



Memoria de Cálculo

Gina Marcela Montiel Pineda y Diego Fernando Nieto Olarte

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista

Director

Rolando Andrés Rincón Saravia

Ingeniero electricista, Magister en dirección de empresas MBA

Codirector

Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga

Ingeniero electricista, Doctor en tecnología

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánica

Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Bucaramanga

2026

Tabla de contenido

Definiciones	6
Normativa	8
Introducción	9
1. Objetivos.....	10
1.1. Objetivo general.....	10
1.2. Objetivos específicos	10
2. Diseño detallado.....	11
A. Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos	13
C. Análisis y cálculo de cargas iniciales y futuras, incluyendo factor de potencia y armónicos.....	24
E. Análisis y cálculo de cortocircuito, arco eléctrico y falla a tierra	28
I. Sistema de puesta a tierra	29
J. Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía.....	29
K. 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.	35
M. 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.	37

N. Cálculo de canalizaciones (tubos, ductos, canales y electroductos), bandejas portacables y volumen de encerramientos (cajas, conducktas, armarios, etc.).....	41
O. Cálculo de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia.	43
P. Cálculos de regulación de tensión.....	45
R. Diagramas unifilares	47
S. Plano eléctricos para construcción.....	47
T. Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares.	47
Referencias.....	49



Figuras

Figura 1	14
Figura 2	15
Figura 3	16
Figura 4	17
Figura 5	18
Figura 6	19
Figura 7	20
Figura 8	21
Figura 9	22
Figura 10	23
Figura 11	39
Figura 12	40
Figura 13	40
Figura 14	44
Figura 15	46



Tablas

Tabla 1.....	33
Tabla 2.....	33
Tabla 3.....	35
Tabla 4.....	36
Tabla 5.....	38
Tabla 6.....	41
Tabla 7.....	42
Tabla 8.....	42
Tabla 9.....	46



Definiciones

- **Análisis de riesgos:** Conjunto de técnicas para identificar, clasificar y evaluar los factores de riesgo. Es el estudio de consecuencias nocivas o perjudiciales, vinculadas a exposiciones reales o potenciales.
- **Arco eléctrico:** Haz luminoso producido por el flujo de corriente eléctrica a través de un medio aislante, que produce radiación y gases calientes.
- **Caja para derivaciones:** Caja utilizada para conectar las derivaciones de las diferentes acometidas.
- **Campo electromagnético:** Es una modificación del espacio debida a la interacción de fuerzas eléctricas y magnéticas simultáneamente, producidas por un campo eléctrico y uno magnético que varían en el tiempo, por lo que se le conoce como campo electromagnético variable. Es producido por diferencias de potencial y cargas eléctricas en movimiento y tiene la misma frecuencia de la corriente eléctrica que lo produce.
- **Conductor a tierra:** También llamado conductor del electrodo de puesta a tierra es aquel que conecta un sistema o circuito eléctrico intencionalmente a una puesta a tierra.
- **Conductor de puesta a tierra de equipo:** Conecta partes metálicas que no transportan corriente, como canalizaciones y gabinetes con el punto neutro o con el conductor a tierra.
- **Conductor neutro:** Conductor activo conectado intencionalmente al punto neutro de un transformador o instalación y que contribuye a cerrar un circuito de corriente.



- **Contacto directo:** Es el contacto de personas o animales con conductores activos o partes energizadas de una instalación eléctrica.
- **Contacto indirecto:** Es el contacto de personas o animales con elementos o partes conductivas que normalmente no se encuentran energizadas, pero en condiciones de falla de los aislamientos se puedan energizar.
- **Electrocución:** Paso de corriente eléctrica a través del cuerpo humano, cuya consecuencia es la muerte.
- **Norma técnica:** Documento aprobado por una institución reconocida, que prevé, para un uso común y repetido, reglas, directrices o características para los productos o los procesos y métodos de producción conexos, servicios o procesos, cuya observancia no es obligatoria.
- **Norma técnica colombiana – NTC:** Norma técnica aprobada o adoptada como tal por el organismo nacional de normalización.
- **Operador de red:** Empresa de Servicios Públicos encargada de la planeación, de la expansión y de las inversiones, operación y mantenimiento de todo o parte de un Sistema de Transmisión Regional o un Sistema de Distribución Local.
- **Plano eléctrico:** Representación gráfica de las características de diseño y las especificaciones para construcción o montaje de equipos y obras eléctricas.
- **Tomacorriente:** Dispositivo con contactos hembra, diseñado para instalación fija en una estructura o parte de un equipo, cuyo propósito es establecer una conexión eléctrica con una clavija.



Normativa

- **NTC-2050 (Segunda actualización):** Código Eléctrico Nacional
- **RETIE:** Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas
- **IEEE std 80:** Guía para la Seguridad en la Puesta a Tierra de Subestaciones de CA", es el estándar principal para diseñar sistemas de puesta a tierra seguros
- **IEEE std 81:** Guía fundamental del IEEE para medir la resistividad del terreno, la impedancia de puesta a tierra y los potenciales de superficie
- **RETILAP:** Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público
- **IEEE std 142:** Práctica Recomendada por el IEEE para la conexión a tierra de sistemas de energía industriales y comerciales.
- **IEC 60947-2**
- **IEC 60909-0**



Introducción

La presente memoria de cálculos tiene como propósito sustentar técnicamente el diseño eléctrico propuesto para la Institución Educativa La Llana, sede Puerto Carreño, ubicada en el municipio de Puerto Carreño. En este documento se desarrollan y justifican los diferentes cálculos eléctricos necesarios para garantizar el correcto funcionamiento, la seguridad y la eficiencia de la instalación.

Esta memoria se elabora conforme a los lineamientos establecidos en el numeral 3.3.1.1 del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – Libro 3, el cual define los requisitos mínimos que deben cumplir los diseños eléctricos en cuanto a la presentación y contenido de los cálculos. En este sentido, se incluyen aspectos como la determinación de cargas, dimensionamiento de conductores, selección de protecciones, análisis de caída de tensión, sistema de puesta a tierra y demás parámetros necesarios para el adecuado diseño de la instalación.

El desarrollo de esta memoria permite no solo validar el cumplimiento de la normativa vigente, sino también asegurar que el sistema eléctrico propuesto responda a las condiciones reales de operación de la institución, garantizando así niveles adecuados de seguridad para los usuarios y confiabilidad en el suministro de energía.



1. Objetivos

1.1. Objetivo general

Rediseñar la instalación eléctrica de la Institución Educativa La Llana, sede Puerto Carreño, en el municipio de San Alberto, Cesar, para la actualización de la instalación existente a la reglamentación vigente.

1.2. Objetivos específicos

- Realizar el levantamiento de la instalación eléctrica actual, identificando planos, diagramas, tableros, canalizaciones, protecciones, cargas, puntos de consumo y falencias frente a la normatividad RETIE y RETILAP.
- Diseñar la nueva propuesta de la instalación eléctrica de la institución, garantizando seguridad, confiabilidad, eficiencia energética y cumplimiento con los requisitos de RETIE y RETILAP.
- Elaborar el análisis de costos referenciales, incluyendo la memoria técnica, selección de materiales y equipos eléctricos necesarios para la futura implementación del diseño.

2. Diseño detallado

Para realizar el rediseño de la instalación eléctrica de la Institución Educativa La Llana sede Puerto Carreño se debe llevar a cabo un diseño detallado que tenga en cuenta la planeación de la construcción, operación y mantenimiento de la instalación. Bajo las consideraciones establecidas en el artículo 3.3.1.1 del RETIE – Libro 3 (Ministerio de minas y energía, 2024).

El diseño debe contemplar la evaluación y realización de los siguientes ítems que le apliquen al tipo de instalación:

- a. Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos.
- b. Análisis de riesgos por descargas eléctricas atmosféricas (rayos) y medidas de protección.
- c. Análisis y cálculo de cargas iniciales y futuras, incluyendo factor de potencia y armónicos.
- d. Coordinación de aislamiento eléctrico.
- e. Análisis y cálculos de cortocircuito, arco eléctrico y falla a tierra.
- f. Análisis del nivel tensión requerido.
- g. Cálculos de campos electromagnéticos.
- h. Cálculo de transformadores incluyendo efectos de los armónicos y factor de potencia en la carga.
- i. Sistema de puesta a tierra.
- j. Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía.

- k. 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.
- l. Cálculo mecánico de estructuras y de elementos de sujeción y soporte de redes de transmisión, de distribución, subestaciones y centrales de generación.
- m. 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.
- n. Cálculos de canalizaciones (tubos, ductos, canales y electroductos), bandejas portables y volumen de encerramientos (cajas, conduletas, armarios, etc.)
- o. Cálculo de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia.
- p. Cálculos de regulación de tensión.
- q. Áreas clasificadas como peligrosas.
- r. Diagramas unifilares.
- s. Planos eléctricos para construcción.
- t. Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares.
- u. Distancias de seguridad o servidumbre requeridas.
- v. Justificación de desviaciones técnicas cuando sea estrictamente necesarias, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación.
- w. Los demás estudios que el tipo de instalación requiera para su correcta y segura operación, tales como condiciones sísmicas, acústicas, mecánicas o térmicas.

- x. Selección, cálculo y especificación de equipos de generación de energía convencionales y no convencionales.

A continuación, se muestran los ítems que cumplen para el rediseño de la instalación eléctrica de la Institución Educativa La Llana sede Puerto Carreño.

A. Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos

Para el análisis de riesgos de origen eléctrico se debe evaluar el nivel o grado de riesgo de tipo eléctrico, el artículo 1.5.1.4.1 del RETIE – Libro 1 nos muestra la matriz de análisis de riesgos para la toma de decisiones (*Tabla 1.5.1.4.1. a. RETIE – Libro 1*). La metodología para seguir en un caso particular es el siguiente:

- a. Definir el factor de riesgo que se requiere evaluar o categorizar.
- b. Definir si el riesgo es potencial o real
- c. Determinar las consecuencias para las personas o animales, económicas, ambientales y de imagen de la empresa. Estimar dependiendo del caso particular que analiza.
- d. 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.
- e. Repetir el proceso para la siguiente clase hasta que cubra todas las posibles pérdidas.
- f. Tomar el caso más crítico de los cuatro puntos de cruce, el cual será la categoría o nivel del riesgo.
- g. Tomar las decisiones o acciones, según lo indicado en la Tabla 1.5.1.4.1. b.

Figura 2

Análisis de riesgo de origen eléctrico

RIESGO A EVALUAR:		Descarga eléctrica por Contacto directo (al) o (en) Cortocircuito en transformador.					EVENTO O EFECTO FACTOR DE RIESGO FUENTE				
RIESGO POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>		RIESGO MATERIALIZADO <input type="checkbox"/>					PROBABILIDAD				
C O N S E C U E N C I A S	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A	
	α	β	ρ	δ		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 α	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO	
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO	
	Incapacidad temporal (>1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO β	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	
	Lesión menor (Sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO ρ	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	
	Molestia funcional (Afecta rendimiento laboral)	Daños leves. No interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO δ	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	
Gina Marcela Montiel Pineda		I. E. La Llana sede Puerto Carreño			01/Abril/2026						
Evaluador		Matrícula profesional			Lugar de la evaluación			Fecha			
MEDIDAS DE PROTECCIÓN					CAUSAS			DESICIONES A TOMAR			
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.					Negligencia de técnicos o impericia de no técnicos, violación de las distancias mínimas de seguridad.			Se asume la responsabilidad, seguir el procedimiento establecido y hacer uso de la EPP. Como la lesión es leve no se requiere permiso de trabajo.			

Figura 3

Análisis de riesgo de origen eléctrico

RIESGO A EVALUAR:		Descarga eléctrica por Contacto indirecto (al) o (en) Equipos o tableros.								
		EVENTO O EFECTO			FACTOR DE RIESGO		FUENTE			
RIESGO POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>		RIESGO MATERIALIZADO <input type="checkbox"/>			PROBABILIDAD					
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
	α	β	ρ	δ		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	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (>1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO α	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (Sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO ρ	BAJO β	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (Afecta rendimiento laboral)	Daños leves. No interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO δ	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
<u>Gina Marcela Montiel Pineda</u>		<u>I. E. La Llana sede Puerto Carreño</u>			<u>01/Abril/2026</u>					
Evaluador		Matrícula profesional			Lugar de la evaluación		Fecha			
MEDIDAS DE PROTECCIÓN				CAUSAS			DESICIONES A TOMAR			
Separación de circuitos, uso de muy baja tensión, distancias de seguridad, conexiones equipotenciales, sistemas de puesta a tierra, interruptores diferenciales, mantenimiento preventivo y correctivo.				Fallas de aislamiento, mal mantenimiento, falta de conductor de puesta a tierra.			Se asume la responsabilidad, seguir el procedimiento establecido y hacer uso de la EPP. Como la lesión es leve no se requiere permiso de trabajo.			

Figura 6

Análisis de riesgo de origen eléctrico

RIESGO A EVALUAR:		<u>Descarga eléctrica</u> por <u>Equipo defectuoso</u> (al) o (en) <u>Equipos</u> . EVENTO O EFECTO FACTOR DE RIESGO FUENTE												
RIESGO POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>		RIESGO MATERIALIZADO <input type="checkbox"/>					PROBABILIDAD							
C O N S E C U E N C I A S	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A				
	α	β	ρ	δ		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 α	MEDIO	ALTO	ALTO				
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO				
	Lesión menor (Sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO ρ	BAJO β	MEDIO	MEDIO	MEDIO				
	Molestia funcional (Afecta rendimiento laboral)	Daños leves. No interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO δ	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO				
<u>Gina Marcela Montiel Pineda</u>		<u>I. E. La Llana sede Puerto Carreño</u>			<u>01/Abril/2026</u>									
Evaluador		Matrícula profesional			Lugar de la evaluación			Fecha						
MEDIDAS DE PROTECCIÓN					CAUSAS					DESICIONES A TOMAR				
Mantenimiento predictivo y preventivo, construcción de instalaciones siguiendo la normas técnicas, caracterización del entorno electromagnético.					Mal mantenimiento, mala instalación, mala utilización, tiempo de uso, transporte inadecuado					Se asume la responsabilidad, seguir el procedimiento establecido y hacer uso de la EPP. Como la lesión es leve no se requiere permiso de trabajo.				

Figura 8

Análisis de riesgo de origen eléctrico

RIESGO A EVALUAR:		<u>Quemaduras</u> por <u>Sobrecarga</u> (al) o (en) <u>Cableado</u> . EVENTO O EFECTO FACTOR DE RIESGO FUENTE								
RIESGO POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>		RIESGO MATERIALIZADO <input type="checkbox"/>			PROBABILIDAD					
C O N S E C U E N C I A S	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
	α	β	ρ	δ		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 α	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO β	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (>1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO ρ	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (Sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
Molestia funcional (Afecta rendimiento laboral)	Daños leves. No interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO δ	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	
<u>Gina Marcela Montiel Pineda</u>		<u>Matrícula profesional</u>			<u>I. E. La Llana sede Puerto Carreño</u>		<u>01/Abril/2026</u>			
Evaluador		Matrícula profesional			Lugar de la evaluación		Fecha			
MEDIDAS DE PROTECCIÓN					CAUSAS			DESICIONES A TOMAR		
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.					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.			La persona responsable del grupo de trabajo debe aplicar los sistema de control, llevando a cabo los procedimiento de protocolo establecidos, verificando y que se haga uso de EPP.		

Figura 9

Análisis de riesgo de origen eléctrico

RIESGO A EVALUAR:		<p style="text-align: center;"> <u>Quemaduras</u> por <u>Tensión de contacto</u> (al) o (en) <u>Tableros o equipo</u> EVENTO O EFECTO FACTOR DE RIESGO FUENTE </p>												
RIESGO POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>		RIESGO MATERIALIZADO <input type="checkbox"/>					PROBABILIDAD							
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A				
	α	β	ρ	δ		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	ALTO	ALTO				
	Incapacidad temporal (>1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO α	MEDIO	MEDIO	ALTO				
	Lesión menor (Sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO δ	MEDIO	MEDIO	MEDIO				
Molestia funcional (Afecta rendimiento laboral)	Daños leves. No interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO β,ρ	BAJO	BAJO	MEDIO					
<u>Gina Marcela Montiel Pineda</u>		<u>I. E. La Llana sede Puerto Carreño</u>			<u>01/Abril/2026</u>									
Evaluador		Matrícula profesional			Lugar de la evaluación			Fecha						
MEDIDAS DE PROTECCIÓN					CAUSAS					DESICIONES A TOMAR				
Puestas a tierra de baja resistencia, restricción de accesos, alta resistividad del piso, equipotencializar.					Rayos, fallas a tierra, fallas de aislamiento, violación de distancias de seguridad.					Se asume la responsabilidad, seguir el procedimiento establecido y hacer uso de la EPP. Como la lesión es leve no se requiere permiso de trabajo.				

Figura 10

Análisis de riesgo de origen eléctrico

RIESGO A EVALUAR:		<u>Quemaduras</u> por <u>Tensión de paso</u> (al) o (en) <u>Tableros o equipo</u> EVENTO O EFECTO FACTOR DE RIESGO FUENTE									
RIESGO POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>		RIESGO MATERIALIZADO <input type="checkbox"/>				PROBABILIDAD					
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A	
	α	β	ρ	δ		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	ALTO	ALTO	
	Incapacidad temporal (>1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	
	Lesión menor (Sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO α	MEDIO	MEDIO	MEDIO	
Molestia funcional (Afecta rendimiento laboral)	Daños leves. No interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO β,ρ,δ	BAJO	BAJO	MEDIO		
<u>Gina Marcela Montiel Pineda</u>		<u>I. E. La Llana sede Puerto Carreño</u>			<u>01/Abril/2026</u>						
Evaluador		Matrícula profesional			Lugar de la evaluación			Fecha			
MEDIDAS DE PROTECCIÓN				CAUSAS				DESICIONES A TOMAR			
Puestas a tierra de baja resistencia, restricción de accesos, alta resistividad del piso, equipotencializar.				Rayos, fallas a tierra, fallas de aislamiento, violación de áreas restringidas, retardo en el despeje de la falla.				Se asume la responsabilidad, seguir el procedimiento establecido y hacer uso de la EPP. Como la lesión es leve no se requiere permiso de trabajo.			

C. Análisis y cálculo de cargas iniciales y futuras, incluyendo factor de potencia y armónicos

- Cuadro de cargas del TABT**

Cuadro de cargas del tablero de distribución del bloque A de la Institución Educativa La Llana sede Puerto Carreño

TABT															
Fase	Circuito	Observaciones	Salidas						Carga conectada por fase [VA]		FP	Potencia total	Potencia total	Tensión	
			Alumbrado					Tomas		R		S	[W]	[VA]	[V]
			LED Panel 40 W	LED Panel 45 W	Bilampara LED 40W	Meridiana LED 9 W	Clima LED 36 W	Normal 180 VA	Especial						
R	1	Iluminación salones 1 v 2	12							533.3333333		0.9	480	533.3333333	120
S	3	Iluminación salones 3 v 4	12							533.3333333		0.9	480	533.3333333	120
R	5	Iluminación exterior				15	7			430		0.9	387	430	120
S	7	Iluminación baños v biblioteca	6	4	2					555.5555556		0.9	500	555.5555556	120
R	9	Aire acondicionado salon 1							1	1926.666667		0.9	1734	1926.666667	220
S	11	Tomacorrientes salones 1 v 2						8		1440		0.9	1296	1440	120
R	2	Aire acondicionado salon 2							1	1926.666667		0.9	1734	1926.666667	220
S	4	Tomacorrientes salones 3 v 4						8		1440		0.9	1296	1440	120
R	6	Tomacorrientes biblioteca						4		720		0.9	648	720	120
S	8	Aire acondicionado salon 3							1	1926.666667		0.9	1734	1926.666667	220
R	10	Aire acondicionado salon 4							1	1926.666667		0.9	1734	1926.666667	220
S	12	Aire acondicionado biblioteca							1	1926.666667		0.9	1734	1926.666667	220

Carga total por fase	7463.333333	7822.222222
Carga total instalada [VA]	15285.55556	
Demanda Maxima [VA]	13561.61111	

Sm	7822.222222
Sn	7642.777778
Dm	2.347895617

Corriente	Corriente al 125%	Protección	Tipo de protección	Material del conductor	Temperatura	Calibre del conductor	Capacidad amperimetrica del conductor	Factor de corrección de temperatura	Temperatura	Factor de agrupamiento	Porcentaje de ajuste	Distancia al tablero	Ms
[A]	[A]	[A]			°C	[AWG O Kcmil]						[m]	
4.444444	5.55555556	15	1 X 15	Al	60	12	20	26-30	1	0 a 3	100%	20.29	10.8213
4.444444	5.55555556	15	1 X 15	Al	60	12	20	26-30	1	0 a 3	100%	35.01	18.672
3.583333	4.479166667	15	1 X 15	Al	60	12	20	26-30	1	0 a 3	100%	36.17	15.5531
4.6296296	5.787037037	15	1 X 15	Al	60	12	20	26-30	1	0 a 3	100%	25.31	14.0611
8.7575758	10.9469697	15	1 X 15	Al	60	12	20	26-30	1	0 a 3	100%	8.7	16.762
12	15	20	1 X 20	Al	60	12	20	26-30	1	0 a 3	100%	21.98	31.6512
8.7575758	10.9469697	15	1 X 15	Al	60	12	20	26-30	1	0 a 3	100%	16.82	32.4065
12	15	20	1 X 20	Al	60	12	20	26-30	1	0 a 3	100%	19.37	27.8928
6	7.5	15	1 X 15	Al	60	12	20	26-30	1	0 a 3	100%	35.35	25.452
8.7575758	10.9469697	15	1 X 15	Al	60	12	20	26-30	1	0 a 3	100%	24.72	47.6272
8.7575758	10.9469697	15	1 X 15	Al	60	12	20	26-30	1	0 a 3	100%	33.97	65.4489
8.7575758	10.9469697	15	1 X 15	Al	60	12	20	26-30	1	0 a 3	100%	12.63	24.3338

Resistencia del conductor	Reactancia del conductor	Z eficaz	KG	KG [%]	Regulación de tensión	Calibre del neutro	I corregida	Protección cond. tierra	Calibre cond. Tierra	Perdidas de energía	Tipo de conductor
[Ω/km]	[Ω/km]	[Ω/km]	NTC 2050	Norma ESSA	ΔV %	[AWG O Kcmil]	[A]	[A]	[AWG O Kcmil]	[%]	
6.56	0.177	4.216410255	421.641%	532.180	0.025348434	12	20	20	12	0.85585%	1 X 12(F) + 1 X 12(N) + 1 X 12(T)
6.56	0.177	4.216410255	421.641%	532.180	0.043738229	12	20	20	12	1.47676%	1 X 12(F) + 1 X 12(N) + 1 X 12(T)
6.56	0.177	4.216410255	421.641%	532.180	0.036432361	12	20	20	12	1.23009%	1 X 12(F) + 1 X 12(N) + 1 X 12(T)
6.56	0.177	4.216410255	421.641%	532.180	0.032937452	12	20	20	12	1.11209%	1 X 12(F) + 1 X 12(N) + 1 X 12(T)
6.56	0.177	4.216410255	421.641%	532.180	0.011681896	12	20	20	12	0.39442%	1 X 12(F) + 1 X 12(N) + 1 X 12(T)
6.56	0.177	4.216410255	421.641%	532.180	0.074141358	12	20	20	12	2.50328%	1 X 12(F) + 1 X 12(N) + 1 X 12(T)
6.56	0.177	4.216410255	421.641%	532.180	0.022584998	12	20	20	12	0.76255%	1 X 12(F) + 1 X 12(N) + 1 X 12(T)
6.56	0.177	4.216410255	421.641%	532.180	0.065337493	12	20	20	12	2.20603%	1 X 12(F) + 1 X 12(N) + 1 X 12(T)
6.56	0.177	4.216410255	421.641%	532.180	0.059620041	12	20	20	12	2.01299%	1 X 12(F) + 1 X 12(N) + 1 X 12(T)
6.56	0.177	4.216410255	421.641%	532.180	0.033192697	12	20	20	12	1.12070%	1 X 12(F) + 1 X 12(N) + 1 X 12(T)
6.56	0.177	4.216410255	421.641%	532.180	0.045613103	12	20	20	12	1.54006%	1 X 12(F) + 1 X 12(N) + 1 X 12(T)
6.56	0.177	4.216410255	421.641%	532.180	0.01695889	12	20	20	12	0.57259%	1 X 12(F) + 1 X 12(N) + 1 X 12(T)

• Cuadro de cargas del TBBT

Cuadro de cargas del tablero de distribución del bloque B de la Institución Educativa La Llana sede Puerto Carreño

TBBT																	
Fase	Circuito	Observaciones	Salidas							Carga conectada por fase [VA]		FP	Potencia total [W]	Potencia total [VA]	Tensión [V]		
			Alumbrado					Tomas		R	S						
			LED Panel 40 W	LED Panel 74 W	Torpedo 51W	Meridiana LED 9 W	Clima LED 36 W	Normal 180 VA	Especial								
R	1	Iluminación Restaurante	8	5							488.888889		0.9	440	488.888889	120	
S	3	Iluminación salon 5 y baños	6	6								426.666667		0.9	384	426.666667	120
R	5	Iluminación exterior			4	13	2				436.666667		0.9	393	436.666667	120	
S	7	Aire acondicionado salon 5								1		2946.666667		0.9	2652	2946.666667	220
R	9	Licudadora industrial								1	1657.111111		0.9	1491.4	1657.111111	220	
R	2	Tomacorrientes comedor							4		720		0.9	648	720	120	
S	4	Tomacorrientes cocina								1	600		0.9	540	600	220	
R	6	Nevera								1	180		0.9	162	180	120	
S	8	Conselador								1	180		0.9	162	180	120	
R	10	Tomas salon 5								3	540		0.9	486	540	120	

Carga total por fase	4022.666667	4153.333333	S _m	4153.333333
Carga total instalada [VA]	8176		S ₀	4088
Demanda Maxima [VA]	8010.933333		D _m	1.598173516

Corriente	Corriente al 125%	Protección	Tipo de protección	Material del conductor	Temperatura	Calibre del conductor	Capacidad amperimétrica del conductor	Factor de corrección de temperatura	Temperatura	Factor de agrupamiento	Porcentaje de ajuste	Distancia al tablero	Ms
[A]	[A]	[A]			°C	[AWG O Kcmil]						[m]	
4.0740741	5.092592593	15	1 X 15	Al	60	12	20	26-30	1	0 a 3	100%	11.93	5.83244
3.5555556	4.444444444	15	1 X 15	Al	60	12	20	26-30	1	0 a 3	100%	16.33	6.96747
3.6388889	4.548611111	15	1 X 15	Al	60	12	20	26-30	1	0 a 3	100%	18.07	7.89057
13.393939	16.74242424	20	1 X 20	Al	60	12	20	26-30	1	0 a 3	100%	17.65	52.0087
7.5323232	9.41540404	15	1 X 15	Al	60	12	20	26-30	1	0 a 3	100%	23.23	38.4947
6	7.5	15	1 X 15	Al	60	12	20	26-30	1	0 a 3	100%	19.38	13.9536
2.7272727	3.409090909	15	1 X 15	Al	60	12	20	26-30	1	0 a 3	100%	24.08	14.448
1.5	1.875	15	1 X 15	Al	60	12	20	26-30	1	0 a 3	100%	2.37	0.4266
1.5	1.875	15	1 X 15	Al	60	12	20	26-30	1	0 a 3	100%	2.4	0.432
4.5	5.625	15	1 X 15	Al	60	12	20	26-30	1	0 a 3	100%	17.65	9.531

Resistencia del conductor	Reactancia del conductor	Z eficaz	KG	KG [%]	Regulación de tensión	Calibre del neutro	I corregida	Protección cond. tierra	Calibre cond. Tierra	Perdidas de energía	Tipo de conductor
[Ω/km]	[Ω/km]	[Ω/km]	NTC 2050	Norma ESSA	ΔV %	[AWG O Kcmil]	[A]	[A]	[AWG O Kcmil]	[%]	
6.56	0.177	4.216410255	421.641%	532.180	0.01366221	12	20	15	14	0.46129%	1 X 12(F) + 1 X 12(N) + 1 X 14(T)
6.56	0.177	4.216410255	421.641%	532.180	0.016320943	12	20	15	14	0.55105%	1 X 12(F) + 1 X 12(N) + 1 X 14(T)
6.56	0.177	4.216410255	421.641%	532.180	0.018483259	12	20	15	14	0.62406%	1 X 12(F) + 1 X 12(N) + 1 X 14(T)
6.56	0.177	4.216410255	421.641%	532.180	0.03624626	12	20	15	14	1.22380%	1 X 12(F) + 1 X 12(N) + 1 X 14(T)
6.56	0.177	4.216410255	421.641%	532.180	0.026828002	12	20	15	14	0.90581%	1 X 12(F) + 1 X 12(N) + 1 X 14(T)
6.56	0.177	4.216410255	421.641%	532.180	0.032685612	12	20	15	14	1.10358%	1 X 12(F) + 1 X 12(N) + 1 X 14(T)
6.56	0.177	4.216410255	421.641%	532.180	0.010069206	12	20	15	14	0.33997%	1 X 12(F) + 1 X 12(N) + 1 X 14(T)
6.56	0.177	4.216410255	421.641%	532.180	0.00099289	12	20	15	14	0.03374%	1 X 12(F) + 1 X 12(N) + 1 X 14(T)
6.56	0.177	4.216410255	421.641%	532.180	0.001011938	12	20	15	14	0.03417%	1 X 12(F) + 1 X 12(N) + 1 X 14(T)
6.56	0.177	4.216410255	421.641%	532.180	0.022325892	12	20	15	14	0.75380%	1 X 12(F) + 1 X 12(N) + 1 X 14(T)

- Cuadro de cargas del TGBT

Cuadro de cargas del tablero general de baja tensión de la Institución Educativa La Llana sede Puerto Carreño

TGBT												
Fase R	Fase S	Fase T	Circuito	Observaciones	Número de fases	FP	Potencia total [W]	Potencia total [VA]	Tensión [V]	Corriente [A]	Corriente al 125% [A]	Protección [A]
X		X	1	TABT	2	0.9	12205.45	13561.61111	220	30.8218434	38.52730429	40
X	X		2	TBBT	2	0.9	7209.84	8010.933333	220	18.2066667	22.75833333	30

Tipo de protección	Material del conductor	Temperatura	Calibre del conductor	Capacidad amperimétrica del conductor	Factor de corrección de temperatura	Temperatura	Factor de agrupamiento	Porcentaje de ajuste	Distancia al tablero	Ms
		°C	[AWG O Kcmil]						[m]	
2 X 40	Al	60	8	40	26-30	1	0 a 3	100%	0.73	9.8999761
2 X 30	Al	60	8	40	26-30	1	0 a 3	100%	87.58	701.59754

Resistencia del conductor	Reactancia del conductor	Z eficaz	KG	KG [%]	Regulación de tensión	Calibre del neutro	I. corregida	Protección cond. tierra	Calibre cond. Tierra	Perdidas de energía	Tipo de conductor
[Ω/km]	[Ω/km]	[Ω/km]	NTC 2050	Norma ESSA	ΔV %	[AWG O Kcmil]	[A]	[A]	[AWG O Kcmil]	[%]	
2.56	0.171	1.72527042	172.527%	217.607	0.000794015	8	40	20	12	0.02273%	2 X 8(F) + 1 X 8(N) + 1 X 12(T)
2.56	0.171	1.72527042	172.527%	217.607	0.05627071	8	40	20	12	1.61065%	2 X 8(F) + 1 X 8(N) + 1 X 12(T)

E. Análisis y cálculo de cortocircuito, arco eléctrico y falla a tierra

El análisis de cortocircuito correspondiente a la instalación eléctrica fue desarrollado de manera detallada en un informe previo. En dicho documento se incluyen los cálculos, criterios de modelado, resultados y verificación de los dispositivos de protección frente a las corrientes de falla.

Para efectos del presente documento, se hace referencia a este estudio, el cual se encuentra consignado en el Anexo G, donde se presenta de forma completa el desarrollo del análisis de corrientes de cortocircuito (ICC).

El análisis de arco eléctrico se realizó considerando la corriente de cortocircuito del sistema y el tiempo de despeje de los dispositivos de protección. Debido a que la instalación opera en baja tensión (220 V), con una corriente de falla relativamente baja (~ 1.85 kA) y protecciones de actuación rápida, la energía incidente estimada es baja a moderada. Por lo tanto, el riesgo para el personal es reducido, aunque se recomienda el uso de elementos básicos de protección y la correcta operación de los equipos.

El análisis de falla a tierra permite verificar la capacidad del sistema para detectar y despejar fallas entre fase y tierra. En la instalación evaluada, la corriente de falla a tierra es suficiente para ser detectada por los dispositivos de protección, garantizando su desconexión en tiempos adecuados. No obstante, se recomienda el uso de protecciones diferenciales en circuitos sensibles, con el fin de mejorar la seguridad ante fallas de baja magnitud.

I. Sistema de puesta a tierra

Los resultados del dimensionamiento del sistema de puesta a tierra se encuentran consignados en el anexo D, en el cual se define el calibre del electrodo, sus dimensiones y a que profundidad está enterrado, además, se establece el calibre del conductor que va a la puesta a tierra. En el anexo B en la carpeta llamada “planos sistema de puesta a tierra” se muestra la ubicación de la puesta a tierra.

J. Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía

Teniendo en cuenta lo establecido en el numeral 3.3.1.1 del RETIE – Libro 3 ítem j, se requiere que las instalaciones eléctricas cuenten con un cálculo económico de los conductores, teniendo en cuenta los factores de pérdida, las cargas resultantes y costos de la energía.

El cálculo se hará para el conductor que sale del TGBT al TBBT para analizar las pérdidas de energía y económicas que puede presentar a lo largo de 20 años, ya que este conductor tiene una longitud bastante significativa.

1. Variables de entrada

Información del sistema (TBBT):

- Tipo de sistema: Bifásico tetrafilar
- Tipo de red: Aérea
- Neutro: Si
- Tensión: 220 V
- Potencia: 8.0109 kVA (*potencia calculada en el cuadro de cargas del TGBT*)

- Estrato: 1
- Temperatura ambiente: 30 °C
- Factor de potencia: 0.9
- Distancia: 87,58 [m]

Información económica

- Costo de energía (P): 0.81576 \$/Wh
- Tasa de descuento (i): 12.40% (*Valor definido a partir de la resolución 016 de 2018 de la Comisión de Regulación de Energía y Gas*) (COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS, 2018)
- Tasa de crecimiento anual de costos de energía, sin incluir la inflación (b): 1% (*obtenida de la guía del cálculo económico según el operador de red*) (EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN, 2019)
- Tasa de crecimiento anual de la carga (a): 3% (*obtenida de la guía del cálculo económico según el operador de red*) (EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN, 2019)
- Costo anual de cubrir las pérdidas por suministro adicional (D): \$0.015 (*obtenida de la guía del cálculo económico según el operador de red*) (EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN, 2019)

Información de funcionamiento:

- Horas: 1440 h (*Horas en un año escolar*)

2. Validación técnica

Principalmente se realizó el dimensionamiento por capacidad amperimétrica y regulación, con el fin de establecer los valores mínimos para el calibre de los conductores, este calibre mínimo se obtuvo en el cálculo de los cuadros de cargas que se encuentran en el anexo F.

Teniendo en cuenta que el calibre mínimo es #8 AWG, se realizará el cálculo económico para el conductor del tablero B con los siguientes calibres: #8 AWG, #6 AWG y #4 AWG.

3. Pérdidas en el conductor

Perdidas que se deben por efecto Joule:

$$P_{perdidas} = I^2 R$$

Donde:

I: Es la corriente nominal de cada circuito y se calcula a partir de la siguiente formula

$$I = \frac{S_{2\phi}}{2 * V_l}$$

- $S_{2\phi}$ = Potencia del circuito
- V_l = Tensión de línea

Nota: El valor de la potencia y tensión se toman del cuadro de cargas del TGBT

R: Resistencia del conductor

$$R = \mathcal{R} * \ell$$

- \mathcal{R} = Resistencia del conductor en [Ω/km], este valor se toma de la tabla 9 de la NTC 2050 (ICONTEC, 2020)
- ℓ = longitud del conductor en [km] tomada del cuadro de cargas del TGBT

4. Energía perdida anual

La energía perdida anual se obtiene del producto de las pérdidas del conductor por las horas de operación al año:

$$E_{perdida} = P_{perdida} * t$$

5. Costo de energía en 20 años (CJ)

Para calcular los costos de energía durante 20 años de operación se hace uso de la siguiente ecuación:

$$CJ = E_{perdida} * F$$

$$F = \frac{Np * Nc(T * P + D) * Q}{1 + i}$$

Donde:

- Q: Coeficiente que tiene en cuenta el aumento de la carga (a), el aumento del costo de la energía (b) a lo largo de N años y la tasa de descuento, y se calcula con la siguiente ecuación

$$Q = \sum_{n=1}^N r^{n-1}$$

- r: Factor de aumento de carga y costo de energía

$$r = \frac{(1 + a)^2 * (1 + b)}{1 + i}$$

Los resultados de los valores de F, Q, r son los siguientes:

- F = 26795.44937
- Q = 13.14564
- r = 0.953299

6. Costo del conductor (CI)

$$CI = (\text{Costo_Conductor} + \text{instalación}) * \ell$$

Tabla 1

Calculo costo inicial

Calibre	Costo del conductor [\$/m]	Longitud [km]	Mano de obra [\$]	transporte [\$]	Costo inicial [\$]
#8 AWG	6,200	0.08756	270,000	50,000	570,891.20
#6 AWG	9,100	0.08756	270,000	50,000	824,815.20
#4 AWG	14,000	0.08756	270,000	50,000	1'253,859.20

En la tabla 2 se encuentran los resultados de los costos totales por calibre

Tabla 2

Costo total por calibre

Calibre	Corriente [A]	Longitud [km]	Resistencia [Ω/km]	Pérdidas por efecto	Energía pérdida	Costo de perdidas	Costo inicial [\$]	Costo total [\$]
---------	---------------	---------------	--------------------	---------------------	-----------------	-------------------	--------------------	------------------

				joule [kW]	anual [kWh]	(20 años) [\$]		
#8 AWG	18.2066667	0.08756	2.56	0.0743	104.0480	2,788,013.48	570,891.20	3'358,904.68
#6 AWG	18.2066667	0.08756	1.61	0.0467	65.4365	1,753,399.10	824,815.20	2'578,214.3
#4 AWG	18.2066667	0.08756	1.02	0.0296	41.4566	1,110,849.12	1,253,859.20	2'364,708.32

Una vez obtenidos los resultados del costo total para cada calibre, se puede observar que el conductor calibre #4 AWG representa la alternativa más económica a largo plazo, con un costo total de $CT = \$2'364.708,32$, debido a que presenta menores pérdidas de energía durante el periodo de análisis. No obstante, su costo inicial corresponde a $CI = \$1'253.859,20$, siendo considerablemente más alto en comparación con otros calibres.

Por otra parte, el conductor calibre #8 AWG presenta un costo total de $CT = \$3'358.904,68$ y un costo inicial de $CI = \$570.891,20$. Al comparar ambos conductores, se obtiene una diferencia en el costo inicial de $\Delta CI = \$682.968$ y una diferencia en el costo total de $\Delta CT = \$994.196,36$.

En consecuencia, se concluye que resulta más conveniente instalar un conductor calibre #8 AWG, ya que el ahorro generado en la inversión inicial es más significativo frente al retorno económico obtenido por la reducción de pérdidas energéticas a lo largo de los 20 años de operación.

K. 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.

Como parte del diseño de las instalaciones eléctricas de baja tensión, se realiza la verificación de la capacidad térmica de los conductores frente a corrientes de cortocircuito, conforme a lo establecido en el RETIE 2024 (numerales 11.5.3.1 y 11.5.4) y la norma IEC 60909, garantizando que los conductores soporten la energía térmica generada durante el tiempo de despeje de las protecciones.

Tabla 3

Parámetros

Parámetro	Valor
Sistema de alimentación	Red ESSA mediante transformador
Tensión del transformador	13.2 kV / 220 V
Potencia del transformador	30 kVA
Corriente de cortocircuito (I _{cc})	1.85 kA
Tiempo de despeje de protección (t)	0.2 s
Material del conductor	Cobre XLPE
Constante térmica (k)	143

La sección mínima del conductor frente a cortocircuito se determina mediante:

$$S \geq \frac{\rho \sqrt{I^2 * t}}{k}$$

Donde:

- S = sección del conductor (mm^2)
- I = corriente de cortocircuito (A)
- t = tiempo de despeje (s)
- k = constante del material

Selección de conductores

Tabla 4

Selección de conductores

Conductor	Sección (mm^2)	¿Cumple?
12 AWG	3.3 mm^2	No
10 AWG	5.3 mm^2	No
8 AWG	8.4 mm^2	Sí
6 AWG	13.3 mm^2	Sí
2 AWG	33.6 mm^2	Sí

Se observa que, bajo el criterio conservador de análisis considerando la corriente de cortocircuito máxima en el sistema (1.85 kA) y un tiempo de despeje de 0.2 s, los conductores de calibre 12 AWG y 10 AWG no cumplen con la verificación térmica establecida por la norma IEC 60909.

El calibre mínimo que cumple con la condición de soportar la energía de cortocircuito es el 8 AWG, garantizando la integridad del aislamiento y del conductor frente a condiciones de falla.

Sin embargo, es importante considerar que la corriente de cortocircuito no es uniforme en toda la instalación, ya que disminuye a medida que aumenta la impedancia de los conductores en los circuitos derivados. Por lo tanto, en los tableros finales y ramales, la I_{cc} real es menor que la considerada en el punto de alimentación, lo cual permite la utilización de calibres inferiores en circuitos específicos, siempre que exista una adecuada coordinación con los dispositivos de protección.

Adicionalmente, se recomienda el uso de dispositivos de protección con tiempos de despeje más rápidos (curvas de disparo instantáneo o alta velocidad), con el fin de reducir la energía incidente del cortocircuito y mejorar la protección térmica de los conductores.

M. 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.

En cumplimiento con lo establecido en la norma IEC 60947-2, Anexo A, se considera la coordinación de protecciones basada en las características de limitación de corriente de los dispositivos de protección seleccionados.

De acuerdo con el RETIE 2024, el sistema eléctrico proyectado en baja tensión cuenta con una estructura jerárquica de protecciones que permite garantizar la seguridad de las personas, los equipos y los conductores, así como la continuidad del servicio ante eventos de sobre corriente, ya sean por sobrecarga o cortocircuito.

Tabla 5

Selección de protecciones

Nivel	Elemento protegido	Dispositivo de protección	Tipo de interruptor	Curva	Certificación
1	Acometida general (Tablero General)	Breaker 3P 80 A	Termomagnético	C	IEC 60947-2
2	Alimentador Tablero A	Breaker 2P 40 A	Termomagnético	C	IEC 60947-2
3	Alimentador Tablero B	Breaker 2P 30 A	Termomagnético	C	IEC 60947-2
4	Circuito de aire acondicionado	Breaker 1P 20 A	Termomagnético	C	IEC 60947-2
5	Circuitos de iluminación y tomacorrientes	Breaker 1P 15 A	Termomagnético	C	IEC 60947-2

En la instalación eléctrica se han dispuesto dispositivos de protección de tipo termomagnético limitador de corriente, los cuales cuentan con curvas de disparo tipo C y capacidades de interrupción definidas por los fabricantes, en concordancia con los requerimientos de la norma IEC 60947-2 (Anexo A).

La operación coordinada del sistema se establece mediante diferentes criterios técnicos: se define una estructura escalonada de protección, de manera que ante una falla actúe únicamente el interruptor asociado al tramo afectado, manteniendo en servicio el resto de la instalación. Se realiza la comparación de las curvas tiempo–corriente, garantizando separación adecuada entre los niveles de protección (principal, alimentadores y circuitos finales) para evitar disparos simultáneos. Se

considera la energía térmica asociada a la falla (I^2t), verificando que los conductores aguas abajo no sean sometidos a esfuerzos superiores a su capacidad de soporte.

Los interruptores instalados en los diferentes niveles del sistema cumplen funciones de limitación de corriente y protección ante sobrecargas y cortocircuitos, asegurando una respuesta adecuada frente a condiciones de falla. Todos los equipos utilizados cuentan con certificación bajo la norma IEC 60947-2, en cumplimiento con lo establecido en el RETIE 2024 para instalaciones en baja tensión.

El esquema de protección adoptado permite:

- Mantener la selectividad entre dispositivos de diferentes niveles.
- Proteger adecuadamente conductores y equipos frente a eventos de falla.
- Minimizar la desconexión total del sistema ante fallas localizadas.
- Cumplir con los criterios técnicos exigidos para diseño en baja tensión.

Figura 11

Cuadro de protecciones tablero general

Corriente	Corriente al 125%	Protección	Tipo de protección
[A]	[A]	[A]	
30.821843	38.52730429	40	2 X 40
19.257051	24.0713141	30	2 X 30

Figura 12

Cuadro de protecciones tablero A

Corriente	Corriente al 125%	Protección	Tipo de protección
[A]	[A]	[A]	
4.4444444	5.55555556	15	1 X 15
4.4444444	5.55555556	15	1 X 15
3.5833333	4.479166667	15	1 X 15
4.6296296	5.787037037	15	1 X 15
8.7575758	10.9469697	15	1 X 15
12	15	20	1 X 20
8.7575758	10.9469697	15	1 X 15
12	15	20	1 X 20
6	7.5	15	1 X 15
8.7575758	10.9469697	15	1 X 15
8.7575758	10.9469697	15	1 X 15
8.7575758	10.9469697	15	1 X 15

Figura 13

Cuadro de protecciones tablero B

Corriente	Corriente al 125%	Protección	Tipo de protección
[A]	[A]	[A]	
4.0740741	5.092592593	15	1 X 15
3.5555556	4.444444444	15	1 X 15
3.6388889	4.548611111	15	1 X 15
13.393939	16.74242424	20	1 X 20
7.5323232	9.41540404	15	1 X 15
6	7.5	15	1 X 15
2.7272727	3.409090909	15	1 X 15
1.5	1.875	15	1 X 15
1.5	1.875	15	1 X 15
4.5	5.625	15	1 X 15

La selección y coordinación de los dispositivos de protección del sistema se basa en criterios técnicos establecidos por la normativa vigente, garantizando un funcionamiento seguro y adecuado de la instalación eléctrica. Toda la información y los cálculos correspondientes se encuentran detallados en el anexo de Excel del cuadro de cargas, donde se especifica el dimensionamiento de cada una de las protecciones utilizadas en el proyecto.

N. Cálculo de canalizaciones (tubos, ductos, canales y electroductos), bandejas portacables y volumen de encerramientos (cajas, conduletas, armarios, etc.)

Como parte del diseño de la instalación eléctrica, se realiza el análisis y dimensionamiento de las canalizaciones, bandejas portacables y encerramientos, con el fin de garantizar la adecuada distribución de los conductores dentro del sistema. Este proceso asegura el cumplimiento de los requisitos establecidos en el RETIE 2024 y la NTC 2050, principalmente en lo relacionado con la ocupación máxima, la seguridad mecánica y térmica, así como la facilidad de instalación y mantenimiento.

Tabla 6

Porcentajes de ocupación en canalizaciones

Tipo de canalización	Condición de uso	Ocupación máxima permitida
Tubos PVC / EMT / IMC	3 o más conductores	40% del área interna
Canaletas y bandejas portacables	Uso general en distribución	50% – 60% según fabricante
Electroductos cerrados	Condiciones con ventilación limitada	40% – 50%

Para el caso de bandejas portacables, se garantiza la disposición ordenada de los conductores, permitiendo adecuada ventilación y facilidad de mantenimiento, manteniendo una ocupación controlada del sistema.

Tabla 7

Criterios de diseño para bandejas porta cables

Ocupación	Máximo 50% del área útil
Tipo de bandeja	Escalera o malla metálica
Separación interna	Espacio libre entre conductores
Ventilación	Flujo de aire natural garantizado
Radio de curvatura	Conforme a especificación del fabricante

Las cajas, conduletas y encerramientos se seleccionan con base en el volumen requerido para alojar conductores, empalmes y dispositivos, asegurando espacio de reserva, orden del cableado y cumplimiento de radios mínimos de curvatura.

Tabla 8

Tabla de Resultados

Tipo de canalización	Área del sistema	Circuitos asociados	Conductor típico	Dimensión	Ocupación estimada	Verificación
PVC rígido	Alimentación principal	Tablero general	6 AWG – 2/0 AWG	2"	25% – 30%	Cumple
PVC flexible / rígido	Distribución interna	Iluminación y tomas	12 AWG	3/4"	20% – 35%	Cumple
Canaleta superficial	Ramales secundarios	Circuitos derivados	12–10 AWG	Variable	≤ 40%	Cumple

Los resultados obtenidos en el dimensionamiento de canalizaciones, bandejas portacables y encerramientos evidencian el cumplimiento de los límites de ocupación establecidos por la normativa vigente, garantizando condiciones adecuadas de seguridad, ventilación y facilidad de instalación. De esta manera, se asegura un sistema eléctrico ordenado, funcional y apto para su operación y mantenimiento.

O. Cálculo de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia.

El cálculo de las pérdidas de potencia en los conductores se realiza con el objetivo de cuantificar la energía disipada en forma de calor debido al efecto Joule, permitiendo evaluar la eficiencia energética de cada circuito del sistema eléctrico.

Para ello, se emplea la siguiente expresión:

$$\%Pp = \frac{I^2_{125\%} * R_{cond} * L}{D_{max} * Fp}$$

- Corriente de diseño ($I_{125\%}$): Se toma la corriente nominal del circuito y se incrementa en un 25% para considerar condiciones de operación continua y posibles sobrecargas.
- Efecto Joule (I^2): La corriente ajustada se eleva al cuadrado, ya que las pérdidas en los conductores son proporcionales al cuadrado de la corriente que circula por ellos.
- Resistencia del conductor (R_{cond}): Se considera la resistencia eléctrica del cable, la cual depende del material, la sección transversal y la longitud equivalente del conductor.

- Longitud del circuito (L): Representa la distancia total recorrida por la corriente desde la fuente hasta la carga, lo cual influye directamente en las pérdidas totales.
- Tensión máxima (Dmáx): Se utiliza como referencia de la potencia entregada al circuito, permitiendo relacionar las pérdidas con la potencia útil del sistema.
- Factor de potencia (Fp): Considera el desfase entre tensión y corriente, ajustando el cálculo a las condiciones reales de operación de la carga.

A continuación, se presentan los resultados de pérdidas de energía en los conductores para los tres tableros del sistema (Tablero General, Tablero A y Tablero B), obtenidos mediante la metodología de cálculo establecida. Estos valores permiten evaluar la eficiencia energética de cada circuito y el comportamiento global del sistema eléctrico.

Figura 14

Resultados de perdida de energía

Circuito	Perdidas de energía TABT	Perdidas de energía TBBT	Circuito	Perdidas de energía TGBT
1	0.855854%	0.461285%	TABT	0.014293%
3	1.476759%	0.551053%	TBBT	1.133195%
5	1.230087%	0.624061%		
7	1.112086%	1.223804%		
9	0.394423%	0.905809%		
11	2.503278%			
2	0.762550%	1.103583%		
4	2.206028%	0.339972%		
6	2.012986%	0.033740%		
8	1.120704%	0.034167%		
10	1.540062%	0.753802%		
12	0.572593%			

P. Cálculos de regulación de tensión

La caída de tensión es la disminución del voltaje a lo largo del conductor, debido a que este presenta una resistencia eléctrica, lo que provoca que la tensión inicial no sea la misma que la tensión final. Para calcular la caída de tensión es importante entender la siguiente ecuación:

$$\Delta V\% = \frac{M_S * K_G}{V_L^2} * F_C$$

a. M_S : *Método del momento*

- $M_S = S_N * l$
- Donde: S_N es igual a la potencia en [kVA] de la carga instalada y l es igual a la distancia al tablero en [m].

b. $K_G = Z_{eff} * 100$

c. Z_{eff} : *Impedancia eficaz*

- $Z_{eff} = R * \cos(\varphi) + X * \sen(\varphi)$
- La resistencia (R) y la reactancia (X) en corriente alterna se estiman en la Tabla 9 del capítulo 9 de la NTC 2050. Estas variables tienen unidad de medida [Ω/km].
- $\cos(\varphi)$ = Factor de potencia

d. F_C : *Factor de corrección*

- El factor de corrección se estima a partir de la tabla 3.26 de la norma ESSA (tabla 4).

e. V_L = Tensión de línea

Tabla 9

Factor de corrección

Tipo de subestación	Tipo de RED		
	Monofásica (F-N)	Bifilar (F-F)	Trifilar (F-F-N)
Monofásica	8	2	2
Trifásica	6	2	2.25

Nota: Tomado de la Norma ESSA

Teniendo en cuenta la normativa vigente RETIE, la regulación de tensión debe ser menor a la 3% en el conductor de la acometida y no puede superar una caída de tensión del 5% en alimentadores y circuitos ramales, establecido en el título 26 inciso (f). Por ende, los resultados de la regulación de tensión son los siguientes.

Figura 15

Resultados del cálculo de regulación de tensión

Regulación de tensión TATB	Regulación de tensión TBTB	Regulación de tensión TGTB
$\Delta V\%$	$\Delta V\%$	$\Delta V\%$
0.025348434	0.01366221	0.000520795
0.043738229	0.016320943	0.041289515
0.036432361	0.018483259	
0.032937452	0.03624626	
0.011681896	0.026828002	
0.074141358		
0.022584998	0.032685612	
0.065337493	0.010069206	
0.059620041	0.000999289	
0.033192697	0.001011938	
0.045613103	0.022325892	
0.01695889		
0.01695889		

Teniendo los resultados de regulación de cada tablero se evidencia que el conductor no supera el valor de regulación máximo establecido en la norma.

R. Diagramas unifilares

El reglamento establece que la elaboración de diagramas unifilares son un requisito obligatorio, tal y como lo indica el numeral 3.3.1.1 ítem r del RETIE - Libro 3 (Ministerio de minas y energía, 2024). Por ende, el diagrama unifilar debe contener la información del de conductor utilizado, la protección correspondiente y la distribución de los circuitos ramales. El diagrama unifilar para la propuesta de rediseño se encuentra consignado en el anexo A.

S. Plano eléctricos para construcción

El reglamento establece que la elaboración de diagramas unifilares son un requisito obligatorio, tal y como lo indica el numeral 3.3.1.1 ítem s del RETIE - Libro 3. Por ende, se realiza para el rediseño un plano para los tomacorrientes y un plano para el sistema de iluminación. Estos se encuentran consignados en el anexo B en la carpeta de “planos rediseño”.

T. Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares.

REDISEÑO DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA LA LLANA SEDE PUERTO CARREÑO						
ITEM	TIPO	DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR UNITARIO	CANT	SUBTOTAL
1.00		TABLEROS				
1.01	C	Tablero TABT	un	367,600.00	1	367,600.00
1.02	C	Tablero TBBT	un	331,450.00	1	331,450.00
1.03	C	Tablero TGBT	un	93,100.00	1	93,100.00
1-ST		Subtotal				792,150.00
2.00		TOMACORRIENTES E INTERRUPTORES				
2.01	C	Tomacorriente	un	1,102,500.00	1	1,102,500.00
2.02	C	Interruptores	un	101,300.00	1	101,300.00
2-ST		Subtotal				1,203,800.00
3.00		SISTEMA DE ILUMINACION				
3.01	C	Salones, Biblioteca	un	9,500,000.00	1	9,500,000.00
3.02	C	Exterior	un	8,195,600.00	1	8,195,600.00
3.03	C	Baños, Restaurante, Cuartos de aseo	un	4,060,000.00	1	4,060,000.00
3-ST		Subtotal				21,755,600.00
4.00		CABLEADO				
4.01	C	Fase	un	1,789,070.00	1	1,789,070.00
4.02	C	Neutro	un	1,788,790.00	1	1,788,790.00
4.03	C	Tierra	un	1,396,962.00	1	1,396,962.00
4-ST		Subtotal				4,974,822.00

REDISEÑO DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA LA LLANA SEDE PUERTO CARREÑO						
ITEM	TIPO	DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR UNITARIO	CANT	SUBTOTAL
5.00		SISTEMA DE PUESTA A TIERRA				
5.01	C	varillas copperweld 5/8" x 2.40 m, norma NTC 2206	un	1,350,000.00	1	1,350,000.00
5.02	C	Caja de inspección en concreto prefabricada	un	150,000.00	1	150,000.00
5.03	C	Cable Cu THHN #6 AWG Tierra (verde)	un	82,400.00	1	82,400.00
5.04	C	Barra de cobre electrolítica perforada	un	80,000.00	1	80,000.00
5.05	C	Pinza de grounding para molde	un	190,000.00	1	190,000.00
5.06	C	Chispero para encendido	un	70,000.00	1	70,000.00
5.07	C	Soldadura exotérmica 150g cartucho	un	30,000.00	1	30,000.00
5.08	C	Terminales de compresión	un	28,500.00	1	28,500.00
5.09	C	Señalización	un	200,000.00	1	200,000.00
5.10	C	Conductor de cobre desnudo 1/0 AWG Tierra	un	900,000.00	1	900,000.00
5-ST		Subtotal				3,080,900.00
6.00		TUBERIA				
6.01	C	Tubería en PVC	un	7,409,820.00	1	7,409,820.00
6.02	C	Cajas de derivación	un	123,000.00	1	123,000.00
6-ST		Subtotal				7,532,820.00
7.00		MEDIDOR				
7.01	C	Medidor bifásico	un	159,800.00	1	159,800.00
7.02	C	Breaker principal 1P 80A	un	230,000.00	1	230,000.00
7-ST		Subtotal				389,800.00
TOTAL COSTO DIRECTO						39,729,892.00
A.I.U (10%)						3,972,989.00
VALOR TOTAL						43,702,881.00
IVA (19% SOBRE UTILIDAD)						226,460.00
SUBTOTAL						43,929,341.00



Referencias

- AENOR. (2002). *Corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna - IEC 60909-0*. Madrid: AENOR.
- COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. (29 de Enero de 2018). *Gestor Normativo Alejandría 2.0*. Obtenido de Gestor Normativo Alejandría 2.0: https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0016_2018.htm
- EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN. (2019). *Guía Metodológica: Cálculo de conductor económico*. Medellín: Unidad Centro de Excelencia Técnica Normalización.
- ICONTEC. (2020). *Código Eléctrico Colombiano -NTC 2050. Segunda actualización*. Bogotá.
- IEEE. (2007). *Práctica recomendada de IEEE para la puesta a tierra de sistema de energía industriales y comerciales*. New York: IEEE.
- IEEE Power and Energy Society. (2012). *IEEE std 81*. New York: IEEE.
- IEEE Power and Energy Society. (2013). *IEEE Guide for Safety in AC Substation*. New York: IEEE.
- Ministerio de Minas y Energía. (2024). *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público -RETILAP*. Bogota.
- Ministerio de minas y enegía. (2024). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE*. Bogotá.

