600

Ilustración 28. Tabla 250.122 Conductores de Tierra NTC 2050 Segunda Actualización.

4.10.2. CÁLCULO DE CONDUCTOR AC

Para la selección del conductor en AC se tiene en cuenta la tabla 310.15(B)(16) de la NTC 2050 segunda actualización, como en el ítem 5.3 de este documento se calculó la corriente para la protección seleccionaremos el conductor THWN 2 AWG y para el conductor de tierra se seleccionará calibre 8 AWG como se muestra a continuación:

$$I = \frac{36kW}{\sqrt{3} \times 220V} = 94.47 = 94.47 * 1,25 = 118.09 A$$

Sección trans.	Temperatura nominal del conductor [Ver Tabla 310.104(A).]						Calibre
	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C	
	Tipos TW, UF	Tipos RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW	Tipos TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	Tipos TW, UF	Tipos RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE	Tipos TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
mm ²	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			AWG kcmil
0,82	—	—	14	—	—	—	18**
1,31	—	—	18	—	—	—	16**
2,08	15	20	25	—	—	—	14**
3,30	20	25	30	15	20	25	12**
5,25	30	35	40	25	30	35	10**
8,36	40	50	55	35	40	45	8
13,29	55	65	75	40	50	55	6
21,14	70	85	95	55	65	75	4
26,66	85	100	115	65	75	85	3
33,62	95	115	130	75	90	100	2
42,2	110	130	145	85	100	115	1
53,5	125	150	170	100	120	135	1/0
67,44	145	175	195	115	135	150	2/0
85,02	165	200	225	130	155	175	3/0
107,21	195	230	260	150	180	205	4/0

Ilustración 29. Tabla conductores 310.15(b) según NTC 2050 segunda actualización,

Valor nominal o ajuste de dispositivos automáticos contra sobrecorriente en circuitos antes del equipo, tubo (conduit), etc., sin exceder (A)	Sección transversal			
	Cobre		Aluminio o aluminio recubierto de cobre*	
	mm ²	AWG o kcmil	mm ²	AWG o kcmil
15	2,08	14	3,30	12
20	3,30	12	5,25	10
60	5,25	10	8,36	8
100	8,36	8	13,29	6
200	13,29	6	21,14	4
300	21,14	4	33,62	2
400	26,66	3	42,2	1
500	33,62	2	53,5	1/0
600	42,2	1	67,44	2/0
800	53,5	1/0	85,02	3/0
1 000	67,44	2/0	107,21	4/0
1 200	85,02	3/0	126,67	250
1 600	107,21	4/0	177,34	350
2 000	126,67	250	202,68	400
2 500	177,34	350	304,02	600
3 000	202,68	400	304,02	600
4 000	253,35	500	380,02	750
5 000	354,69	700	633,38	1 200
6 000	405,36	800	633,38	1 200
NOTA Cuando sea necesario cumplir con la sección 250.4(A)(5) o (B)(4), el conductor de puesta a tierra del equipo debe ser dimensionado con un calibre mayor que el dado en esta Tabla.				
* Véanse las restricciones de instalación en la sección 250.120				

Ilustración 30. Tabla 250.122 Conductores de Tierra NTC 2050 Segunda Actualización

El estudio económico aplicado a los conductores eléctricos tiene como propósito seleccionar, entre las alternativas técnicamente posibles, aquel calibre que brinde mayor confiabilidad al sistema y que logre un balance adecuado entre el gasto de instalación y los costos que se generan en su operación.

Para llegar a esta selección se analizaron distintos calibres de conductor considerando factores como la potencia del sistema, la longitud de los tramos, el factor de potencia, la presencia de armónicos de corriente (THDi), las horas anuales de uso y el precio esperado de la energía, información que se resume en la tabla 11. A partir de estos parámetros se calcularon las pérdidas por efecto Joule y se determinó el valor presente de los costos asociados a dichas pérdidas (VPN operativo).

El procedimiento contempló dos tipos de egresos:

- Inversión inicial del conductor, correspondiente al costo de compra y montaje.

- Gasto operativo (VPN de pérdidas), que representa el valor acumulado de la energía desaprovechada durante el tiempo de vida útil del sistema.

La elección final no obedeció únicamente a seleccionar el calibre de menor precio, sino al que garantiza el cumplimiento de normas de seguridad, límites de caída de tensión y capacidad de transporte de corriente, asegurando al mismo tiempo un desempeño económico sostenible. Esto se evidencia en las tablas 12 y 13, donde se presenta el calibre adoptado en el diseño como la opción más adecuada.

Datos de entrada		Tramos						
Sistema		Tramo	N I	N F	Distancia	Potencia	Factor de potencia	THD i
Tipo de sistema	Trifásico				km	kVA		(%)
Tensión kV	0,220							
a (aumento anual de la carga)	3%	1	0	1	0,086	8,70	1,00	
Factor de carga	0,636	2	1	2	0,773	8,70	1,00	
Neutro	Si	3	2	3	0,070	8,70	1,00	
No. Conductores por fase	1	4	3	4	0,060	8,70	1,00	
No. De circuitos	3							
Económicos								
P (Costo w-h (\$))	0,9							
D (Costo de cubrir las pérdidas del suministro adicional)	0							
Tasa de descuento	12,40%							
b (aumento anual del costo de la energía)	1%							
Funcionamiento								
Horas de funcionamiento por día	8							
Vida útil (años)	20							
Índice de pérdidas reconocidas CREG								
	Si							
Nivel de tensión 4 (>57.5 kV)	0,91%							
Nivel de tensión 3 (30 a 57.5 kV)	1,21%							
Nivel de tensión 2 (1 a 30 kV)	1,12%							
Nivel de tensión 1 (< 1 kV)	3,88%							

Datos de entrada		Tramos						
Sistema		Tramo	N I	N F	Distancia	Potencia	Factor de potencia	THD i
Tipo de sistema	Trifásico				km	kVA		(%)
Tensión kV	0,220							
a (aumento anual de la carga)	3%	1	0	1	0,005	36,00	0,95	10,00%
Factor de carga	0,636	2	1	2	0,019	36,00	0,95	10,00%
Neutro	Si							
No. Conductores por fase	1							
No. De circuitos	1							
Económicos								
P (Costo w-h (\$))	0,9							
D (Costo de cubrir las pérdidas del suministro adicional)	0							
Tasa de descuento	12,40%							
b (aumento anual del costo de la energía)	1%							
Funcionamiento								
Horas de funcionamiento por día	8							
Vida útil (años)	20							
Índice de pérdidas reconocidas CREG								
	Si							
Nivel de tensión 4 (>57.5 kV)	0,91%							
Nivel de tensión 3 (30 a 57.5 kV)	1,21%							
Nivel de tensión 2 (1 a 30 kV)	1,12%							
Nivel de tensión 1 (< 1 kV)	3,88%							

Tabla 7. datos de entrada conductores

Tramo 1			
Calibre AWG- KCMIL	Conductor óptimo (Costo total)	Costo Inicial	Costo operativo VPN
	10 mm2		
4 mm2	\$ 16.717.629,72	\$ 564.634,72	\$ 16.152.995,00
6 mm2	\$ 15.729.969,02	\$ 814.977,28	\$ 14.914.991,74
10 mm2	\$ 12.027.672,69	\$ 1.298.311,04	\$ 10.729.361,65
Tramo 2			
Calibre AWG- KCMIL	Conductor óptimo (Costo total)	Costo Inicial	Costo operativo VPN
	10 mm2		
4 mm2	\$ 15.026.427,65	\$ 507.514,70	\$ 14.518.912,95
6 mm2	\$ 14.138.681,45	\$ 732.531,90	\$ 13.406.149,55
10 mm2	\$ 10.810.919,75	\$ 1.166.970,27	\$ 9.643.949,48
Tramo 3			
Calibre AWG- KCMIL	Conductor óptimo (Costo total)	Costo Inicial	Costo operativo VPN
	10 mm2		
4 mm2	\$ 13.568.494,82	\$ 458.273,30	\$ 13.110.221,53
6 mm2	\$ 12.766.881,83	\$ 661.458,30	\$ 12.105.423,53
10 mm2	\$ 9.761.994,81	\$ 1.053.745,47	\$ 8.708.249,34
Tramo 4			
Calibre AWG- KCMIL	Conductor óptimo (Costo total)	Costo Inicial	Costo operativo VPN
	10 mm2		
4 mm2	\$ 11.644.023,49	\$ 393.274,65	\$ 11.250.748,85
6 mm2	\$ 10.956.106,33	\$ 567.641,15	\$ 10.388.465,18
10 mm2	\$ 8.377.413,88	\$ 904.288,74	\$ 7.473.125,15

Tabla 8. Datos de entrada de conductores

El tramo 1 corresponde a la distancia entre el tablero de protecciones en AC de la planta solar hasta el tablero existente, en la tabla 15 se muestra el costo inicial y los costos operativos del tramo.

El tramo 1 en AC corresponde a la distancia entre la salida del inversor, tablero AC y tablero general.

Tramo 1			
Calibre AWG- KCMIL	Conductor óptimo (Costo total)	Costo Inicial	Costo operativo VPN
	4/0		
6	\$ 3.222.422,76	\$ 50.596,00	\$ 3.171.826,76
4	\$ 2.236.510,16	\$ 82.508,40	\$ 2.154.001,76
2	\$ 1.545.020,94	\$ 124.800,00	\$ 1.420.220,94
1/0	\$ 1.129.219,61	\$ 206.076,00	\$ 923.143,61
2/0	\$ 992.652,42	\$ 258.871,60	\$ 733.780,82
3/0	\$ 923.877,52	\$ 332.118,80	\$ 591.758,72
4/0	\$ 874.394,58	\$ 400.987,60	\$ 473.406,98
250	\$ 891.523,53	\$ 489.127,60	\$ 402.395,93

Tabla 9. Conductor AC del sistema tramo 1

Según el cálculo económico de conductores, por temas de costos sería más viable tomar un conductor 4/0 AWG, pero en parámetros de diseño se tiene calculado un conductor de calibre 2 AWG que cumple con las características requeridas en el proyecto.

4.10. ESPECIFICACIÓN DE LOS CONDUCTORES, TENIENDO EN CUENTA EL TIEMPO DE DISPARO DE LOS INTERRUPTORES, LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO DE LA RED Y LA CAPACIDAD DE CORRIENTE DEL CONDUCTOR, DE ACUERDO CON LA NORMA IEC 60909 U OTRA EQUIVALENTE.

Teniendo en cuenta que el cálculo realizado anteriormente para conductores y protecciones no es suficiente para establecer que son los ideales para el sistema fotovoltaico establecido, se debe realizar los cálculos según la norma IEC 60909 en donde se pone a prueba el conductor para soportar la temperatura en caso de falla por corto circuito hasta que la

protección actúe. A continuación, se realizan los cálculos que constatan la correcta selección de conductores del sistema.

- **Conductor en AC (conductor 1/0 AWG)**

Datos:

Sección transversal del conductor = 53.5mm²

Tiempo de despeje de protección (3x125A) = 0.015seg

Corriente de cortocircuito: If=0.80KA=800A

Según la IEC define la siguiente ecuación para realizar la verificación térmica por cortocircuito:

$$Isoportable = \frac{k * S}{\sqrt{t}}$$

Donde:

K= constante del conductor definido por la tabla 1 de la IEC60949, para conductores en cobre es de $\frac{226 A * S^{0.5}}{mm^2}$

S= Sección transversal del conductor

t= Tiempo de despeje de falla

$$Isoportable = \frac{k * S}{\sqrt{t}} = \frac{226 A * S / mm^2 * 53.5 mm^2}{\sqrt{0.015 s}} = 98722.6 A$$

Realizando el cálculo de corriente permisible para el conductor seleccionado y haciendo la comparación con la corriente de corto circuito del sistema, se puede evidenciar que este soporta la descarga en caso de falla antes que la protección actúe.

- **Conductor en DC (conductor 4mm²)**

Datos:

Sección transversal del conductor = 4mm²

Tiempo de despeje de protección fusible gPV 25A – 1000VDC (30A) = 0.5seg

Corriente de cortocircuito: If=0.83KA=830A

K= constante del conductor definido por la tabla 1 de la IEC60949, para conductores en cobre es de:

$$\frac{226A * S^{0.5}}{mm^2}$$

Fusible: 30 A – 1000 V DC

Con los datos entregados procedemos a calcular el tiempo máximo que puede durar el conductor antes que sufra un sobrecalentamiento irreversible, para lo cual tenemos la siguiente ecuación.

$$t_{max} = \left(\frac{k * S}{I_{falla}} \right)^2 = \left(\frac{226 * 4}{830} \right)^2 = 1.1853 \text{ seg}$$

Teniendo en cuenta las curva características del fusible seleccionado, podemos confirmar que este se acciona con una corriente de corto circuito máximo entre 500A y 600 A en un tiempo menor de 0.01segundo, como se puede apreciar a continuación.

4.11. CÁLCULO MECÁNICO DE ESTRUCTURAS Y DE ELEMENTOS DE SUJECIÓN Y SOPORTE DE REDES DE TRANSMISIÓN, DE DISTRIBUCIÓN, SUBESTACIONES Y CENTRALES DE GENERACIÓN.

El presente proyecto presenta un estudio mecánico de las estructuras de soporte en donde se ubicarán los módulos fotovoltaicos, los cuales estarán expuestos a esfuerzos por vientos principalmente.

A continuación, establecemos los datos necesarios para poder calcular los esfuerzos que estarán expuestos los módulos.

Numero de módulos: 48 unidades

Peso x modulo: 38.3 Kg-Wm=38.3kg*9.81m/s²= 376 N

Dimensiones módulos: 1.30m X 2.38m Área= 3.094m²

Velocidad de diseño de viento (valor máximo registrado): 30 m/s

Densidad del Aire: ρ=1.225Kg/m³

Presión dinámica: $q = \frac{1}{2} \rho V^2 = 0.551 \text{ KN/m}^2$

Coeficiente de presión= 0.8

Numero de anclajes por modulo: 4

Factor de seguridad (FS): 2

Teniendo los datos establecidos anteriormente, procedemos a calcular la fuerza ejercida por el viento:

$F_v = 0.551 * 3.026 * 0.8 = 1335 \text{ KN}$ fuerza de viento por succión / uplift

$F_{vtotal} = 1.335 * 48 = 64.06KN$ Fuerza total de levantamiento.

Esfuerzo por anclaje

$F_a = 1.335/4 = 333.7N$ con factor de seguridad nos queda: $FS=2$

$F_a = 667.4N$

Considerando los esfuerzos por vientos laterales establecemos lo siguiente:

$$F_{lat} = \sqrt{333.7^2 + 500^2} = 602N$$

Con Factor de seguridad nos queda: $F_{lat} = 1.20KN$

La fuerza total de viento (64 kN) supera ampliamente el peso (18 kN). Por lo tanto, **es imprescindible anclar** (o usar lastre calculado) para evitar uplift, por tal motivo se establece una demanda mínima calculada por anclaje de 1.2KN, se deben instalar anclajes con capacidad que supere los esfuerzos a los que estaría establecido el módulo, se deben certificar los anclajes por el proveedor

A continuación, se muestra el listado de materiales a contemplar para la instalación de los paneles

DESCRIPCIÓN	USO	CANTIDAD
L - Foot 	Anclaje a piso y/o techo, se debe impermeabilizar la perforación para evitar filtraciones. Se emplea tornillo autoperforante.	1 soporte de L cada dos metros para el sostenimiento del RIEL
Riel 	Soporte transversal de los paneles solares, van sostenidos por las L - foot. Cada panel requiera ya sea de manera horizontal o vertical el paso de dos rieles transversalmente	Generalmente, cada riel viene de 4.2 m que permiten ubicar 4 paneles verticalmente sobre ellos, es decir que para 4 paneles de 1m de ancho se requieren 2 rieles de 4.2 m.
tornillo exagonal autoperforante 	se usan principalmente en la estructura de soporte de los módulos y equipos asociados. Su función es facilitar el montaje rápido sin	

		necesidad de perforar previamente con broca.	
MID Clamp		Punto de anclaje de los paneles solares contra el riel, evita su movimiento por vientos o su propio peso, cada MID soporta dos paneles.	Cada MID va entre dos paneles, es decir que por cada dos paneles se requieren 2 MID Clamp.
END Clamp		Punto de anclaje de los paneles solares contra el riel, evita su movimiento por vientos o su propio peso, cada END soporta dos paneles	Cada END va al final de cada cadena de paneles, es decir que por cada dos paneles se requieren 2 END Clamp.

Ilustración 31. Materiales mecánicos de las estructuras proyectadas a instalar.

4.12. CÁLCULO Y COORDINACIÓN DE PROTECCIONES CONTRA SOBRECORRIENTES. EN BAJA TENSIÓN SE PERMITE LA COORDINACIÓN CON LAS CARACTERÍSTICAS DE LIMITACIÓN DE CORRIENTE DE LOS DISPOSITIVOS SEGÚN IEC 60947-2 ANEXO A.

4.12.1. PROTECCIONES EN AC

Para la configuración de las protecciones en corriente alterna se debe identificar la corriente máxima de nuestro sistema, en este caso tenemos un inversor de 36KW el cual define la protección principal en AC según los siguientes cálculos.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V}$$

Protección salida inversor a tablero de distribución de 220V.

$$I = \frac{36 \text{ kW}}{\sqrt{3} \times 220 \text{ V}} * 1.25 = 118.09 \text{ A}$$

Teniendo en cuenta la corriente máxima de nuestro sistema se define la protección a emplear según lo existente en el mercado. Para este caso se define una protección de 125A con una capacidad de ruptura de 25KA

4.12.2. PROTECCIONES EN DC

En el apartado de corriente directas, tomamos los datos definidos por el datasheet de los módulos fotovoltaicos, los cuales me entregan la información que cada módulo me entrega una corriente de corto circuito de 18.34A, con este dato podemos dimensionar el fusible necesario para nuestro arreglo fotovoltaico. Teniendo en cuenta que cada arreglo string se compone por 12 módulos conectados en serie, la corriente de cada string será la misma mencionada.

A continuación, se realiza el cálculo para dimensionar la protección requerida:

$$I_f = I_{sc} \times 1,25$$

Donde:

I_{sc} : Es la corriente de corto circuito del panel

I_f : Es la corriente del fusible

$$I_f = 18,54 A \times 1,25 = 23,17 A$$

El fusible seleccionado es de tipo gPV 30 A – 1000 V DC, diseñado específicamente para sistemas fotovoltaicos, este fusible ofrece alta capacidad de corte en corriente continua, protege los conductores y equipos frente a sobre corrientes y cortocircuitos en los strings, y soporta las condiciones térmicas y eléctricas propias de instalaciones solares, garantizando una desconexión rápida y segura.

- **Calculo y selección de DPS**

Para proteger la etapa de corriente continua del sistema fotovoltaico se selecciona un DPS Tipo II según IEC 61643-31, diseñado para aplicaciones fotovoltaicas. El cálculo y la selección parten de los datos eléctricos de los módulos y del inversor.

La tensión por string es de:

$$V_{mpp} = 12 \times 41,5V = 498 Vdc$$

$$V_{oc} = 12 \times 49,6 V = 595.2 Vdc$$

$$U_c = 1.2 \times 594,4 Vdc = 714.24 Vdc$$

El DPS Tipo II, $U_c = 1000 Vdc$, $I_n \geq 10 kA$, onda 8/20 μs , tripolar, garantiza la protección adecuada contra sobretensiones en la etapa de corriente continua, cumpliendo las exigencias de la IEC 61643-31 y el RETIE.

Conclusión:

La coordinación de protecciones para el sistema fotovoltaico tuvo consideraciones de tipo comercial, ya que los valores obtenidos no se encuentran en el mercado, por tal motivo se establecieron los siguientes equipos:

- Sistema DC
Un fusible de 30 A tipo Fus gPV para cada string con DPS tipo II- 1000Vdc 12,5 kA

- Sistema AC

Desde la salida del inversor hacia el tablero de protecciones en corriente alterna, se dispondrá una protección de 3×125A-25KA.

La protección del tablero principal queda como la existente, ya que esta se debió haber seleccionado con los valores nominales del transformador.

4.12. CÁLCULOS DE CANALIZACIONES (TUBOS, DUCTOS, CANALES Y ELECTRODUCTOS), BANDEJAS PORTACABLES Y VOLUMEN DE ENCERRAMIENTOS (CAJAS, CONDULETAS, ARMARIOS, ETC.)

El presente calculo se realiza con el fin de definir la canalización idónea para nuestra instalación eléctrica teniendo en cuenta los conductores definidos de la misma, esta se define bajo parámetros establecidos por la NTC2050.

A continuación, se muestran las características de cada conductor definido para la instalación fotovoltaica, tanto en DC y AC.

SISTEMA DC				
DE CADA CADENA DE PANELES A TABLERO DE PROTECCIONES DC				
CONDUCTORES				
CABLE SOLAR	CANTIDAD	DIAMETRO EXTERIOR mm	ÁREA DEL CABLE mm ²	OCUPACIÓN mm ²
4mm ²	8	5,76	26.05	208.46
10 AWG	4	7,06	39.14	156.588
DE TABLERO DC A INVERSOR				
CONDUCTORES				
CABLE SOLAR	CANTIDAD	DIAMETRO EXTERIOR mm	ÁREA DEL CABLE mm ²	OCUPACIÓN mm ²
4mm ²	8	5,76	26,05	208.46
8 AWG	1	5,53	24.01	24.01

Tabla 10. Conductores del sistema en corriente directa.

SISTEMA AC				
DESDE INVERSORES A TABLERO PROTECCIONES AC				
CONDUCTORES				
CABLE AWG	CANTIDAD	DIAMETRO EXTERIOR mm	ÁREA DEL CABLE mm2	OCUPACIÓN mm2
2	4	10.3	83.32	333.29
6	1	6,5	33,1	33,18
DESDE TABLERO DE PROTECCIONES AC A TABLERO GENERAL				
CONDUCTORES				
CABLE AWG	CANTIDAD	DIAMETRO EXTERIOR mm	ÁREA DEL CONDUCTOR mm2	OCUPACIÓN mm2
2	4	10.3	113,09	333.29
6	1	6.5	33.1	33,18

Tabla 11. Conductores del sistema en corriente Alterna.

Para este sistema se proyecta el uso de tubería IMC, por lo cual nos regimos de la tabla ANSI C80.6 mostrada en la tabla 22, para definir la medida correcta según la cantidad de conductores de la instalación eléctrica.

Tamaño nominal (IMC)	Diámetro interior (mm)	Área interior (mm²)	Área 1 cond. (53%) mm²	Área 2 cond. (31%) mm²	Área ≥3 cond. (40%) mm²
1/2"	15.8	196.07	103.92	60.78	78.43
3/4"	21.46	361.7	191.7	112.13	144.68
1"	27.56	596.55	316.17	184.93	238.62
1-1/4"	36.1	1,023.54	542.48	317.3	409.42
1-1/2"	42.16	1,396.02	740.5	432.77	558.41
2"	54.23	2,309.77	1,223.18	716.03	923.91
2-1/2"	69.84	3,830.88	2,031.37	1,187.37	1,532.35
3"	85.71	5,769.70	3,058.04	1,788.61	2,307.88
3-1/2"	97.79	7,510.67	3,981.69	2,328.31	3,004.27
4"	110.43	9,577.76	5,071.82	2,968.11	3,831.10
5"	136.53	14,640.17	7,759.29	4,538.45	5,856.07
6"	162.84	20,826.30	11,037.94	6,456.15	8,330.52

Tabla 12 Ocupación de ductos IMC

Con la información suministrada de conductores y tubería a utilizar, se define el porcentaje de ocupamiento teniendo en cuenta lo establecido por la NTC 2050. En la tabla 20 y 21 se establecen los valores en área total de ocupamiento, dando consigo los siguientes valores:

- DE CADA CADENA DE PANELES A TABLERO DE PROTECCIONES DC

Ocupación total de conductores 365.048mm² por lo cual se establece según la tabla que el ducto adecuado manteniendo lo establecido por la NTC2050 es 1-1/4”.

- DE TABLERO DC A INVERSOR

Ocupación total de conductores 232.47mm² por lo cual se establece según la tabla que el ducto adecuado manteniendo lo establecido por la NTC2050 es 1-1/4”.

- DESDE INVERSORES A TABLERO PROTECCIONES AC Y DESDE TABLERO DE PROTECCIONES AC A TABLERO GENERAL

Ocupación total de conductores 366.47mm² por lo cual se establece según la tabla que el ducto adecuado manteniendo lo establecido por la NTC2050 es 1-1/4”.

Conclusión:

- Como se pudo evidenciar la tubería desde el sistema DC al AC se define en tubería IMC de 1-1/4”, con el fin de garantizar la correcta instalación de estos y que no se tengan problemas a la hora de sondear dicha tubería se establece un tubo para toda la instalación de 2” IMC.
- Por temas de organización de conductores se podrá contemplar bandeja portacables tipo escalera de medidas 150mmx300mmx3000mm, en caso de que por la misma bandeja se proyecten cables con energía AC y DC esta deberá estar dividida por una barrera física cogiéndonos a la sección “J” del artículo 3.17.23. del RETIE 2024.

4.13. CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA, TENIENDO EN CUENTA LOS EFECTOS DE ARMÓNICOS Y FACTOR DE POTENCIA.

El cálculo de pérdidas de energía se realiza teniendo en cuenta los conductores del sistema fotovoltaico y la longitud de los tramos, en el caso AC se tiene en cuenta el factor de potencia y la distorsión armónica generada por los equipos electrónicos, en cambio en el caso de DC no existen armónicos.

El procedimiento del cálculo de energía en AC consiste en determinar la corriente eficaz total que circula por los conductores, mediante la fórmula:

$$I_{RMS} = I \sqrt{1 + THD^2}$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} V_{LL} PF}$$

Donde:

I_{RMS} = Corriente eficaz total

I = Corriente entregada por el sistema

THD = Índice de distorsión armónica

P = Potencia del sistema

V_{LL} = Tensión del sistema

PF = Factor de potencia

Luego de determinar la corriente eficaz se calculan las pérdidas en el sistema, mediante la fórmula:

$$P_{Pérdidas} = I_{rms}^2 * R_{Total}$$

R_{Total} = Resistencia total del circuito

Reemplazando los datos, obtenemos que las pérdidas en el caso AC son:

$$I = \frac{30000}{\sqrt{3} * 220 * 0,95} = 82,87 \text{ A}$$

$$I_{RMS} = 82,87 \sqrt{1 + 0,03^2} = 82,91 \text{ A}$$

$$P_{Pérdidas} = 82,91^2 * 0,51 = 3505,77 \text{ W}$$

Ahora, el procedimiento para el cálculo de perdidas en DC solo se tiene en cuenta la corriente y la resistencia total por la distancia del circuito, en este cálculo se multiplica por 2 teniendo en cuenta la ida y regreso de los conductores, así para este caso tenemos:

$$P_{Pérdidas} = 2 * I_{string}^2 * R_{Total \text{ string}} * Longitud \text{ tramo}$$

$$P_{Pérdidas \text{ string } 1} = 2 * 19,29^2 * 5,16 * 0,085 = 326,41 \text{ W}$$

$$P_{Pérdidas \text{ string } 2} = 2 * 19,29^2 * 5,16 * 0,067 = 257,29 \text{ W}$$

A partir del análisis realizado, se determina que las pérdidas en el sistema fotovoltaico ocasionadas por los efectos armónicos son de 3505,77 W y las pérdidas asociadas a los circuitos en DC es de 326,41 W en el string 1, de 257,29 W en el string 2 y 180,49 W en el string 3.

4.13.1. Cálculos de regulación de tensión

La regulación de tensión hace referencia a la variación de la tensión que se presenta entre el punto donde se genera la energía y el punto donde se conecta la carga o el tablero principal. Esta diferencia se debe principalmente a la resistencia y reactancia de los conductores, que provocan una ligera caída de tensión cuando circula la corriente eléctrica.

Evaluar la regulación de tensión es fundamental para garantizar una buena calidad de energía y una operación eficiente del sistema, asegurando que el voltaje suministrado a los equipos y tableros se mantenga dentro de los valores permitidos por la normativa vigente.

El cálculo de la regulación de tensión se realizó en una hoja de cálculo en Excel, la cual se anexa para la verificación de los datos y resultados obtenidos. A continuación, se presentan

las tablas correspondientes que muestran de manera detallada los valores utilizados y los resultados del cálculo de la regulación de tensión en el sistema fotovoltaico.

Circuito	Arreglo	MPPT	Entrada inversor	Longitud [m]	Modulos conectados en serie	Series conectadas en paralelo	Tensión VOC [V]	Corriente de operación Imp STC [A]
C1	1	1	PV1	85	14	1	658,40	19,29
	2	1	PV2	67	14	1	658,40	19,29
	3	1	PV3	47	14	1	658,40	19,29

Corriente de corto circuito STC [A]	Corriente de corto circuito con factor de ajuste 1,25 Imp [A]	Conductor	Sección transversal mm ²	Ampacidad según ficha técnica	Corrección por temperatura	Cantidad de conductores	Ampacidad corregida (I'z)
20,45	25,56	4 mm2	4,00	44	1,04	1-3	45,76
20,45	25,56	4 mm2	4,00	44	1,04	1-3	45,76
20,45	25,56	4 mm2	4,00	44	1,04	1-3	45,76

Factor de carga	Temperatura del cable	Resistividad ajustada	Resistencia [Ohm/km]	Caída de tensión (Imp) [V]	Caída de tensión (Imp) [%]	Perdidas [W]	Perdidas (Imp) [%]
0,56	78,4456	2,07E-08	5,16	16,94	2,57%	326,81	3,13%
0,56	78,4456	2,07E-08	5,16	13,35	2,03%	257,61	2,47%
0,56	78,4456	2,07E-08	5,16	9,37	1,42%	180,71	1,73%

Tabla 13. Tabla de regulación DC.

REFERENCIA		POTENCIA [kW]	Tensión Salida [V]	Conexión	Factor de potencia	Corriente Nominal [A]	Calibre Conductor CU
Entrada transformador		75,00	220	Trifásico	0,95	207,183	4/0 AWG
Entrada tablero distribución		30,00	220	Trifásico	0,95	82,873	2 AWG

Conductores por fase	Ampacidad	Ampacidad corregida (I'z)	Conductores por canalización	Factor de Agrupación	Factor de Temperatura	Corriente Nom. * 1,25	Factor de carga (Fc)	Protección Recomendada	Temperatura del cable
1	230	239,2	3	1	1,04	258,98	0,87	50	78,278
1	115	119,6	3	1	1,04	103,59	0,69	50	82,498

Resistividad ajustada	Resistencia [Ohm/km]	Factor de potencia	Longitud máxima [m]	Caída de tensión [V]	Caída de tensión [%]	Perdidas (W)	Perdidas [%]	Perdidas [kWh/año]
1,71E-08	0,160	1	40,0	2,29	1,04%	823,03	1,10%	3604,87
1,71E-08	0,510	1	10,0	0,73	0,33%	104,98	0,35%	459,82

Tabla 14. Tabla de regulación AC.

4.14. ÁREAS CLASIFICADAS COMO PELIGROSAS.

Instalaciones especiales, según RETIE 2024, 3.28.3.1: Son aquellas instalaciones que por estar localizadas en ambientes clasificados como peligrosos, o por alimentar equipos o sistemas complejos, presentan mayor probabilidad de riesgo que una instalación básica, y, por tanto, requieren de medidas especiales para mitigar o eliminar tales riesgos. Para el presente proyecto no aplica el proyecto como área de atmósfera peligrosa o área clasificada.

4.15. DIAGRAMAS UNIFILARES.

Ver plano anexo

4.16. PLANOS ELÉCTRICOS PARA CONSTRUCCIÓN.

Ver plano anexo

4.17. ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN COMPLEMENTARIAS A LOS PLANOS, INCLUYENDO LAS DE TIPO TÉCNICO DE EQUIPOS Y MATERIALES Y SUS CONDICIONES PARTICULARES.

Ver plano anexo

Para este proyecto en particular, se establecieron ciertos criterios de selección de equipos en donde todos ellos presentan información clara de normas de fabricación, ficha técnica, condiciones particulares de montaje o instalación y lo más importante cuentan con certificación RETIE, Sin embargo, la adquisición de los materiales y equipos estarán sujetos al mercado colombiano, si esta situación se presenta el constructor deberá ponerse en contacto con el diseñador, con el fin de definir alternativas contemplando en todo caso las características iniciales del diseño.

4.18. DISTANCIAS DE SEGURIDAD O SERVIDUMBRE REQUERIDAS.

En el presente proyecto solar se encuentran cables aislados tipo SOLAR por lo que no deben cumplir con las distancias de seguridad. Para el presente proyecto se tendrán en cuenta las distancias de seguridad señaladas en el TÍTULO 10 del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE puesto que su incumplimiento es fuente de riesgos que afectarán la integridad de las personas y sus bienes.

Teniendo en cuenta que la red de media tensión utiliza conductores desnudos, las distancias verticales se toman siempre desde el punto energizado más cercano al lugar de posible contacto.

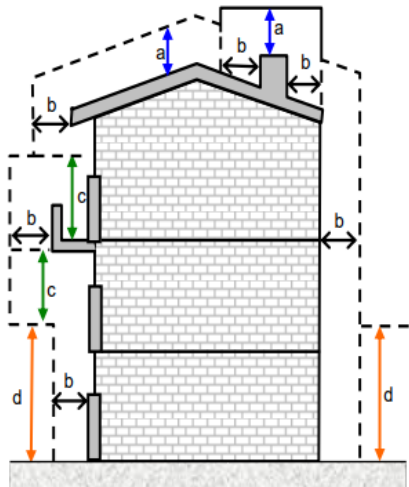
DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD EN ZONAS CON CONSTRUCCIONES			
Descripción	Tensión nominal entre fases (kV)	Distancia (m)	
Distancia vertical "a" sobre techos y proyecciones, aplicable solamente a zonas de muy difícil acceso a personas y siempre que el propietario o tenedor de la instalación eléctrica tenga absoluto control tanto de la instalación como de la edificación (Figura 3.10.1. a.).	44/34,5/33	3,8	Figura 3.10.1. a. Distancias de seguridad en zonas con construcciones.
	13,8/13,2/11,4/7,6	3,8	
	<1	0,45	
Distancia horizontal "b" a muros, balcones, salientes, ventanas y diferentes áreas independientemente de la facilidad de accesibilidad de personas. (Figura 3.10.1. a.)	66/57,5	2,5	
	44/34,5/33	2,3	
	13,8/13,2/11,4/7,6	2,3	
	<1	1,7	
Distancia vertical "c" sobre o debajo de balcones o techos de fácil acceso a personas, y sobre techos accesibles a vehículos de máximo 2,45 m de altura. (Figura 3.10.1. a.)	44/34,5/33	4,1	
	13,8/13,2/11,4/7,6	4,1	
	<1	3,5	
Distancia vertical "d" a carreteras, calles, callejones, zonas peatonales, áreas sujetas a tráfico vehicular. (Figura 3.10.1. a.) para vehículos de más de 2,45 m de altura.	115/110	6,1	
	66/57,5	5,8	
	44/34,5/33	5,6	
	13,8/13,2/11,4/7,6	5,6	
	<1	5	

Tabla 15. Distancias de seguridad

La distancia horizontal "b" se toma desde la parte energizada más cercana al sitio de posible contacto, es decir, trazando un círculo desde la parte energizada, teniendo en cuenta la posibilidad real de expansión vertical que tenga la edificación y que en ningún momento la red quede encima de la construcción. Si se tiene un tendido aéreo con cable aislado y con pantalla no se aplican estas distancias; tampoco se aplica para conductores aislados para baja tensión.

Las distancias mínimas de seguridad que deben guardar las partes energizadas respecto de las construcciones se muestran en la siguiente tabla. No se deben instalar conductores de redes o líneas del servicio público, por encima de edificaciones donde se tenga presencia de personas

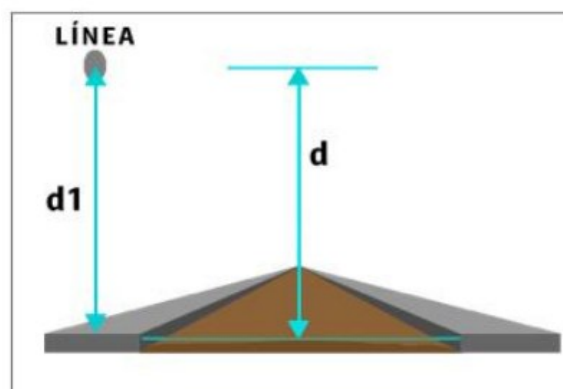


Figura 2. Distancias “d” y “d1” en cruce y

En los tendidos de la red de distribución se debe tener en cuenta que las alturas de los conductores d1 y d con respecto al piso o de la vía no podrán ser inferiores a las distancias que se muestran a continuación.

Descripción	Tensión nominal entre fases (kV)	Distancia (m)
Distancia mínima al suelo “d” en cruces con carreteras, calles, callejones, zonas peatonales, áreas sujetas a tráfico vehicular (Figura 11.2.1.).	500	11,5
	230/220	8,5
	115/110	6,1
	66/57,5	5,8
	44/34,5/33	5,6
	13,8/13,2/11,4/7,6	5,6
	<1	5,0
Descripción	Tensión nominal entre fases (kV)	Distancia (m)
Cruce de líneas aéreas de baja tensión en grandes avenidas.	<1	5,6
Distancia mínima al suelo “d1” desde líneas que recorren avenidas, carreteras y calles (Figura 11.2.1.).	500	11,5
	230/220	8,0
	115/110	6,1
	66/57,5	5,8
	44/34,5/33	5,6
	13,8/13,2/11,4/7,6	5,6
	<1	5,0
Distancia mínima al suelo “d” en zonas de bosques de arbustos, áreas cultivadas, pastos, huertos, etc. Siempre que se tenga el control de la altura máxima que pueden alcanzar las copas de los arbustos o huertos, localizados en las zonas de servidumbre (Figura 11.2.1.).	500	8,6
	230/220	6,8
	115/110	6,1
	66/57,5	5,8
	44/34,5/33	5,6
	13,8/13,2/11,4/7,6	5,6
	<1	5,0

En áreas de bosques y huertos donde se dificulta el control absoluto del crecimiento de estas plantas y sus copas puedan ocasionar acercamientos peligrosos, o se requiera el uso de maquinaria agrícola de gran altura o en cruces de ferrocarriles sin electrificar, se debe aplicar como distancia “e” estos valores (Figura 11.2.2.).	500	11,1
	230/220	9,3
	115/110	8,6
	66/57,5	8,3
	44/34,5/33	8,1
	13,8/13,2/11,4/7,6	8,1
	<1	7,5
Distancia mínima vertical en el cruce “f” a los conductores alimentadores de ferrocarriles electrificados, teleféricos, tranvías y trole-buses (Figura 11.2.3).	500	4,8
	230/220	3,0
	115/110	2,3
	66/57,5	2,0
	44/34,5/33	1,8
	13,8/13,2/11,4/7,6	1,8
	<1	1,2
Distancia mínima vertical respecto del máximo nivel del agua “g” en cruce con ríos, canales navegables o flotantes adecuados para embarcaciones con altura superior a 2 m y menor de 7 m (Figura 11.2.3)	500	12,9
	230/220	11,3
	115/110	10,6
	66/57,5	10,4
	44/34,5/33	10,2
	13,8/13,2/11,4/7,6	10,2
	<1	9,6
Distancia mínima vertical respecto del máximo nivel del agua “g” en cruce con ríos, canales navegables o flotantes, no adecuadas para embarcaciones con altura mayor a 2 m. (Figura 11.2.3)	500	7,9
	230/220	6,3
	115/110	5,6
	66/57,5	5,4
	44/34,5/33	5,2
	13,8/13,2/11,4/7,6	5,2
	<1	4,6
Distancia mínima vertical al piso en cruce por espacios usados como campos deportivos abiertos, sin infraestructura en la zona de servidumbre, tales como graderías, casetas o cualquier tipo de edificaciones ubicadas debajo de los conductores.	500	14,6
	230/220	12,8
	115/110	12
	66/57,5	12
	44/34,5/33	12
	13,8/13,2/11,4/7,6	12
	<1	12
Distancia mínima horizontal en cruce cercano a campos deportivos que incluyan infraestructura, tales como graderías, casetas o cualquier tipo de edificación asociada al campo deportivo.	500	11,1
	230/220	9,3
	115/110	7,0
	66/57,5	7,0
	44/34,5/33	7,0
	13,8/13,2/11,4/7,6	7,0
	<1	7,0

Tabla 16. Distancias mínimas de seguridad para diferentes situaciones

Los conductores sobre apoyos fijos deben tener distancias horizontales y verticales entre cada uno, no menores que el valor que se muestra en la siguiente tabla.

		DISTANCIAS EN METROS									
Tensión nominal (kV) entre fases de la línea superior	500	4,8	4,2	4,2	4,2	4,3	4,3	4,6	5,3	7,1	
	230/220	3,0	2,4	2,4	2,4	2,5	2,6	2,9	3,6		
	115/110	2,3	1,7	1,7	1,7	1,8	1,9	2,2			
	66	2,0	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5				
	57,5	1,9	1,3	1,3	1,3	1,4					
	44/34,5/33	1,8	1,2	1,2	1,3						
	13,8/13,2/11,4/7,6	1,8	1,2	0,6							
	<1	1,2	0,6								
	Comunicaciones	0,6									
		Comunicación	<1	13,8/ 13,2/ 11,4/ 7,6	44/ 34,5/ 33	57,5	66	115/ 110	230/ 220	500	
Tensión nominal (kV) entre fases de la línea inferior											

Tabla 17. Distancias verticales mínimas en vanos con líneas de diferentes tensiones.

4.19. JUSTIFICACIÓN DE DESVIACIONES TÉCNICAS CUANDO SEA ESTRUCTAMENTE NECESARIAS, SIEMPRE Y CUANDO NO COMPROMETA LA SEGURIDAD DE LAS PERSONAS O DE LA INSTALACIÓN.

Los demás estudios que el tipo de instalación requiera para su correcta y segura operación, tales como condiciones sísmicas, acústicas, mecánicas o térmicas. Los anteriores numerales (v, w) no aplican para este tipo de proyecto

4.20. SELECCIÓN, CÁLCULO Y ESPECIFICACIÓN DE EQUIPOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA CONVENCIONALES Y NO CONVENCIONALES

Referencias Técnicas

- Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE resolución 40117 de 02 abril de 2024
- Código Eléctrico Colombiano – Norma NTC 2050 segunda actualización
- Standard For Electrical Safety In The Workplace NFPA 70E
- Resolución CREG 174 de 2021
- Ley 2099 de 2021
- Norma ENELAR E.S.P.