TABLA DE CONTENIDO

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 4

ANÁLISIS DE RIESGOS DE ORIGEN ELÉCTRICO Y MEDIDAS PARA MITIGARLOS 6

1. PLANOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DESDE EL PUNTO DE CONEXIÓN HASTA LA FRONTERA COMERCIAL QUE INCLUYAN, CORTES, PLANTAS, ARQUITECTURA, DISTANCIAS DE SEGURIDAD Y QUE CUMPLAN CON LAS NORMAS DE CONSTRUCCIÓN DEL OPERADOR DE RED, NORMAS COLOMBIANAS E INTERNACIONALES SI SE REQUIERE. (VER PLANO # 1-4). 12

1.1 Literal aplicable del RETIE (r) Diagramas unifilares. 12

1.2 Literal aplicable del RETIE (s) Planos eléctricos para construcción. 12

1.3 Literal aplicable del RETIE (u) Distancias de seguridad o servidumbre requeridas. 12

2. DISEÑO DE LAS SUBESTACIONES CON SUS RESPECTIVAS PROTECCIONES, CONFIGURACIÓN DE LA CONEXIÓN Y CÁLCULOS DE MALLA DE PUESTA TIERRA. 15

2.1 Literal aplicable del RETIE (t) Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares. 15

2.2 Literal aplicable del RETIE (i) Sistema de puesta a tierra. 17

2.2.1 Análisis de Resistividad del Terreno (Reporte). 17

2.2.2 Medición de Resistividad. 18

2.2.3 Materiales y Equipos. 19

2.2.4 Registros de la Medición. 19

2.2.5 Certificado de Calibración de Telurómetro. 21

2.2.6 Cálculo del Sistema de Puesta a Tierra (Malla de Puesta a Tierra). 23

3. DISEÑO CÁLCULO DEL DIMENSIONAMIENTO Y REGULACIÓN DE TENSIÓN DE LOS CONDUCTORES DE ACUERDO CON LA CARGA SOLICITADA. 28

3.1 Literal aplicable del RETIE (j) Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía. 28

3.2 Literal aplicable del RETIE (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. 29

3.3 Literal aplicable del RETIE (o) Cálculo de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia. 29

3.4 Literal aplicable del RETIE (p) Cálculos de regulación de tensión. 30

4. CÁLCULO DE LA OCUPACIÓN DE DUCTOS EN CASO DE REDES SUBTERRÁNEAS. 31

4.1 Literal aplicable del RETIE (n) Cálculos de canalizaciones (tubos, ductos, canales y electroductos), bandejas portacables y volumen de encerramientos (cajas, conduletas, armarios, etc.) 31

5. CÁLCULO DE LA CARGABILIDAD DE LOS TRANSFORMADORES DE ACUERDO CON EL CUADRO DE CARGA. 32

5.1 Literal aplicable del RETIE (c) Análisis y cálculo de cargas iniciales y futuras, incluyendo factor de potencia y armónicos. 32

5.1.1 Análisis de armónicos. 32

5.1.2 Análisis de cuadros de carga iniciales y futuras. 32

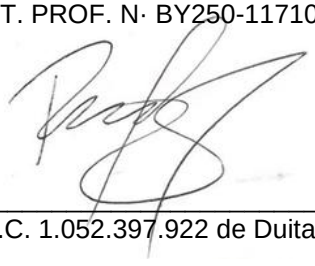
5.1.2.1 Cuadros de Carga para la Instalación. 32
5.1.3 Demanda máxima. 34
5.1.3.1 Demanda máxima para la Instalación. 34
5.2 Literal aplicable del RETIE (h) Cálculo de transformadores incluyendo efectos de los armónicos y factor de potencia en la carga. 35
5.2.1 Transformador de Tensión 35
6. ESTUDIOS DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES SI SE REQUIERE. 37
6.1 Literal aplicable del RETIE (e) Análisis y cálculos de cortocircuito, arco eléctrico y falla a tierra. .. 37
6.2 Literal aplicable del RETIE (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. 38
7. ESTUDIO DE CALIDAD DE POTENCIA. LA CONEXIÓN DE UN NUEVO CLIENTE NO DEBE GENERAR SOBRETENSIONES, INTERRUPCIONES DE SEGUNDOS, VARIACIONES DE FRECUENCIA, DISTORSIONES DE ARMÓNICOS Y FACTOR DE POTENCIA QUE AFECTEN A OTROS CLIENTES. 42
8. ESTUDIOS DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS CUANDO APLIQUE, DE ACUERDO CON NORMAS AMBIENTALES O CUANDO APLIQUE DE ACUERDO CON EL RETIE. 42
8.1 Literal aplicable del RETIE (g) Cálculos de campos electromagnéticos. 42
9. ESTUDIOS MECÁNICOS DE ESTRUCTURAS PARA SUBESTACIONES MT O CUANDO SEA NECESARIO. 43
9.1 Literal aplicable del RETIE (l) Cálculo mecánico de estructuras y de elementos de sujeción y soporte de redes de transmisión, de distribución, subestaciones y centrales de generación. 43
10. DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS DE MEDIDA. 43
10.1 Literal aplicable del RETIE (t) Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares. 43
11. DISEÑO DE ARMARIOS PARA EL MONTAJE Y CONEXIONES DE MEDIDORES. 44
11.1 Literal aplicable del RETIE (t) Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares. 44
12. OTROS (EN CUMPLIMIENTO CON LAS NORMAS DE CONSTRUCCIÓN DE EBSA, NORMAS COLOMBIANAS E INTERNACIONALES) 45
12.1 Literal aplicable del RETIE (b) Análisis de riesgos por descargas eléctricas atmosféricas (rayos) y medidas de protección. 45
12.2 Literal aplicable del RETIE (d) Coordinación de aislamiento eléctrico. 49
12.2.1 Características Constructivas. 50
12.2.2 Distancias mínimas de Fuga. 50
12.3 Literal aplicable del RETIE (f) Análisis del nivel tensión requerido. 51
12.4 Literal aplicable del RETIE (q) Áreas clasificadas como peligrosas. 51
12.5 Literal aplicable del RETIE (v) Justificación de desviaciones técnicas cuando sea estrictamente necesarias, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación. 51
12.6 Literal aplicable del RETIE (w) Los demás estudios que el tipo de instalación requiera para su correcta y segura operación, tales como condiciones sísmicas, acústicas, mecánicas o térmicas. 52

12.7 Literal aplicable del RETIE (x) Selección, cálculo y especificación de equipos de generación de energía convencionales y no convencionales. 52

12.8 Literal aplicable del RETIE (x) Selección, cálculo y especificación de equipos de sistema de red contraincendios 52

UNA VEZ VIABILIZADO EL PROYECTO NO SE PUEDEN REALIZAR MODIFICACIONES AL COMPONENTE ELÉCTRICO SIN LA AUTORIZACIÓN DEL PROFESIONAL.

INGENIERO:
RUBEN DARIO ROJAS NIÑO
MT. PROF. N· BY250-117109

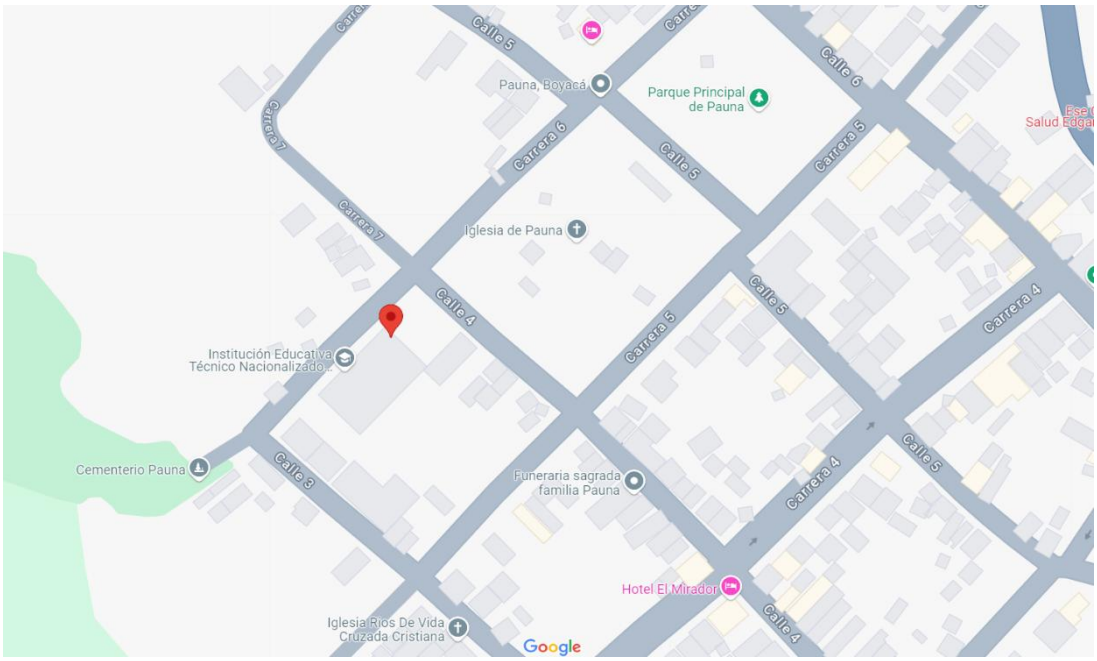


C.C. 1.052.397.922 de Duitama

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

INFORMACIÓN	OBSERVACIÓN
NOMBRE DEL PROYECTO	Mejoramiento de la infraestructura educativa en la sede principal de la institución educativa técnico nacionalizado de Pauna.
NOMBRE DEL PROPIETARIO	Representante legal: MUNICIPIO DE PAUNA
LOCALIZACIÓN	Calle 4 # 5 - 63, Municipio de Pauna (Boyacá).
LICENCIA DE CONTRUCCIÓN	APLICA _X_ NO APLICA ___
ÁREA TOTAL CONTRUIDA (m2)	1400.00 m2
NUMERO DE PISOS	2 pisos.
ESTRATO	----------
NÚMERO DE TRANSFORMADORES	Un (1) transformador trifásico
CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR (kVA)	75 kVA
CARGA INSTALADA (kVA)	44.81 kVA + 24.63 kVA RCI
NIVEL DE TENSIÓN (V)	MT = 13200 V, BT = 220/127V
TIPO DE MEDIDA	Semidirecta
NÚMERO DE USUARIOS EXISTENTES	0 usuarios existentes
NUMERO DE USUARIOS PROYECTADOS	1 cuenta trifásica semidirecta (1 usuario normal). 1 cuenta trifásica semidirecta (1 usuario RCI).
LONGITUD DE RED DE MT (km)	0.025 km
LONGITUD DE RED DE BT (km)	0.100 km
LITERALES RETIE DEL NUMERAL 3.3.1.1 QUE NO APLICA EN EL DISEÑO.	Literal g., Literal q., Literal v., Literal w., Literal x.

- **Ubicación:** El proyecto de mejoramiento de infraestructura del colegio nacionalizado de Pauna está ubicado en la Calle 4 # 5 - 63, Municipio de Pauna (Boyacá).



- **Objeto del proyecto**: Realizar los cálculos pertinentes para el diseño de instalaciones eléctricas de edificaciones educativas, que cumplan con las normativas existentes y con vigencia en el territorio nacional. Además de adjuntar planos de conexión de la construcción ubicada en zona urbana del municipio de Pauna (Boyacá).

- **Alcance del proyecto**: Algunos aspectos del diseño detallado que contempla el RETIE no son tenidos en cuenta por el tipo de diseño, este diseño eléctrico comprende:
  - Evaluación de riesgo eléctrico.
  - Análisis de nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos.
  - Distancias de seguridad.
  - Sistema de puesta a tierra.
  - Coordinación de protecciones.
  - Cálculo de ocupación de canalizaciones.
  - Planos eléctricos.
  - Elaboración de diagramas unifilares.
  - Cálculos de regulación acometida general y parcial.
  - Análisis de cortocircuito y falla a tierra.
  - Cálculo del transformador.
  - Cálculo mecánico de estructuras.
  - Cálculo de conductores y protecciones.
  - Nivel de tensión requerido.

- **Normatividad aplicable**: El diseño se realiza de acuerdo con los requerimientos de las normas aplicables para instalaciones eléctricas en lugares de este tipo o envergadura: Código Eléctrico Nacional NTC 2050 (2020), Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE (2024), las normas de diseño de las EBSA S.A.

ANÁLISIS DE RIESGOS DE ORIGEN ELÉCTRICO Y MEDIDAS PARA MITIGARLOS

A partir de la entrada en vigencia del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, todas las instalaciones eléctricas en general y las de uso final, tales como, las residenciales, comerciales, industriales y especiales deberán cumplir con lo dispuesto en el capítulo 9 de este reglamento. Este tema cobra importancia ya que en el desarrollo de la profesión se han presentado un gran número de accidentes de origen eléctrico, por lo que se hizo de vital importancia un análisis y evaluación para la prevención de accidentes y la protección de cualquier ser vivo principalmente.

En esta sección de la memoria de cálculo se anexa de manera completa y detallada, la evaluación y la metodología utilizada para implementar una matriz de análisis de riesgos para una instalación eléctrica trifásica conformada por un transformador en aceite tipo poste de 45 kVA del proyecto Mejoramiento de la infraestructura educativa en la sede principal de la institución educativa técnico nacionalizado de Pauna (Boyacá), utilizando como referencia el artículo 9 del capítulo del RETIE Reglamento técnico de instalaciones eléctricas.

A medida que el uso de la electricidad se va incrementando y se hace esencial para el desarrollo de la vida cotidiana, la normativa y la reglamentación se debe ir regulando de mejor manera, de esta forma se podrá prevenir cualquier tipo de accidente de origen eléctrico con gran porcentaje de certeza, ya que con el simple hecho de tomar un conjunto de condiciones de riesgo conocidos y realizar un análisis detallado en el que se puedan diagnosticar posibles fallas, causas y efectos de la instalación, se puede controlar de forma más eficaz la posibilidad de surgimiento de un accidente de origen eléctrico. Los accidentes con origen eléctrico pueden ser producidos por: contactos directos (bipolar o fase-fase, fase-neutro, fase-tierra), contactos indirectos (inducción, contacto con masa energizada, tensión de paso, tensión de contacto, tensión transferida), impactos de rayo, fulguración, explosión, incendio, sobrecorriente y sobretensiones.

Debido a que los umbrales de soportabilidad de los seres humanos, tales como el de paso de corriente (1,1 mA), de reacción a soltarse (10 mA) y de rigidez muscular o de fibrilación (25 mA) son valores muy bajos; la superación de dichos valores puede ocasionar accidentes como la muerte o la pérdida de algún miembro o función del cuerpo humano. Por esto si no se toman las medidas adecuadas, ya que el nivel de utilización de electricidad en este tipo de instalación residencial es alto y la concentración de personas es medianamente alta, la frecuencia de exposición al riesgo aumenta su nivel, y podría alcanzar niveles altos. El umbral de fibrilación ventricular depende de parámetros fisiológicos y eléctricos, por ello se ha tomado la curva C1 como límite para diseño de equipos de protección. Los valores umbrales de corriente de menos de 0,2 segundos, se aplican solamente durante el período vulnerable del ciclo cardíaco. Tal y como se observa en la figura 1, tomada de la NTC 4120, con referente IEC 60479-2, que detalla las zonas de los efectos de la corriente alterna de 15 Hz a 100 Hz.

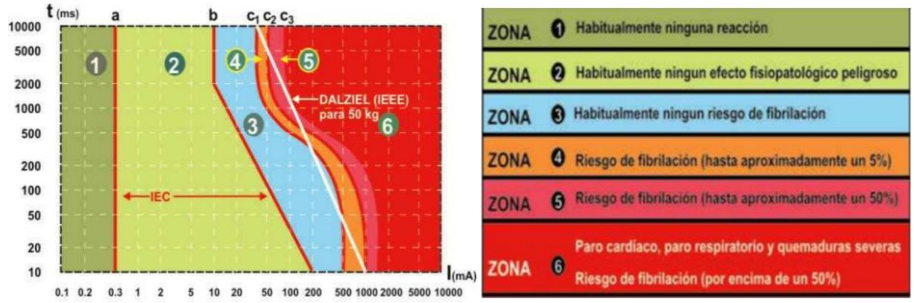


Figura 1. Zonas de tiempo/corriente de los efectos de las corrientes alternas de 15 Hz a 100 Hz

Ya que el cuerpo humano es un buen conductor de la electricidad. Para efectos de cálculos, se ha normalizado la resistencia como 1000Ω. En estudios más profundos del cuerpo humano se ha

analizado como impedancias (Z) que varían según diversas condiciones (ver figura 2). Los órganos como la piel, los músculos, etc., presentan ante la corriente eléctrica una impedancia compuesta por elementos resistivos y capacitivos.

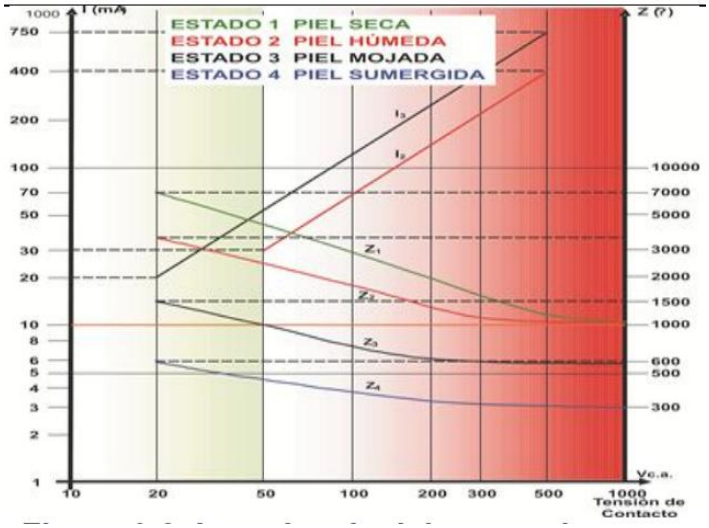


Figura 2. Impedancia del cuerpo humano.

Entre los parámetros de riesgo eléctrico se debe remitir al artículo 9 del RETIE, en la cual se designan condiciones de prevención de accidentes y nivel de riesgo eléctrico, con esto disminuir o mitigar las posibilidades de accidentes de origen eléctrico, dando cumplimiento a los requerimientos establecidos por el reglamento de instalaciones eléctricas RETIE. La metodología utilizada es la descrita en el numeral 9.2.1, matriz de análisis de riesgos del RETIE. Los resultados obtenidos de acuerdo al análisis se presentan en la figura 3, 4 y 5, y es denominado: Análisis de riesgo.

En primera instancia analizaremos la posibilidad de riesgo en la manipulación de conexión del transformador, hay que prestar especial atención en este ítem, ya que se realizará la conexión en MT de un transformador de 75 kVA en poste, por lo que se tendrá que manejar tensiones cercanas a los 13,2 kV. Si no se cuenta con la experiencia adecuada pueden ocurrir fenómenos como los arcos eléctricos a la hora de la conexión en MT, con esto vienen accidentes mayormente relacionados con quemaduras si no se cuenta con los elementos de protección adecuados.

En la empresa ha habido algunos casos, pero con la implementación de nuevas normas y reglamentación estos casos se han visto reducido casi al mínimo, por lo que el nivel de riesgo es medio, y se puede prevenir utilizando todos los equipos de protección y manteniéndolos en regla. Otras consecuencias podrían ser:

- **A nivel económico**, si ocurre este evento puede haber interrupciones breves que lleven a cortes de energía y algunos costos extras en mantenimiento.
- En el **ámbito ambiental** cada vez que se presenta un arco eléctrico este desprende gases contaminantes, pero de efecto menor.
- Puede influir en la **imagen de la empresa** a nivel regional, ya que la empresa de energía de Boyacá es la prestadora de energía de todo el departamento. Todo esto se puede solucionar con el desarrollo de buenas prácticas en la conexión del trasformador y el cumplimiento de las reglas de Oro.

Riesgo a Evaluar	QUERMADURAS	por	ARCOS ELÉCTRICOS	en	MANIPULACIÓN DE TRANSFORMADOR
	EVENTO O EFECTO		**FACTOR DE RIESGO**		**FUENTE**

Potencial [ ] Real [X]

						FRECUENCIA				
	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	Sucede varias veces al año en la
Consecuencias	Una o mas muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable	Internacional	5	ALTO	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	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

Evaluador ING. RUBEN DARIO ROJAS NIÑO MP BY250-117109 Fecha 17/02/2025

Figura 3. Matriz de Análisis de riesgo (manipulación del transformador en poste).

Luego ya en BT, en las zonas en presencia de gente del común, encontramos la posibilidad de riesgo de que ocurra un accidente por electrocución, se debe analizar en aparatos que la gente utiliza diariamente en la instalación del colegio, como lo son los refrigeradores, las estufas, entre otros electrodomésticos en los que se dé un contacto indirecto, se analiza que puede haber una lesión menor no de gravedad, interrupción de energía si se accionan las protecciones, producción de gases contaminantes pero de efecto menor, y en presencia de alguna falla se pueden tomar medidas respectivas internamente de la empresa a quién realizó la instalación. Esto puede ocurrir por fallas en los aislamientos, o por falta de un conductor de puesta a tierra. Ha ocurrido muy pocas veces en el sector, y es más por negligencia de los constructores de la instalación, por lo que el nivel de riesgo es bajo, y se puede prevenir con la separación de los circuitos, además de conexiones equipotenciales.

Riesgo a Evaluar	ELECTROCUCION **EVENTO O EFECTO**	por	CONTACTO INDIRECTO **FACTOR DE RIESGO**	en	ELECTRODOMÉSTICOS (LAVADORA, NEVERA) **FUENTE**

Potencial [X]	Real [ ]	FRECUENCIA

Consecuencias	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E No ha ocurrido en el sector	D Ha ocurrido en el sector	C Ha ocurrido en la Empresa	B Sucede varias veces al año en la Empresa	A Sucede varias veces al año en la Empresa
	Una o mas muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable	Internacional	5	ALTO	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	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

Evaluador	ING. RUBEN DARIO ROJAS NIÑO	MP	BY250-117109	Fecha	17/02/2025

Figura 4. Matriz de Análisis de riesgo (electrocución).

Por último, encontramos los accidentes por posibles cortocircuitos en los tableros de medida y en los tableros de distribución, estos pueden ocasionar quemaduras sino se tratan con cuidado y por expertos en el área, estos pueden ocurrir por fallas en los aislamientos, o por equipos defectuosos, se pueden tratar con protecciones de gran nivel, de buenos fabricantes, que eviten daños a las personas y a la instalación. Ya que una falla de este nivel, podría dejar incapacitado a una persona temporalmente, por lo que la manipulación debe ser realizado por personas capacitadas en el área, con sus respectivos elementos de protección personal, y si es necesario hacer uso de las distancias mínimas de seguridad. Por lo que se le categoriza en nivel medio de índice riesgo. Algunos ítems de riesgo más a evaluar son los siguientes:

- A **nivel económico (bajo),** si ocurre este evento puede haber interrupción temporal de energía si se accionan las protecciones
- A **nivel ambiental (bajo),** puede haber producción de gases contaminantes, pero de efecto menor, en zonas controladas.
- Puede influir en la **imagen de la empresa (bajo)** en presencia de alguna falla se pueden tomar medidas respectivas internamente de la empresa a quién realizó la instalación. Esto puede ocurrir por fallas en los aislamientos, o por falta de un conductor de puesta a tierra. Ha ocurrido muy pocas veces en el sector, y es más por negligencia de los constructores de la instalación, por lo que el nivel de riesgo es bajo, y se puede prevenir con la separación de los circuitos, además de conexiones equipotenciales.

Riesgo a Evaluar	QUERMADURAS **EVENTO O EFECTO**	por	CORTOCIRCUITO **FACTOR DE RIESGO**	en	TABLERO DE MEDIDORES Y DISTRIBUCION **FUENTE**

Potencial [X] Real [ ]

Consecuencias	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		FRECUENCIA E No ha ocurrido en el sector	D Ha ocurrido en el sector	C Ha ocurrido en la Empresa	B Sucede varias veces al año en la	A Sucede varias veces al año en la
	Una o mas muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable	Internacional	5	ALTO	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	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

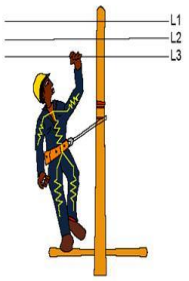
Evaluador ING. RUBEN DARIO ROJAS NIÑO MP BY250-117109 Fecha 17/02/2025

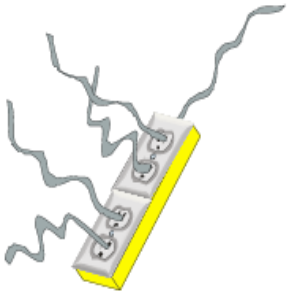
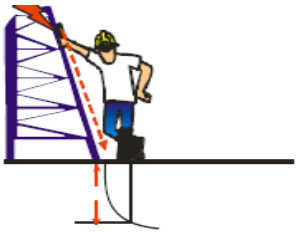
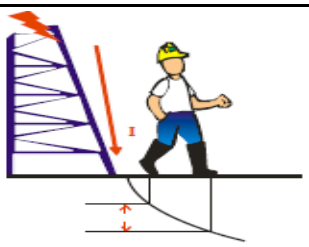
Figura 5. Matriz de Análisis de riesgo (Cortocircuito).

De acuerdo a la evaluación efectuada en la presente matriz de riesgo, arroja un resultado de RIESGO MEDIO. Se necesita Implementar una Protección básica que se ampliará adoptando las medidas adecuadas a fin de minimizar los riesgos de origen eléctrico. Estas medidas serán de carácter obligatorio y será directamente responsable el profesional encargado de la construcción de la obra eléctrica, o en su efecto el propietario, en el momento que haga caso omiso en la implementación de las mismas. Para la ejecución de todos los trabajos, El líder del grupo de trabajo diligencia el formulario, Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y el jefe del área aprueba el permiso de trabajo (PT) según procedimiento establecido, todo el personal a cargo de la labor debe portar todos los elementos de protección personal para la ejecución de la labor.

Tabla 1. Factores de riesgos más comunes y medidas adecuadas para minimizarlas.

	**ARCOS ELECTRICOS** **POSIBLES CAUSAS:** Malos contactos, cortocircuitos, aperturas de interruptores con carga, apertura o cierre de seccionadores con carga , apertura de transformadores de corriente, apertura de transformadores de potencia con carga si 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 rayos ultravioleta.
	**AUSENCIA DE ELECTICIDAD (EN DETERMINADOS CASOS)** **POSIBLES CAUSAS:** Apagón o corte del servicio, no disponer de un sistema interrumpido 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 interrumpidos de potencia y de plantas de emergencia con transferencia automática.

	**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.
	**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.
	**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.
	**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:** Sistema de puesta a tierra, conexiones equipotenciales, aumento de la humedad relativa, ionización del ambiente, eliminadores eléctricos y radiactivos, pisos conductivos.
	**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.
	**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.

	**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.
	**TENSIÓN DE CONTACTO**
	POSIBLES CAUSAS: Rayos, fallas a tierra, fallas de aislamiento, violación de distancias de seguridad.
	MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Puesta a tierra de baja resistencia, restricción de acceso, alta resistividad del piso, equipotencializar.
	**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: Puesta a tierra de baja resistencia, restricción de acceso, alta resistividad del piso, equipotencializar.

1. PLANOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DESDE EL PUNTO DE CONEXIÓN HASTA LA FRONTERA COMERCIAL QUE INCLUYAN, CORTES, PLANTAS, ARQUITECTURA, DISTANCIAS DE SEGURIDAD Y QUE CUMPLAN CON LAS NORMAS DE CONSTRUCCIÓN DEL OPERADOR DE RED, NORMAS COLOMBIANAS E INTERNACIONALES SI SE REQUIERE. (VER PLANO # 1-4).

1.1 Literal aplicable del RETIE (r) Diagramas unifilares.

En el diseño Colegio Municipal de Pauna se contempla un diagrama unifilar con potencia instalada de 44.81 (kVA) y 1 medidor de energía semidirecta, se utilizaron los símbolos de la **Tabla 1.3.4. a**, del RETIE, tomados de las normas unificadas IEC 60617, ANSI Y32, CSA Z99 e IEEE 315, los cuales guardan mayor relación con la seguridad eléctrica.

El detalle del diagrama unifilar se encuentra ubicado en el plano # 4.

1.2 Literal aplicable del RETIE (s) Planos eléctricos para construcción.

Plano 1: Diseño en planta, conexión de parciales.
Plano 2: Diseño en planta, conexión de iluminación.
Plano 3: Diseño en planta, conexión de tomacorrientes.
Plano 4: Diagrama unifilar.
Plano 5: Cuadros de carga y bloques de detalles constructivos.

1.3 Literal aplicable del RETIE (u) Distancias de seguridad o servidumbre requeridas.

En el desarrollo óptimo de técnicas para evitar los diferentes tipos de riesgo eléctrico, encontramos que el método más efectivo de prevención, siempre será respetar las distancias respecto a las partes energizadas, ya que esto reducirá el índice de accidentes provocados por el paso de

corriente en una situación determinada. En este tipo de análisis hay que tener en cuenta que cualquier elemento metálico o que pueda conducir la corriente y que este en contacto directo con las líneas de alimentación, será considerado también en la aplicación de las distancias mínimas de aislamiento.

Hay que tener en cuenta las distancias mínimas de seguridad en zonas con construcciones tal y como lo expresa el RETIE en el Titulo 10, Artículo 3.10.1, además para divisar montajes de estructuras de media y baja tensión en las cercanías de la construcción multifamiliar, tal y como se muestra en la figura 6 y 7.

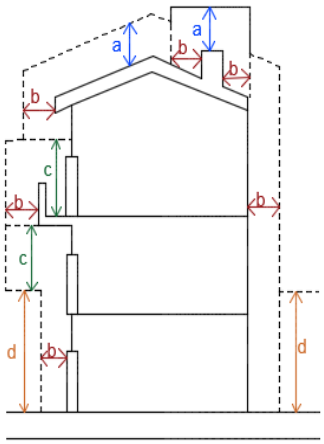


Figura 6. Distancias mínimas de seguridad en zonas con construcciones.

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 5).	44/34,5/33	3,8
	13,8/13,2/11,4/7,6	3,8
	<1	0,45
Distancia horizontal **"b"** a muros, proyecciones, ventanas y diferentes áreas independientemente de la facilidad de accesibilidad de personas. (Figura 5)	115/110	2,8
	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 5)	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 5)	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

Figura 7. Valores de distancias mínimas de seguridad en zonas con construcciones.

Otro factor que influye en el desarrollo de esta sección de la memoria de cálculo es, las distancias que se deben respetar, y los cuidados que se deben tener en presencia de un arco eléctrico, ya que en el desarrollo de la rama eléctrica, sobre todo en la parte de alta tensión, la aparición de arcos eléctricos puede ser muy común, y si no se tienen los respectivos cuidados, se puede convertir en una actividad muy peligrosa y con consecuencias de alta gravedad, puesto que el arco eléctrico puede generar una radiación térmica de hasta 20000 °C, y que expide vapores metálicos tóxicos por desintegración de productos. Por lo que se pueden tomar algunas de las siguientes medidas de protección.

Cumplir las distancias mínimas de aproximación a equipos de la tabla 2, las cuales son adaptadas de la NFPA 70 y del Articulo 3.10.5 del RETIE. Estas distancias son barreras que buscan prevenir lesiones al trabajador y en general a todo el personal y son básicos para la seguridad eléctrica. Para personas no calificadas, el límite de aproximación seguro. Para trabajos en tensión, cumplir

el límite de aproximación técnica. Instalar etiquetas donde se indique el nivel de riesgo que presenta un determinado equipo. Utilizar los elementos de protección personal acordes con el nivel de riesgo y el nivel de entrenamiento para realizar un trabajo que implique contacto directo.

Tabla 2. Distancias mínimas de trabajo o cerca de partes energizadas.

Tensión nominal del sistema (fase – fase)	Límite de aproximación seguro [m]		Límite de aproximación restringida (m) Incluye movimientos involuntarios.	Límite de aproximación técnica (m)
	Parte móvil expuesta	Parte fija expuesta		
50 V – 300 V	3,0	1,0	Evitar contacto	Evitar contacto
301 V – 750 V	3,0	1,0	0,30	0,025
751 V – 15 kV	3,0	1,5	0,7	0,2
15,1 kV – 36 kV	3,0	1,8	0,8	0,3
36,1 kV – 46 kV	3,0	2,5	0,8	0,4
46,1 kV - 72,5 kV	3,0	2,5	1,0	0,7
72,6 kV – 121 kV	3,3	2,5	1,0	0,8
138 kV - 145 kV	3,4	3,0	1,2	1,0
161 kV - 169 kV	3,6	3,6	1,3	1,1
230 kV - 242 kV	4,0	4,0	1,7	1,6
345 kV - 362 kV	4,7	4,7	2,8	2,6
500 kV – 550 kV	5,8	5,8	3,6	3,5

Se tiene que colocar especial atención en las distancias horizontales que existan en las cercanías de la construcción y las líneas de baja tensión que crucen en la fachada de la misma. En las distancias verticales se debe colocar atención con respecto a las líneas de media tensión que puedan influir en el adelanto constructivo de la edificación. *En el lugar donde se va a realizar la construcción, las líneas de alimentación eléctrica tanto de MT como de BT cumplen con las distancias mínimas de aislamiento.*

- **Medidas a adoptar:**

  - Realizar un análisis de riesgos donde se tenga en cuenta la tensión, la potencia de cortocircuito y el tiempo de despeje de la falla, para definir la categoría del riesgo que determina el elemento de protección a utilizar. El análisis de arco debe revisarse en periodos no mayores a cinco años o cuando se realicen modificaciones mayores.
  - Tener un entrenamiento apropiado para trabajar en tensión, si es el caso.
  - Tener un plano actualizado y aprobado por un profesional competente.
  - Usar equipos de protección personal certificados para el nivel de tensión y energía incidente Involucrados.
  - Las personas no calificadas, no deben sobrepasar el límite de aproximación seguro. Los OR atenderán las solicitudes de cubrimiento o aislamiento temporal para redes de media tensión y baja tensión que haga el usuario cuando requiera intervenir sus fachadas, el costo estará a cargo del usuario.
  - El límite de aproximación restringida debe ser señalizado ya sea con una franja visible hecha con pintura reflectiva u otra señal que brinde un cerramiento temporal y facilite al personal no autorizado identificar el máximo acercamiento permitido.

2. DISEÑO DE LAS SUBESTACIONES CON SUS RESPECTIVAS PROTECCIONES, CONFIGURACIÓN DE LA CONEXIÓN Y CÁLCULOS DE MALLA DE PUESTA TIERRA.

2.1 Literal aplicable del RETIE (t) Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares.

El contratista encargado de llevar a cabo la parte de construcción de la instalación, debe estar en la obligación de instalar materiales completamente nuevos y de la marca más óptima, que no sean susceptibles a daños con el paso del tiempo, y que tengan una vida útil productiva. Todo material que sea instalado debe tener
conformidad RETIE, y debe cumplir con las normativas vigentes y aplicables en el país. Todos los materiales deben ser instalados de acuerdo con los lineamientos de los diferentes fabricantes.

Los diferentes materiales y equipos deben ser colocados en lugares accesibles o con cajas de inspección de fácil alcance, las alturas de conexión se deben respetar a cabalidad, y deben proveer la libre circulación de las personas, además de obtener un acabado impecable en la instalación.
Se deberá colocar marcas de identificación en los diferentes aparatos y elementos eléctricos que lo necesiten (armarios para medidores, tableros de distribución, etc.) con las cuales se indicaran los propósitos del elemento eléctrico. En los lugares o elementos donde se deban respetar distancias mínimas de trabajo y que deban ser operadas por operarios certificados, se deben colocar marcas de riesgo eléctrico y avisos restrictivos pertinentes al caso. A continuación, se mostrarán algunas especificaciones de materiales:

• *Sistema de distribución en M.T.:* la conexión en media tensión se realizará en cable ACSR # 2, según la normativa EBSA S.A. para circuitos de media tensión aérea de 13,2 kV hasta el punto de arranque-subestacion, certificado según RETIE para este tipo de trabajo con sus conectores respectivos.

• *Protecciones contra Sobrecorriente:* fusible tipo K o de respuesta rápida, destinado a ser utilizado en cartuchos porta fusible de expulsión de cortacircuitos (cutoff) de desganche automático, empleados en líneas aéreas de 13,2 kV.

• *Protecciones contra sobretensiones:* descargador de sobretensión de óxido metálico de 12 kV, 10 kA, para líneas aéreas de 13,2 kV. Basados en las normas IEC 60099-4, ANSI C62.11.

• *Transformador:* el transformador de potencia será de tipo poste refrigerado en aceite, con potencia nominal de 45 kVA, tensiones de 13200/220-127V y conexión DYn5 cumpliendo con las normas de EBSA. El transformador será de tipo exterior, libre de PCB´s y estará situado en un poste de 12 mts extrareforzado. debe contener las siguientes características:

 Bobinas: Sección rectangular y en forma concéntrica con devanados cobre o aluminio. Aislamientos: Papeles de alta calidad recubiertos con resinas epóxicas.

 Núcleos: Tipo concha (Shell Type) o tipo núcleo (Core Type) enrollado con entre-hierros vuelta a vuelta dispuestos por grupos para un fácil armado y desarmado sin pérdida de características dimensionales, garantizando bajos niveles de pérdidas y corrientes de excitación. Material: Lámina de acero al silicio, grano orientado, laminada en frío, aislada por ambas caras, bajas pérdidas y alta permeabilidad.

 Bridas: Construidas en lámina Cold Rolled y Hot Rolled, abrazan el núcleo, con tapas independientes atornilladas que permiten fácil desmonte para efectuar mantenimientos.

Garantizan alta resistencia a los esfuerzos mecánicos de corto circuito, bajo nivel de ruido y bajas corrientes de excitación.

 Tanques: Rectangulares en lámina Cold Rolled y Hot Rolled con refuerzos que permiten soportar presiones internas por aumento de temperatura y esfuerzos mecánicos de manejo e instalación del equipo. Radiadores: Adosados al tanque, en lámina Cold Rolled.

 Bóveda: Las paredes y techos de las bóvedas para transformadores deben estar hechos de materiales con resistencia estructural adecuada a las condiciones de uso y con una resistencia mínima al fuego de tres horas. Los pisos de las bóvedas que estén en contacto con la tierra deben ser de hormigón y de un espeso mínimo de 0,10 m, pero si la bóveda está construida teniendo por debajo un espacio vacío u otras plantas (pisos) del edificio, el piso debe tener una resistencia estructural adecuada para soportar la carga impuesta sobre él y debe tener una resistencia mínima al fuego de tres horas.

• *Conexión en B.T.:* por el lado de baja tensión del transformador, la acometida se realizará en cable THHN – THWN a 75·C, y llevado en ducto IMC a la vista, y luego llevado de forma subterránea en tubería PVC hasta los armarios de los medidores.

• *Armario de medidores:* se instalarán bajo condiciones ambientales como: humedad relativa del 90%, temperatura ambiente máxima de 30·C y una temperatura mínima de -2·C, a una temperatura ambiente promedio de 14·C. será instalado empotrado en las paredes frontales y traseras de la construcción a la vista y a alturas óptimas de trabajo. Su objetivo principal es alojar los medidores de todos los usuarios que conforman la instalación, además de las protecciones y los barrajes. Deben ser manipulados por solo personal autorizado y deben ser funcionales además de evitar el uso fraudulento de la energía. Basado en normas como la NTC3444, NTC1156 y NTC3279.

Los armarios deben ser construidos en lámina de acero Cold Rolled calibre 16 BWG (1,588 como mínimo) o en poliéster reforzado con fibra de vidrio. Todos los tornillos, tuercas, arandelas, guasas, bisagras y demás herrajes utilizados deberán ser galvanizados, irisados o cromados. El grado de protección que deberá tener la envoltura exterior del armario deberá ser como mínimo IP33, según norma IEC60144 para instalación interior, es decir protegido contra cuerpos solidos de diámetro o espesor superior a 2.5mm y contra el agua que cae en forma de lluvia (ángulo inferior o igual a 60· respecto a la vertical). Los barrajes serán fabricados en platina de cobre electrolítico tetrapolar, las barras serán pintadas en colores amarillo, azul y rojo para las fases, y blanco o gris para el neutro colocado en la parte superior, este barraje debe estar a la vista y protegido por una cubierta aislante de acrílico de 4mm mínimo de espesor.

• *Sistema de puesta a tierra:* todos los elementos conectados en la instalación deben estar correctamente aterrizados a tierra, con esto garantizar la seguridad de las personas y de la instalación en sí, con la capacidad de despejar las fallas hacia tierra lo más rápido posible. Para la instalación de la puesta a tierra se debe regir de la NTC2050 y del RETIE en el artículo 15. Todas las tierras de la instalación deben quedar conectadas haciendo que solo exista una que despeje cualquier posible falla. Este sistema se hará por medio de electrodos de 99 % Cu de pureza, enterrados en tierra de 2.44 m de longitud, entrelazadas con conductor de cobre desnudo de calibre # 2T calculado según lo establecido en el RETIE. El conductor de tierra normalmente no deberá transportar corriente. Sirve para aterrizar las partes metálicas de equipos eléctricos, tales como transformadores, motores, ducterías metálicas y pantallas metálicas de cables. El sistema de puesta a tierra constara de 4 varillas de cobre (99% de Cu), en contacto directo con el suelo y con la función de disipar cualquier tipo de falla de corriente de la instalación, entrelazadas con cable desnudo de calibre # 2 AWG, con cajas de inspección de 30x30 cm

hechas según normativa y de material resistente. Luego de la construcción del SPT se deberá comprobar el valor de resistencia y debe estar por debajo de los 10 ohm, tal y como se diseñó. Cada uno de los tableros que conforman la instalación debe quedar debidamente aterrizados a tierra.

• *Cables eléctricos:* se deberá realizar un listado de materiales a ser utilizados en la instalación. Todos los alambres y cables que se utilicen serán de cobre electrolítico de 98% de conductibilidad, para 60° centígrados, con aislamiento plástico para 600V del tipo THHN - THWN. El código de colores a utilizar en el alambrado será el siguiente: Conductor para conexión de tierra (Verde), Conductor para Neutro (Blanco), Conductor para fases: Amarillo (Fase R), Azul (Fase S), Rojo (Fase T). No se permitirá realizar derivaciones o empalmes de cable dentro de los ductos, los empalmes solo se permitirán en las cajas de empalme y deberán ser realizados por medio de conectores de rosca sin soldadura. En las zonas de sótanos y zonas con alta concentración de personas de la edificación, se instalará cable con bajo contenidos en halógenos.

• *Tubería y accesorios:* los ductos que estén a la vista deben ser instalados en IMC y deben ser asegurados y soportadas mediante grapas galvanizadas del calibre adecuado y fijadas por pernos o chasos que soporten la carga de manera óptima. Los ductos que estén empotrados bajo techo falso, deben ser de PVC SCH 40, y todos los ductos que estén en piso o muros serán instalados en PVC y asegurados de la manera que el RETIE lo indica.

• *Cajas para salidas de aparatos:* todas las cajas en las que se instalaran aparatos, deben ser de lámina calibre # 20 como mínimo. Para los tomacorrientes e interruptores se utilizarán cajas rectangulares tipo 5800, pero para los tomacorrientes empotrados en columnas se utilizarán cajas cuadradas tipo 2400, y para las salidas de alumbrado se usarán cajas octagonales, todas con su debido aterrizaje a tierra. Algunas de las distancias de conexión son:

- Apliques	1,90 m.
- Interruptores en general	1,00 m.
- Tomas de muro	0,30 m.
- Interruptores en baños	1,00 m.
- Tomas GFCI en baños	1,20 m.
- Teléfonos públicos de muro	1,50 m.
- Tomas en mesones	1,20 m.

2.2 Literal aplicable del RETIE (i) Sistema de puesta a tierra.

2.2.1 Análisis de Resistividad del Terreno (Reporte).

Tabla 3. Reporte de resistividad.

Reporte N°: 007	Elaborado por: Ing. Rubén Darío Rojas Niño.	FECHA PRUEBAS: 11/11/2025	FECHA EMISION REPORTE: 18/11/2025
PROVEEDOR: N/A	**TELEFONO:** N/A	**LUGAR DE MEDICIÓN** Pauna (Remodelación Colegio), Calle 4 # 5 – 63, (sector urbano centro).	

ORDEN DE COMPRA # N/A	**MEDICION ANTERIOR**: N/A	**ESTADO ACTIVIDAD** N/A	_ INFORME AVANCE X REPORTE FINAL
EVALUACIÓN DE SUMINISTRO: N/A DEFICIENTE _ REGULAR _ BUENO _ EXCELENTE _			**SIGUIENTE VISITA:** N/A
A. RESUMEN DEL REPORTE			
Tipo de actividad _ Visual _ Dimensional X Pruebas _ Atestiguar pruebas _ Otras: _____	Resultado ensayo: N/A Satisfactorio __ Desviaciones menores __ No Satisfactorio Conclusiones/observaciones: • La medición de resistividad del terreno fue realizada de acuerdo a las condiciones de la ubicación del terreno. • Se determinan dos valores de resistividad por el método promedio y por el método de Box Cox por lo cual se recomienda para los cálculos a los que haya lugar el uso del valor obtenido en el segundo método.		

Tabla 4. Documentos de referencia.

B – DOCUMENTOS DE REFERENCIA					
Nombre	**Número**	**Rev.**	**Fecha**	**Estatus**	**Aprobado por**
Reglamento Técnico de instalaciones Eléctricas	RETIE 2024		25/07/24	AP	
Código Eléctrico Colombiano	NTC 2050		25/11/20	AP	
Subtítulo: (AC = Aprobado con comentarios) – (AP = Aprobado) – (CT = Certificado/Final)					

2.2.2 Medición de Resistividad.

El valor de la resistividad del terreno es un parámetro indispensable para calcular el valor de la resistencia de los dispersores que se van a utilizar para la realización de una instalación de tierra. Para la medición de la resistividad del terreno se utilizó el método de las cuatro (4) puntas o Wenner. Consiste en cuatro electrodos dispuestos en una línea recta, separados uniformemente, buscando que cada electrodo parezca un punto; en otras palabras, que la profundidad de enterramiento "H" sea mucho menor que la distancia de separación entre los electrodos "a" como se ve en la figura 8.

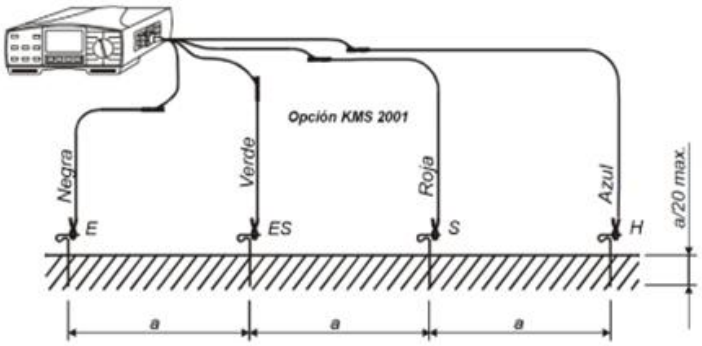


Figura 8. Medición de resistividad por el método Wenner.

A diferencia de algunos equipos de medida, el utilizado (EARTH RESISTANCE METER SONEL MRU-30) entrega directamente el valor de la resistividad del terreno sin la necesidad de realizar ningún cálculo eléctrico adicional.

2.2.3 Materiales y Equipos.

A continuación, se relacionan los equipos y materiales utilizados para las mediciones:

Tabla 5. Materiales.

Cantidad	***Elemento***
1	Decámetro
1	Martillo
4	Estacas de acero

Tabla 6. Equipos.

Cantidad	***Elemento***	***Observación***
1	Telurómetro digital y accesorios	EARTH INSULATION TESTER MI-2088 METREL

2.2.4 Registros de la Medición.

Se ubican las barras auxiliares en una línea recta a distancias que oscilan de 2 a 4 metros a una profundidad de 0,20 m. Las distancias y los valores obtenidos se registran en la tabla 7.

Tabla 7. Registros de la Medición.

Separación (a) en metros	***ρ(Ω-m)***
2	70,8
3	53,1
4	35,3

Dónde:
ρ= es la resistividad aparente del terreno en Ω-m.
a= distancia entre electrodos.

Tabla 8. Resistividad Promedio.

	ρi Ω-m
	70,8
	53,1
	35,3
SUMA	159,2
PROMEDIO	53,07

Tabla 9. Grafica de variación de resistividad.



Luego se puede modelar el suelo como homogéneo con una resistividad de aproximadamente 53,07 **Ω-m**.

Tabla 10. Registro fotográfico resistividad.

<table>
<tr><th colspan="2">Medida Realizada en las instalaciones internas de la construcción proyectada</th></tr>
<tr><td>
Ubicación de varillas a=2m</td><td>
Registro de medición a=2m</td></tr>
<tr><td>
Ubicación de varillas a=3m</td><td>
Registro de medición a=3m</td></tr>
<tr><td>
Ubicación de varillas a=4m</td><td>
Registro de medición a=4m</td></tr>
<tr><td></td><td>
</td></tr>
</table>

Con el valor de resistividad indicado se recomienda realizar un tratamiento del suelo con productos destinados para mejorar el valor de resistencia del suelo (bentonita, gel). Este tratamiento es recomendado en terrenos cuya resistividad supera los 40 Ohmios - m, teniendo en cuenta que donde se especifica la necesidad de los sistemas de puesta a tierra de los transformadores en poste no deben exceder los 10 Ohmios (RETIE), por lo tanto, en muchas de las zonas se requiere mejorar la resistencia de puesta a tierra de una forma fácil y económica, al tiempo que cumpla las exigencias técnicas.

2.2.5 Certificado de Calibración de Telurómetro.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

No: SM.LIME.0047.2025 Página 1 de 3

Cliente:	SEDIMCO INGENIEROS S.A.S	**Marca:**	METREL
Dirección:	CARRERA 12 # 16-38 OFICINA 201 CONDOMINIO SAN RICARDO	**Modelo:**	MI2088
Ciudad:	TUNJA	**Serie:**	15240839
Teléfono:	3202334600	**Caracteristicas técnicas:**	Ver manual de especificaciones técnicas.
Descripción del equipo:	EARTH INSULATION TESTER		

Fecha de recepción: 2025/01/30 **Fecha de Calibración:** 2025/02/06 **Fecha de Emisión:** 2025/02/11

Declaración:
Declaration

En Servimeters S.A.S. contamos con acreditación ONAC, vigente a la fecha, con código de acreditación 11-LAC-023, bajo la norma ISO/IEC 17025:2017 genera este certificado el cual no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización por escrito del laboratorio que lo emite. Los resultados contenidos en el presente certificado se refieren al instrumento relacionado y expresa fielmente el momento y las condiciones en que se realizaron las mediciones. Servimeters S.A.S. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados. El usuario es responsable de la calibración de sus instrumentos a intervalos apropiados.

Método:
Method

El método de calibración consiste en la comparación de la indicación del objeto bajo prueba contra los valores aplicados por los equipos patrón, con base en lo descrito en el (los) documento (s) normativo (s): "EURAMET CG 15 Versión 3.0 (02/2015) GUIDELINES ON THE CALIBRATION OF DIGITAL MULTIMETERS (Resistencia, Tensión Eléctrica C.A., Tensión Eléctrica C.C.)"; "PROCEDIMIENTO EL-004 PARA CALIBRACIÓN DE MEGOHMETROS DEL CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA. EDICIÓN DIGITAL 1 (Resistencia de aislamiento)"

Lugar de calibración:
Calibration place

Las pruebas de calibración fueron realizadas en el laboratorio de Magnitudes Eléctricas de Servimeters S.A.S.

Condiciones ambientales:
Environmental conditions

Temperatura Ambiente (°C): 23,8 ± 0,6
Humedad Relativa (%HR): 36,3 ± 1,3

SOLO VALIDO PARA PROYECTO MEJORAMIENTO Y DOTACION DE LA INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA EN LA SEDE PRINCIPAL DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA TÉCNICO NACIONALIZADO DE PAUNA EN EL MUNICIPIO DE PAUNA, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ.

Trazabilidad Metrológica:
Metrological Traceability

Servimeters S.A.S. asegura el mantenimiento de la trazabilidad metrológica de los resultados de medición al Sistema Internacional de unidades (SI) a través de la calibración con patrones nacionales o internacionales de los equipos patrón utilizados, calibraciones que contribuyen a la incertidumbre de medición y que son realizadas por laboratorios acreditados. Los equipos utilizados durante la calibración del instrumento bajo prueba se relacionan a continuación:

Equipo	No. de serie	No. Certificado	Fecha de Calibración
CALIBRADOR MULTI-FUNCIÓN	L1474J17	AC-20347	2023/02/02
INSULATION TESTER CALIBRATION SISTEM	105 A 6	484-029	2022/01/03

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN
Measurement uncertainty

La incertidumbre expandida de la medición (U(e)) reportada se establece como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura "k" vía probabilidad de cobertura, la cual debe ser aproximada al 95 % y no menor a este valor.

Las unidades expresadas en incertidumbre expandida (Uexp) corresponden a la columna Unidad de la tabla de resultados de calibración.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

No: SM.LIME.0047.2025

RESULTADOS DE CALIBRACIÓN:

- **MEDICIÓN EN RESISTENCIA (RESISTENCIA DE AISLAMIENTO).**

Rango	Unidad	Voltaje (V)	Valor aplicado (valor patrón)	Valor leido instrumento bajo calibración	Error	Factor Cobertura "k"	U (exp)
0 - 1,999	MΩ	500	0,1	0,100	0,0000	2,00	0,0017
0 - 1,999	MΩ	500	0,5	0,499	-0,0010	2,00	0,0059
0 - 1,999	MΩ	500	1	0,998	-0,003	2,00	0,012
2 - 19,99	MΩ	500	10	9,96	-0,04	2,00	0,12
20 - 199,9	MΩ	500	100	99,5	-0,5	2,00	1,2
200 - 1999	MΩ	500	250	248	-2,0	2,00	3,2
200 - 1999	MΩ	500	400	397	-3,0	2,00	4,8
200 - 1999	MΩ	500	1000	993	-8	2,00	12
2 - 19,99	GΩ	500	10	10,83	0,83	2,00	0,63

- **MEDICIÓN EN TENSIÓN AC.**

Rango	Unidad	Frecuencia	Valor aplicado (valor patrón)	Valor leido instrumento bajo calibración	Error	Factor Cobertura "k"	U (exp)
0 - 600	V	50 Hz	60	60	0,00	2,00	0,58
0 - 600	V	60 Hz	60	60	0,00	2,00	0,58
0 - 600	V	50 Hz	300	299	-1,00	2,00	0,64
0 - 600	V	60 Hz	300	299	-1,00	2,00	0,64
0 - 600	V	50 Hz	540	538	-2,00	2,00	0,70
0 - 600	V	60 Hz	540	538	-2,00	2,00	0,70

- **MEDICIÓN EN RESISTENCIA. (CONTINUIDAD).**

Rango	Unidad	Valor aplicado (valor patrón)	Valor leido instrumento bajo calibración	Error	Factor Cobertura "k"	U (exp)
0 - 199,9	Ω	1,24	0,3	-0,940	2,00	0,058
0 - 199,9	Ω	10,184	9,1	-1,084	2,00	0,058
0 - 199,9	Ω	100,193	99,1	-1,093	2,00	0,059
200 - 1999	Ω	1000,221	996	-4,22	2,00	0,59

- **MEDICIÓN EN RESISTENCIA (RESISTENCIA A TIERRA).**

Rango	Unidad	Valor aplicado (valor patrón)	Valor leido instrumento bajo calibración	Error	Factor Cobertura "k"	U (exp)
0 - 19,99	Ω	0,176	0,20	0,0240	2,00	0,0086
0 - 19,99	Ω	0,275	0,30	0,0250	2,00	0,0092
0 - 19,99	Ω	1,24	1,26	0,0200	2,00	0,069
0 - 19,99	Ω	10,184	10,18	-0,004	2,00	0,010
20 - 199,9	Ω	100,193	100,1	-0,07	2,00	0,059
200 - 1999	Ω	1000,221	997	-3,22	2,00	0,59
2 - 19,99	kΩ	9,99977	9,97	-0,0348	2,02	0,0068

- **MEDICIÓN EN TENSIÓN DC.**

Rango	Unidad	Valor aplicado (valor patrón)	Valor leido instrumento bajo calibración	Error	Factor Cobertura "k"	U (exp)
0 - 600	V	60	60	0,00	2,00	0,58
0 - 600	V	-60	-60	0,00	2,00	0,58
0 - 600	V	300	300	0,00	2,00	0,58
0 - 600	V	540	539	-1,00	2,00	0,58
0 - 600	V	-540	-540	0,00	2,00	0,58

SOLO VALIDO PARA PROYECTO MEJORAMIENTO Y DOTACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA EN LA SEDE PRINCIPAL DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA TÉCNICO NACIONALIZADO DE PAUNA EN EL MUNICIPIO DE PAUNA, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ

2.2.6 Cálculo del Sistema de Puesta a Tierra (Malla de Puesta a Tierra).

- *Metodología IEEE80 – 2000:*

Se utilizan para los cálculos las ecuaciones de la estándar IEEE80 – 2000.

ρ	53,07	Resistividad aparente del terreno Ohm/m.
ρ_s	3000	Resistividad superficial del terreno Ohm/m
h_s	0,25	Espesor de capa superficial (m)
I_o	600	Corriente de falla monofasica a tierra en el primario (A) dada por EBSA S.A.
t_s	0,15	Tiempo de despeje de la falla (s) dado por EBSA

- *Selección del conductor:*

De acuerdo al RETIE y la tabla 250-94 de la NTC 2050.

$$A_{mm^2} = \frac{IK_f\sqrt{t_c}}{1{,}9737}$$

En donde:

A_{mm^2} es la sección del conductor en mm^2.

I es la corriente de falla a tierra, suministrada por el OR (rms en kA).

K_f es la constante de la Tabla 25, para diferentes materiales y varios valores de T_m

T_m es la temperatura de fusión o el límite de temperatura del conductor y una temperatura ambiente de 40 °C.

t_c es el tiempo de despeje de la falla a tierra.

Kf=7,06	A=	1,03	mm2
Se escoge cable cobre Nº		2	AWG
Ac=	33,62	mm2	Seccion transversal del conductor
d=	0,00654	m	Diámetro conductor

- *Tensiones de paso y de contacto máximas tolerables:*

$$C_S = 1 - \frac{0.09 * \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2 * h_s + 0.09} \qquad Ec.1$$

Cs=	**0,85**	Factor de Relación (adimensional)
Peso de la persona Kg	70	0,157

- *tensión de paso:*

$$E_{step50} = (1000 + 6C_s \cdot \rho_s)\frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \qquad E_{step70} = (1000 + 6C_s \cdot \rho_s)\frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \qquad Ec.2$$

- *Tensión de contacto:*

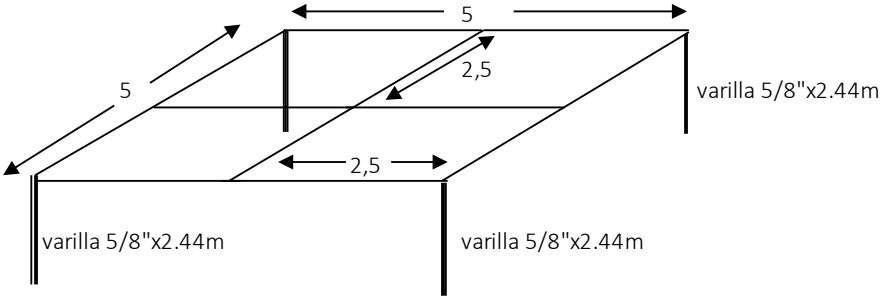
$$E_{step50} = (1000 + 1.5C_s \cdot \rho_s)\frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \qquad E_{step70} = (1000 + 1.5C_s \cdot \rho_s)\frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \qquad Ec.3$$

Cs =	1	Para terrenos sin grava

Vpaso =	6608,71 V	Tolerables
Vcontacto =	1956,21 V	Tolerables

- *Determinación configuración inicial:*

DETERMINACION CONFIGURACION INICIAL



D=	2,5	Lado de la cuadricula o espaciamiento entre conductores(m)
L1=	5	Largo de la malla (m)
L2=	5	Ancho de la malla (m)
h=	0,5	profundidad de enterramiento de los conductores (m)
N=	4	Numero de electrodos tipo varilla
Lv=	2,44	Longitud del electrodo tipo varilla (m)

$$L_T = L_C + N * L_V(m)$$ **Longitud total del conductor** para mallas cuadradas o rectangulares $Ec.4$

$$L_C = \left(\frac{L_1}{D} + 1\right) * L_2 + \left(\frac{L_2}{D} + 1\right) * L_1(m) \qquad Ec.5$$

L_c=	30	m
L_T=	39,76	m
Área=	25	m2

- *Cálculo de la resistencia de puesta a tierra:*

$$Rg = \rho * \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20 * A}} * \left(1 + \frac{1}{1 + h * \sqrt{\frac{20}{A}}}\right)\right] \qquad Ec.6$$

Rg = 5,35 Ohm

- *Cálculo del máximo potencial de tierra (gpr):*

I_G = I f*D f*S f*C p (A)

I_G = 486,1962 A

GPR= I_G*R_G (V)

GPR= 2600,05 V

Vcontacto= 1956,21 V Tolerable

Vcontacto < GPR

- *Cálculo de tensión de malla en caso de falla:*

h=	0,5	Profundidad de enterramiento de los conductores (m)
D=	2,5	lado de la cuadricula o espaciamiento entre conductores(m)
L_1=	5	Largo de la malla (m)
L_2=	5	Ancho de la malla (m)

Conductor calibre 2 AWG

Ac=	33,62	mm2	Sección transversal del conductor
d=	0,00654	m	Diámetro conductor
Kii =	1		Para mallas con electrodos de varilla a lo largo del perímetro, en las esquinas o dentro de la malla

$L_p = (L_1+L_2)*2$ (m) Para mallas cuadradas o rectangulares

L_p = 20 m

n Factor de geometría

n= n_a*n_b*n_c*n_d

$$n_a = \frac{2 * L_c}{L_p} \qquad n_a = 3{,}00 \qquad Ec.7$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 * \sqrt{A}}} \qquad n_b = 1{,}00 \qquad Ec.8$$

$$n_c = \left(\frac{L_1 * L_2}{A}\right)^{\left(\frac{0.7*A}{L_1*L_2}\right)} \qquad n_c = 1{,}00 \qquad Ec.9$$

n_c = n_d = 1 Para mallas rectangular o cuadrada; entonces:

$$n = 3{,}00$$

0.644+0.148 * n Factor de corrección

1,088

$Ec.10$

$$K_h = \sqrt{1+h} \qquad K_h = 1{,}225 \qquad Ec.11$$

Factor geométrico

$$K_m = \frac{1}{2\pi} * \left[\ln\left[\frac{D^2}{16*h*d} + \frac{(D+2*h)^2}{8*D*d} - \frac{h}{4*d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} * \ln\left[\frac{8}{\pi*(2*n-1)} \right] \right]$$

$K_m = 0{,}7507 \quad Ec.12$

Tensión de malla

$$V_{malla} = \frac{\rho * I_G * K_M * K_i}{Lc + \left[1.55 + 1.22 * \left(\frac{Lv}{\sqrt{L_1^2 + L_2^2}} \right) \right] * N * Lv}$$

$Ec.13$

$V_{malla} =$ 428,01 V

$V_{contacto\ tolerable} =$ 1956,21 V Tolerable

Vmalla < VcontactoTolerable CUMPLE

- *Cálculo de tensión de paso en caso de falla:*

$$K_S = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2*h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} * \left(1 - 0.5^{(n-2)}\right) \right]$$

$Ec.14$

$K_S = 0{,}488$

Tensión de paso

$$V_{paso} = \frac{\rho * I_G * K_S * K_i}{0.75 * Lc + 0.85 * N * Lv}$$

$Ec.15$

$V_{PASO} =$ 444,89 V

Vpaso tolerable= 6608,71 V

Vpaso < Vpasotolerable CUMPLE

Vemos que una vez efectuados los cálculos para la configuración de la malla de puesta a tierra propuesta esta **CUMPLE,** teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

L1=	5	Largo de la malla (m)
L2=	5	Ancho de la malla (m)
h=	0,5	profundidad de enterramiento de los conductores(m)
N=	4	Numero de electrodos tipo varilla
Lv=	2,44	Longitud del electrodo tipo varilla (m)

- *Cálculo de la tensión de contacto aplicada a un ser humano en caso de falla:*

Para este cálculo se toma como punto de contacto del ser humano cualquier parte del SPT o malla, la cual tendrá un voltaje de malla en el momento de una falla, en cualquier punto; teniendo en cuenta que la persona estará fuera de la malla y sobre una superficie con una resistividad superficial específica, y tomando el caso más crítico que sería con las piernas separadas. Tal y como se muestra en la figura 9.

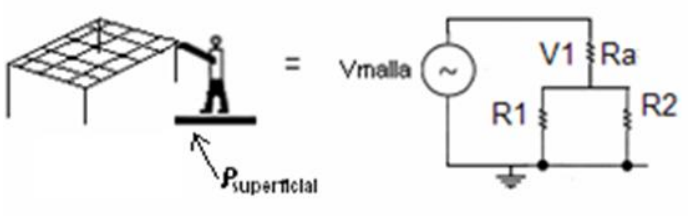


Figura 9. Cálculo de la tensión de contacto aplicada a un ser humano en caso de falla.

V1= Máxima tensión de contacto resultante
R1= Resistencia del suelo en el punto de apoyo 1 $= 3\rho_s$
R2= Resistencia del suelo en el punto de apoyo 2 $= 3\rho_s$
Ra= Resistencia del cuerpo de el individuo ,=1000 Ohm
Rb= Resistencia superficial de el piso debajo de el individuo
Vmalla= Voltaje de la malla

$$\rho_s = 3000$$

$$Rb = \left(\frac{R1 * R2}{R1 + R2} \right) \qquad V_1 = Vmalla \left(\frac{Ra}{Ra + Rb} \right) \qquad Ec.16$$

Rb=	4500	**Ohm**	**Vmalla =**	428.01	**V**
V1=	78	**V**			

Según RETIE tabla 22, máxima tensión de contacto para un ser humano es:

$$T_s = 0{,}15\ s$$

$$maxima\ tension\ de\ contacto = \frac{116}{\sqrt{t}}\ [V, c.a.] = 299{,}51\ V$$

Entonces V1 < máxima tensión de contacto permisible

La tensión de contacto cumple para Ts = 0,15 s

3. DISEÑO CÁLCULO DEL DIMENSIONAMIENTO Y REGULACIÓN DE TENSIÓN DE LOS CONDUCTORES DE ACUERDO CON LA CARGA SOLICITADA.

3.1 Literal aplicable del RETIE (j) Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía.

Este ítem de la memoria de cálculo se realiza con el fin de establecer las pérdidas de energía que se dan debido a la resistencia de los tramos de los diferentes conductores que conforman la instalación y su efecto monetario. Estas pérdidas con calculadas con la Ec. 17.

$$E = R * {I_{max}}^2 * \Delta t$$

$$como\ R = \rho * \frac{l}{S}$$

$$E = \rho * \frac{l}{S} * {I_{max}}^2 * \Delta t \qquad Ec. 17$$

Donde:

- E = es la energía disipada por el conductor (W).
- ρ = resistividad eléctrica del material conductor ($\Omega * m$).
- L = longitud del conductor (m).
- S = sección transversal del conductor (mm^2).
- I_{max} = corriente máxima que pasa por el cable (A)
- Δt = intervalo de tiempo.

Por esto se puede deducir que a medida que sea mayor la resistividad del conductor, existirán mayores pérdidas en la línea.

El cálculo económico se realizará en periodos de 1 hora, en los diferentes tramos de conductores que aplican en este proyecto. Desde los circuitos de M.T., pasando por el transformador y por los tableros de medidores hasta los tableros de distribución y de uso final. Tal y como se muestra con la Ec. 18. Tabla 11.

$$perdidas\ en\ \$\ por\ dias = 24 * E * \$W \qquad Ec. 18$$

Donde:

- $W = es el valor en pesos de cada Whr

Tabla 11. Calculo económico de Conductores.

TRAMO	POTENCIA (VA)	VOLTAJE (V)	I MAX (A)	CALIBRE (AWG)	RESISTIVIDAD (ρ)	LONGITUD (l)	SECCION TRANSVERSAL (S)	TIEMPO (t)	ENERGIA DISIPADA (Wh)	VALOR Wh ($W)	PERDIDA EN $ POR DIA
TD-G	48620	220	159,49	4/0 AWG AL	2,650E-08	90,65	107	1	0,0005711014	504,63	6,91667756
TD-ADM	11669	220	38,28	6 AWG CU	1,670E-08	6,25	13,3	1	0,0000114989	504,63	0,13926487
TD-C&C	11598	220	38,05	6 AWG CU	1,670E-08	32,5	13,3	1	0,0000590679	504,63	0,71537783
TD-TIC	11151	220	36,58	6 AWG CU	1,670E-08	10,15	13,3	1	0,0000170538	504,63	0,20654033
TD-AUL	7467	220	24,49	6 AWG CU	1,670E-08	26,44	13,3	1	0,0000199174	504,63	0,24122234
TD-REGULADAS	6222	220	20,41	6 AWG CU	1,670E-08	4,32	13,3	1	0,0000022599	504,63	0,02737016
TD-RCI	24630	220	80,80	1/0 AWG AL	2,650E-08	90,65	53,5	1	0,0002931178	504,63	3,54998437

3.2 Literal aplicable del RETIE (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.

En la tabla 12 se muestran los valores de los calibres de cables con que cuenta la instalación, desde la acometida hasta los tableros de medida o frontera comercial, con sus respectivas protecciones, es un resumen general de los alimentadores a ser instalados en la construcción.

Tabla 12. Verificación de Conductores.

TRAMO	POTENCIA (VA)	VOLTAJE (V)	I MAX (A)	CALIBRE (AWG)	PROTECCION (A)
TD-G	48620,00	220	159,49	4/0 AWG AL	3X150
TD-ADM	11668,89	220	38,28	6 AWG CU	3X50
TD-C&C	11597,78	220	38,05	6 AWG CU	3X50
TD-TIC	11151,11	220	36,58	6 AWG CU	3X50
TD-AUL	7466,67	220	24,49	6 AWG CU	3X50
TD-REGULADAS	6222,22	220	20,41	6 AWG CU	3X50
TD-RCI	24630,00	220	80,80	1/0 AWG AL	3X350

En esta sección verificaremos 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 con ayuda de la Ec. 19 y los resultados se anexarán en la tabla 13.

$$S = \frac{I_{cc} * \sqrt{t}}{K} \qquad Ec. 19$$

Donde:

- S = sección mínima del conductor en (mm2) que soporta el cortocircuito.
- I_{cc} = valor eficaz de la corriente de cortocircuito en A.
- t = tiempo de actuación de la protección en segundos.
- K = constante propia del conductor.

Tabla 13. Verificación de conductores por corriente de corto circuito.

TRAMO	CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO (kA)	TIEMPO DE RESPUESTA AL CORTOCIRCUITO DE LA PROTECCION (sg)	CONSTANTE K DE CONDUCTOR DE COBRE AISLADO EN PVC	SECCION MINIMA DEL CONDUCTOR S [mm]2	SECCION MINIMA QUE SOPORTA EL CC (AWG)	CALIBRE ESCOGIDO PARA INSTALACION (AWG)
TD-G	0,72	0,1	114	1,997	12 AWG CU	4/0 AWG AL
TD-ADM	0,72	0,1	114	1,997	12 AWG CU	6 AWG CU
TD-C&C	0,72	0,1	114	1,997	12 AWG CU	6 AWG CU
TD-TIC	0,72	0,1	114	1,997	12 AWG CU	6 AWG CU
TD-AUL	0,72	0,1	114	1,997	12 AWG CU	6 AWG CU
TD-REGULADAS	0,72	0,1	114	1,997	12 AWG CU	6 AWG CU
TD-RCI	0,72	0,1	114	1,997	12 AWG CU	1/0 AWG AL

3.3 Literal aplicable del RETIE (o) Cálculo de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia.

En las instalaciones eléctricas se presentan pérdidas de energía por diversos motivos, en el capítulo 3.1 del presente documento se estudió la perdida de energía debido a la resistencia propia de los conductores, también existen perdidas debidas al porcentaje de regulación tensión y se calculan con la Ec. 20. Las pérdidas por cada tramo de conductor se presentan en la tabla 16 de la sección 3.4.

$$P = V * I * \%V \qquad Ec. 20$$

3.4 Literal aplicable del RETIE (p) Cálculos de regulación de tensión.

- *Regulación para media tensión:*

La regulación por media tensión se hace teniendo en cuenta el nuevo tramo que se planea colocar desde la línea trifásica de media tensión existente, hasta el nuevo transformador y se muestra en la tabla 14.

Tabla 14. Selección de alimentadores por regulación de tensión en MT.

REGULACION EN MT													
ITEM	TRAMO	CARGA (kVA)	LONGITUD (m)	TENSION (V)	CALIBRE DEL CONDUCTOR	CORRIENTE NOMINAL (A)	CAPACIDAD DE FUSIBLE	CORRIENTE CORREGIDA (A)	REGULACION			CAIDA DE TENSION (V)	TENSION FINAL
									K	PARCIAL (%)	TOTAL (%)		
1	ARRANQUE EN MT - SUBESTACION 75 KVA	75	15,63	13200,00	2 ACSR	3,2804	5	4,1005	6,40E-07	7,51E-04	7,51E-04	9,91E-02	13199,90
2	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

- *Regulación para baja tensión:*

Para el cálculo por caída de tensión se tiene que considerar la diferencia de tensión entre los extremos del conductor, calculadas con base en la corriente absorbida por todos los elementos conectados al mismo y susceptibles de funcionar simultáneamente. En toda la longitud de alimentación, la magnitud de la caída de tensión no debe exceder del 5%, distribuida de la siguiente manera: 2% para alimentadores, 3% para circuitos derivados.

Para encontrar el calibre mínimo del conductor por regulación, debemos utilizar la Ec. 21 para alimentadores monofásicos (regulación de tableros monofásicos), y la Ec. 22 para alimentadores trifásicos (regulación entre subestación y armario de medidores), remitiéndonos a la tabla 310-16 de la NTC 2050, en el cual se encontrarán los calibres disponibles comercialmente.

$$S = \frac{2 * \lambda}{K * e * U_n}(mm^2)\ ;\ \lambda = \sum(L_i * P_i)\ ;\ e = \frac{e\% * U_n}{100} \qquad Ec.21$$

$$S = \frac{\lambda}{K * e * U_L}(mm^2)\ ;\ \lambda = \sum(L_i * P_i)\ ;\ e = \frac{e\% * U_L}{100} \qquad Ec.22$$

Siendo:

S= Sección del cable (mm²)
λ= Longitud virtual.
e= Caída de tensión (V)
K= Conductividad
Li= Longitud desde el tramo hasta el receptor (m)
Pi= Potencia consumida por el receptor (W)
Un= Tensión entre línea y neutro (V)

El calibre mínimo requerido por regulación de tensión entre la subestación y el equipo de medida semidirecto se presenta en la tabla 15. En esta tabla se distinguen los colores en las casillas de los tableros tipo. Los calibres de cable vistos en la tabla son lo escogidos para las acometidas parciales internas hacia cada tablero de distribución.

Tabla 15. Selección de alimentadores por regulación de tensión BT.

CALCULO DE ALIMENTADORES POR TABLERO TIPO, USANDO REGULACION DE TENSION					
TIPO	**Longitud [m]**	**Pinst [W]**	**I [Wm]**	**S [mm^2] Calibre minimo**	**Calibre Seleccionado**
TD-G	90,65	43758	3966662,70	70,652	4/0 AWG AL
TD-ADM	6,25	10502	65637,50	1,169	6 AWG CU
TD-C&C	32,5	10438	339235,00	6,042	6 AWG CU
TD-TIC	10,15	10036	101865,40	1,814	6 AWG CU
TD-AUL	26,44	6720	177676,80	3,165	6 AWG CU
TD-REGULADAS	4,32	5600	24192,00	0,431	6 AWG CU
TD-RCI	90,65	22167	2009438,55	35,791	1/0 AWG AL

Teniendo la carga y la longitud se determina el momento eléctrico con la Ec. 23, y el porcentaje de tensión con la Ec. 24. Los resultados se muestran en la tabla 16:

$$ME = kVA * L(m) \qquad Ec. 23$$

$$V\% = ME * K \qquad Ec. 24$$

Tabla 16. % de regulación de tensión.

TRAMO	POTENCIA (VA)	VOLTAJE (V)	I MAX (A)	CALIBRE (AWG)	CONSTANTE (K)	LONGITUD (l)	MOMENTO ELECTRICO	%V	PERDIDAS POR %R (W)
ARRANQUE EN MT - SUBESTACION 75 KVA	75000,00	13200,00	4,10	2 ACSR	6,403E-07	15,63	1172,25	0,0008	32,50
TD-G	48620	220	159,49	4/0 AWG AL	8,647E-04	90,65	4407,40	3,8113	106984,94
TD-ADM	11669	220	38,28	6 AWG CU	3,123E-03	6,25	72,93	0,2278	1534,54
TD-C&C	11598	220	38,05	6 AWG CU	3,123E-03	32,5	376,93	1,1772	7882,65
TD-TIC	11151	220	36,58	6 AWG CU	3,123E-03	10,15	113,18	0,3535	2275,84
TD-AUL	7467	220	24,49	6 AWG CU	3,123E-03	26,44	197,42	0,6166	2657,99
TD-REGULADAS	6222	220	20,41	6 AWG CU	3,123E-03	4,32	26,88	0,0840	301,59
TD-RCI	24630	220	80,80	1/0 AWG AL	5,647E-04	90,65	2232,71	1,2609	17930,18

4. CÁLCULO DE LA OCUPACIÓN DE DUCTOS EN CASO DE REDES SUBTERRÁNEAS.

4.1 Literal aplicable del RETIE (n) Cálculos de canalizaciones (tubos, ductos, canales y electroductos), bandejas portacables y volumen de encerramientos (cajas, conduletas, armarios, etc.)

En esta sección se calcularán los ductos necesarios en la instalación por donde van a ir los conductores desde el tablero de medida semidirecta hasta los circuitos ramales finales de la instalación, es importante analizar este ítem, ya que podremos saber exactamente qué clase de ducto y de qué tamaño podremos utilizar para cada tipo de distribución de energía, lo que nos podría dar nociones del ducto perfecto, y gracias a esta noción quizá reducir costos en la implementación de la instalación. Con la ayuda de relaciones como en la Ec. 25 hallamos el área del ducto calculado, que luego se va a comparar con los encontrados comercialmente. En la tabla 17 se presentará el análisis realizado para encontrar los ductos que se van a seleccionar para la instalación en la edificación oficial y en donde el índice de ocupación máximo es del 40% según la NTC 2050 y si el ducto tiene más de dos curvas en su trayectoria, se incrementara el calibre del ducto para facilitar su instalación.

$$Area\ del\ ducto\ calculado = \frac{Area\ total\ de\ Conductores}{Indice\ de\ ocupación} \qquad Ec. 25$$

Tabla 17. Selección de ductos para la Instalación.

CALCULOS DE LOS DUCTOS											
CATEGORIA DE DUCTOS POR	Calibre Del Conductor (AWG)	Maximo Numero De cables	Diametro [in]	Area del Conductor [in^2]	Area total de Conductores [in^2]	Indice de Ocupacion	Area del Ducto Calculado [in^2]	Diametro Del Ducto Calculado [in]	Diametro del Ducto Comercial [in]	Ducto Seleccionado Por Conveniencia y Curvas	Indice de ocupacion real
CIRCUITOS RAMALES	12	3	0,141	0,016	0,078	0,4	0,195	0,499	0,5	1/2"	0,398
	12	2	0,141	0,016							
TABLEROS DE DISTRIBUCION	6	4	0,25	0,049	0,245	0,4	0,614	0,884	1,25	1 1/4"	0,200
	6	1	0,25	0,049							
ACOMETIDA	4/0	4	0,525	0,216	0,866	0,4	2,165	1,660	4	4"	0,069

5. CÁLCULO DE LA CARGABILIDAD DE LOS TRANSFORMADORES DE ACUERDO CON EL CUADRO DE CARGA.

5.1 Literal aplicable del RETIE (c) Análisis y cálculo de cargas iniciales y futuras, incluyendo factor de potencia y armónicos.

5.1.1 Análisis de armónicos.

Las perturbaciones Armónicas, se presentan por aparatos electrónicos conectados a las instalaciones eléctricas a base de rectificadores, diodos, etc., que produzcan algún tipo de variación en las frecuencias de las señales sinusoidales, dado esto los armónicos son producidos por la conexión de cargas no lineales, que absorben corrientes no sinusoidales. En algunos casos mejoran la calidad de vida de las personas, pero aumentan la contaminación en la señal corriente del sistema eléctrico, lo que puede influir en el funcionamiento de algunas máquinas eléctricas en el sistema. En la instalación oficial sometida a análisis se hace innecesario el cálculo de armónicos presentes en la red, ya que en esta no se tienen esos elementos que producen armónicos como variadores de velocidad, convertidores AC/DC, etc., y aunque se tienen motores, y lámparas fluorescentes que producen pequeñas perturbaciones armónicas, no influyen mucho en el sistema total eléctrico, por lo que no sería necesario realizar dicho análisis.

5.1.2 Análisis de cuadros de carga iniciales y futuras.

En esta sección del cálculo y diseño de instalaciones, se adjuntarán los cuadros de carga que expresan un resumen de las cantidades de salidas de tomacorrientes e iluminación con que cuenta el diseño, además descripción de los circuitos ramales de la instalación. Contienen información acerca de las corrientes que circulan por estos circuitos ramales, halladas con la Ec. 26, y de estos cálculos se puede distinguir los tipos de protecciones que se deben colocar en los mismos, calculados con la Ec. 27, y del calibre de cables que deben ser implementados en el circuito, calculados con la Ec. 28.

$$In\ (A) = \frac{P(W)}{Tension(V) * factor\ de\ potencia}; para\ monofasicos \qquad Ec.26$$

$$In\ (A) = \frac{P(W)}{\sqrt{3} * Tension(V) * factor\ de\ potencia}; para\ trifasicos$$

$$Iprotección\ (A) = 1.15 * In\ (A) \qquad Ec.27$$

$$Icable\ (A) = 1.25 * In\ (A) \qquad Ec.28$$

5.1.2.1 Cuadros de Carga para la Instalación.

Para realizar los cuadros de carga de los tableros de distribución del Colegio, se toma en cuenta que existen TD-tipo (de aquí en adelante se realizaran los cálculos pertinentes de esa forma) y sus cargas se pueden agrupar de la siguiente manera:

- **Tablero del área administrativa (TD-ADM)**
- **Tablero del área de comedor y cocina (TD-C&C)**
- **Tablero del área de aulas de informática (TD-TIC)**
- **Tablero del área de aulas estudiantiles (TD-AUL)**
- **Tablero de tomacorrientes reguladas (TD-REGULADAS)**
- **TD-RCI:** Tablero de red contraincendios.
- **TD-G:** Tablero general de Acometidas.

En las tablas 18 a la 23 se expresan los valores encontrados con las anteriores ecuaciones y toda la información pertinente acerca de protecciones y calibres de cables de los diferentes tableros de distribución de la instalación con que cuenta la institución educativa, además de la configuración de los circuitos ramales de tomas e iluminación.

Tabla 18. Cuadros de carga del tablero de distribución del área administrativa (tablero de 12 circuitos).

CUADRO DE CARGAS DE TABLERO DE DISTRIBUCION DE ZONA ADMINISTRATIVA Y SALA DE PROFESORES 1ER PISO (12 CIRCUITOS TRIFASICOS)																			
Cto	LAMPARA DE EMERGENCIA LED (3 W)	INSAVER TOPPER LED SYLVANIA (12 W)	HERMETICA 2X18 LED SYLVANIA (36 W)	TOMACORRIENTES				P [W]	FASES			TENSION [V]	Fp	I[A]	I Protec [A]	PROTEC [A]	I cable [A]	CABLE (a 60·C)	OBSERVACIONES
				MENORES (180 W)	REGULADAS (200 W)	ESPECIALES (3ø) (2500 W)	ESPECIALES (GFCI) (180 W)		R	S	T								
1	0	2	13	0	0	0	0	492	492			127	0,9	4,30	4,95	1X20	5,38	12 AWG	ILUMINACION ZONA ADMINISTRATIVA
2	0	10	9	0	0	0	0	444		444		127	0,9	3,88	4,47	1X20	4,86	12 AWG	ILUMINACION OFICINAS Y BAÑOS
3	0	0	0	8	0	0	0	1440			1440	127	0,9	12,60	14,49	1X20	15,75	12 AWG	TOMACORRIENTES (Pagaduria y sala de juntas)
4	0	0	0	5	0	0	1	1080	1080			127	0,9	9,45	10,87	1X20	11,81	12 AWG	TOMACORRIENTES (Rectoria)
5	0	0	0	8	0	0	0	1440		1440		127	0,9	12,60	14,49	1X20	15,75	12 AWG	TOMACORRIENTES (Recepcion y sala de espera)
6	0	0	0	4	0	0	1	900			900	127	0,9	7,87	9,06	1X20	9,84	12 AWG	TOMACORRIENTES (Cocineta)
7	0	0	0	8	0	0	0	1440	1440			127	0,9	12,60	14,49	1X20	15,75	12 AWG	TOMACORRIENTES (Generales sala de profesores)
8	0	0	0	6	0	0	0	1080		1080		127	0,9	9,45	10,87	1X20	11,81	12 AWG	TOMACORRIENTES (Mesas sala de profesores)
9	0	0	0	4	0	0	1	900			900	127	0,9	7,87	9,06	1X20	9,84	12 AWG	TOMACORRIENTES (Bateria de baños)
10	0	0	12	0	0	0	0	432		432		127	0,9	3,78	4,35	1X20	4,72	12 AWG	ILUMINACION SALA DE PROFESORES
11	0	17	0	0	0	0	0	204	204			127	0,9	1,78	2,05	1X20	2,23	12 AWG	ILUMINACION BATERIA DE BAÑOS
12	0	0	0	0	0	0	0	0				127	0,9	0,00	0,00		0,00		RESERVAS
TOTAL	**0**	**29**	**34**	**43**	**0**	**0**	**3**	**9852**	**3216**	**3396**	**3240**	**220**	**0,9**	**28,73**	**33,04**	**3X50**	**35,91**	**6 AWG**	**GENERAL**

Tabla 19. Cuadros de carga del tablero de distribución del área de comedor y cocina (tablero de 12 circuitos).

CUADRO DE CARGAS DE TABLERO DE DISTRIBUCION DE COMEDOR Y COCINA 1ER PISO (12 CIRCUITOS TRIFASICOS)																			
Cto	LAMPARA DE EMERGENCIA LED (3 W)	INSAVER TOPPER LED SYLVANIA (12 W)	HERMETICA 2X18 LED SYLVANIA (36 W)	TOMACORRIENTES				P [W]	FASES			TENSION [V]	Fp	I[A]	I Protec [A]	PROTEC [A]	I cable [A]	CABLE (a 60·C)	OBSERVACIONES
				MENORES (180 W)	REGULADAS (200 W)	ESPECIALES (3ø) (2500 W)	ESPECIALES (GFCI) (180 W)		R	S	T								
1	0	0	15	0	0	0	0	540			540	127	0,9	4,72	5,43	1X20	5,91	12 AWG	ILUMINACION COMEDOR # 1
2	0	0	15	0	0	0	0	540		540		127	0,9	4,72	5,43	1X20	5,91	12 AWG	ILUMINACION COMEDOR # 2
3	0	2	15	0	0	0	0	564			564	127	0,9	4,93	5,67	1X20	6,17	12 AWG	ILUMINACION COCINA
4	0	0	0	6	0	0	0	1080	1080			127	0,9	9,45	10,87	1X20	11,81	12 AWG	TOMACORRIENTES (Comedor & tarima # 1)
5	0	0	0	6	0	0	0	1080			1080	127	0,9	9,45	10,87	1X20	11,81	12 AWG	TOMACORRIENTES (Comedor & tarima # 2)
6	0	0	0	1	0	0	2	540		540		127	0,9	4,72	5,43	1X20	5,91	12 AWG	TOMACORRIENTES (Lavado y basuras)
7	0	0	0	4	0	0	3	1260	1260			127	0,9	11,02	12,68	1X20	13,78	12 AWG	TOMACORRIENTES (Cocina)
9	0	0	0	2	0	0	0	1492		1492		127	0,9	13,05	15,01	1X20	16,32	12 AWG	TOMACORRIENTES (Refrigeradores)
8,10,12	0	0	0	0	0	1	0	2500	833,3	833,33	833,3	220	0,9	7,29	8,38	3X30	9,11	10 AWG	TOMACORRIENTES (Trifasica tarima)
11	0	0	0	0	0	0	0	0				127	0,9	0,00	0,00		0,00		RESERVA
TOTAL	**0**	**2**	**45**	**19**	**0**	**1**	**5**	**9596**	**3173**	**3405,3**	**3017**	**220**	**0,9**	**27,98**	**32,18**	**3X50**	**34,98**	**6 AWG**	**GENERAL**

Tabla 20. Cuadros de carga del tablero de distribución del área de biblioteca (tablero de 12 circuitos).

CUADRO DE CARGAS DE TABLERO DE DISTRIBUCION DE BIBLIOTECA Y AULA TIC 2DO PISO (12 CIRCUITOS TRIFASICOS)																			
Cto	LAMPARA DE EMERGENCIA LED (3 W)	INSAVER TOPPER LED SYLVANIA (12 W)	HERMETICA 2X18 LED SYLVANIA (36 W)	TOMACORRIENTES				P [W]	FASES			TENSION [V]	Fp	I[A]	I Protec [A]	PROTEC [A]	I cable [A]	CABLE (a 60·C)	OBSERVACIONES
				MENORES (180 W)	REGULADAS (200 W)	ESPECIALES (3ø) (2500 W)	ESPECIALES (GFCI) (180 W)		R	S	T								
1	0	0	15	0	0	0	0	540	540			127	0,9	4,72	5,43	1X20	5,91	12 AWG	ILUMINACION BIBLIOTECA
2	0	0	9	0	0	0	0	324		324		127	0,9	2,83	3,26	1X20	3,54	12 AWG	ILUMINACION AULA TIC
3	0	17	0	0	0	0	0	204			204	127	0,9	1,78	2,05	1X20	2,23	12 AWG	ILUMINACION BATERIA DE BAÑOS
4	0	0	0	8	0	0	0	1440	1440			127	0,9	12,60	14,49	1X20	15,75	12 AWG	TOMACORRIENTES (Generales Biblioteca # 1)
5	0	0	0	4	0	0	0	720			720	127	0,9	6,30	7,24	1X20	7,87	12 AWG	TOMACORRIENTES (Generales Biblioteca # 2)
6	0	0	0	5	0	0	0	900		900		127	0,9	7,87	9,06	1X20	9,84	12 AWG	TOMACORRIENTES (Mesas Biblioteca)
7	0	0	0	6	0	0	0	1080	1080			127	0,9	9,45	10,87	1X20	11,81	12 AWG	TOMACORRIENTES (Generales aula TIC)
8	0	0	0	6	0	0	0	1080		1080		127	0,9	9,45	10,87	1X20	11,81	12 AWG	TOMACORRIENTES (Mesas aula TIC # 1)
9	0	0	0	6	0	0	0	1080			1080	127	0,9	9,45	10,87	1X20	11,81	12 AWG	TOMACORRIENTES (Mesas aula TIC # 2)
10	0	0	0	6	0	0	0	1080			1080	127	0,9	9,45	10,87	1X20	11,81	12 AWG	TOMACORRIENTES (Mesas aula TIC # 3)
11	0	0	0	4	0	0	1	900		900		127	0,9	7,87	9,06	1X20	9,84	12 AWG	TOMACORRIENTES (Bateria de baños)
12	0	0	0	0	0	0	0	0				127	0,9	0,00	0,00		0,00		RESERVA
TOTAL	**0**	**17**	**24**	**45**	**0**	**0**	**1**	**9348**	**3060**	**3204**	**3084**	**220**	**0,9**	**27,26**	**31,35**	**3X50**	**34,07**	**6 AWG**	**GENERAL**

Tabla 21. Cuadros de carga del tablero de distribución del área de aulas (tablero de 12 circuitos).

CUADRO DE CARGAS DE TABLERO DE DISTRIBUCION DE AULAS 2DO PISO (12 CIRCUITOS TRIFASICOS)																				
Cto	LAMPARA DE EMERGENCIA LED (3 W)	INSAVER TOPPER LED SYLVANIA (12 W)	HERMETICA 2X18 LED SYLVANIA (36 W)	TOMACORRIENTES				P [W]	FASES			TENSION [V]	Fp	I[A]	I Protec [A]	PROTEC [A]	I cable [A]	CABLE (a 60 ·C)	OBSERVACIONES
				MENORES (180 W)	REGULADAS (200 W)	ESPECIALES (3ø) (2500 W)	ESPECIALES (GFCI) (180 W)		R	S	T								
1	0	0	9	0	0	0	0	324	324			127	0,9	2,83	3,26	1X20	3,54	12 AWG	ILUMINACION AULA TIPO # 1
2	0	0	9	0	0	0	0	324			324	127	0,9	2,83	3,26	1X20	3,54	12 AWG	ILUMINACION AULA TIPO # 2
3	0	0	9	0	0	0	0	324			324	127	0,9	2,83	3,26	1X20	3,54	12 AWG	ILUMINACION AULA TIPO # 3
4	0	0	9	0	0	0	0	324	324			127	0,9	2,83	3,26	1X20	3,54	12 AWG	ILUMINACION AULA TIPO # 4
5	0	0	0	6	0	0	0	1080		1080		127	0,9	9,45	10,87	1X20	11,81	12 AWG	TOMACORRIENTES (Aula tipo # 1)
6	0	0	0	6	0	0	0	1080			1080	127	0,9	9,45	10,87	1X20	11,81	12 AWG	TOMACORRIENTES (Aula tipo # 2)
7	0	0	0	6	0	0	0	1080	1080			127	0,9	9,45	10,87	1X20	11,81	12 AWG	TOMACORRIENTES (Aula tipo # 3)
8	0	0	0	6	0	0	0	1080		1080		127	0,9	9,45	10,87	1X20	11,81	12 AWG	TOMACORRIENTES (Aula tipo # 4)
9,10,11,12	0	0	0	0	0	0	0	0				127	0,9	0,00	0,00		0,00		RESERVA
TOTAL	**0**	**0**	**36**	**24**	**0**	**0**	**0**	**5616**	**1728**	**2160**	**1728**	**220**	**0,9**	**16,38**	**18,83**	**3X50**	**20,47**	**6 AWG**	**GENERAL**

Tabla 22. Cuadros de carga del tablero de distribución de tomacorrientes reguladas (tablero de 12 circuitos).

CUADRO DE CARGAS DE TABLERO DE DISTRIBUCION DE REGULADAS 1ER PISO (12 CIRCUITOS TRIFASICOS)																			
Cto	LAMPARA DE EMERGENCIA LED (3 W)	INSAVER TOPPER LED SYLVANIA (12 W)	HERMETICA 2X18 LED SYLVANIA (36 W)	TOMACORRIENTES				P [W]	FASES			TENSION [V]	Fp	I[A]	I Protec [A]	PROTEC [A]	I cable [A]	CABLE (a 60 ·C)	OBSERVACIONES
				MENORES (180 W)	REGULADAS (200 W)	ESPECIALES (3ø) (2500 W)	ESPECIALES (GFCI) (180 W)		R	S	T								
1	0	0	0	0	4	0	0	800	800			127	0,9	7,00	8,05	1X20	8,75	12 AWG	TOMACORRIENTES REGULADAS (Administrativo)
2	0	0	0	0	6	0	0	1200		1200		127	0,9	10,50	12,07	1X20	13,12	12 AWG	TOMACORRIENTES REGULADAS (S. profesores)
3	0	0	0	0	7	0	0	1400			1400	127	0,9	12,25	14,09	1X20	15,31	12 AWG	TOMACORRIENTES REGULADAS (Biblioteca)
4	0	0	0	0	7	0	0	1400	1400			127	0,9	12,25	14,09	1X20	15,31	12 AWG	TOMACORRIENTES REGULADAS (A. TIC)
5	0	0	0	0	4	0	0	800			800	127	0,9	7,00	8,05	1X20	8,75	12 AWG	TOMACORRIENTES REGULADAS (Aulas)
6,7,8,9,10,11,12	0	0	0	0	0	0	0	0				127	0,9	0,00	0,00		0,00		RESERVA
TOTAL	**0**	**0**	**0**	**0**	**28**	**0**	**0**	**5600**	**2200**	**1200**	**2200**	**127**	**0,9**	**48,99**	**56,34**	**3X50**	**61,24**	**6 AWG**	**GENERAL**

Tabla 23. Cuadro de carga de la potencia total instalada.

CUADRO DE CARGAS DE TABLERO DE DISTRIBUCION GENERAL (21 CIRCUITOS TRIFASICOS)																			
Cto	LAMPARA DE EMERGENCIA LED (3 W)	INSAVER TOPPER LED SYLVANIA (18 W)	HERMETICA 2X25 LED SYLVANIA (50 W)	TOMACORRIENTES				P [W]	FASES			TENSION [V]	Fp	I[A]	I Protec [A]	PROTEC [A]	I cable [A]	CABLE (a 60 ·C)	OBSERVACIONES
				MENORES (180 W)	REGULADAS (200 W)	ESPECIALES (3ø) (2500 W)	ESPECIALES (GFCI) (180 W)		R	S	T								
1	0	12	0	0	0	0	0	216		216		127	0,9	1,89	2,17	1X20	2,36	12 AWG	ILUMINACION PASILLOS 1ER PISO
2	0	12	0	0	0	0	0	216		216		127	0,9	1,89	2,17	1X20	2,36	12 AWG	ILUMINACION PASILLOS 2DO PISO
3	10	0	0	0	0	0	0	30			30	127	0,9	0,26	0,30	1X20	0,33	12 AWG	ILUMINACION DE EMERGENCIA
4,6,8	0	29	34	43	0	0	3	10502	3512	3750	3240	220	0,9	30,623	35,2163	3X50	38,2786	6 AWG CU	TD ADM
5,7,9	0	2	49	19	0	1	5	10438	3173	3615,3	3649	220	0,9	30,436	35,0017	3X50	38,0453	6 AWG CU	TD C&C
10,12,14	0	17	29	45	0	0	1	10036	3520	3330	3186	220	0,9	29,264	33,6537	3X50	36,5801	6 AWG CU	TD TIC
11,13,15	0	0	48	24	0	0	0	6720	2280	2160	2280	220	0,9	19,595	22,5342	3X50	24,4936	6 AWG CU	TD AUL
16,18,20	0	0	0	0	28	0	0	5600	2200	1200	2200	127	0,9	48,994	56,343	3X50	61,2423	6 AWG CU	TD REGULADAS
17,19,21	0	0	0	0	0	0	0	0				127	0,9	0,00	0,00		0,00		RESERVA
TOTAL	**10**	**72**	**160**	**131**	**28**	**1**	**9**	**43758**	**14685**	**14487**	**14585**	**220**	**0,9**	**127,59**	**146,73**	**3X150**	**159,49**	**4/0 AWG AL**	**GENERAL**

5.1.3 Demanda máxima.

5.1.3.1 Demanda máxima para la Instalación.

Para el cálculo de demanda máxima por la instalación eléctrica, se utiliza Ec. 29 partiendo de las condiciones de la tabla 24, para las cargas monofásicas, en este caso para las salidas de iluminación y tomacorrientes.

Tabla 24. Método opcional para calcular los factores de demanda de los conductores de alimentadores y de acometidas en instituciones de enseñanza; Tabla 220-34 NTC2050

Carga conectada en VA por metro cuadrado	Factor de demanda %
Los primeros 32 VA/metro cuadrado	100
Desde 32 hasta 215 VA/metro cuadrado	75
Más de 215 VA/metro cuadrado	25

$$Dmaxuniv = (32 * 1) + ((183) * 0.75) + ((215 - potinst) * 0.25) \qquad Ec.\ 29$$

A diferencia de la demanda máxima de las cargas monofásicas, para cálculos en las zonas de servicios comunes, para algún aparato especial, sin importar la potencia instalada, el factor de demanda es del 100% para este tipo de cargas, encontrado en la tabla 220-13 de la NTC 2050, para factores de demanda para cargas de tomacorrientes en sectores y edificaciones no residenciales, en la tabla 25 se muestra la demanda máxima de los mismos.

Tabla 25. Demanda máxima de la Instalación.

CARGA DIVERSIFICADA DE TABLERO DE DISTRIBUCION GENERAL (36 CIRCUITOS TRIFASICOS)																			
Cto	LAMPARA DE EMERGENCIA LED (3 W)	INSAVER TOPPER LED SYLVANIA (18 W)	HERMETICA 2X25 LED SYLVANIA (50 W)	TOMACORRIENTES				P [W]	FASES			TENSION [V]	Fp	I[A]	I Protec [A]	PROTEC [A]	I cable [A]	CABLE (a 60 ·C)	OBSERVACIONES
				MENORES (180 W)	REGULADAS (200 W)	ESPECIALES (3ø) (2500 W)	ESPECIALES (GFCI) (180 W)		R	S	T								
TOTAL	10	72	160	131	28	1	9	47665,00	16105,48	15888,33	15781,58	220	0,9	125,09	143,85	3X150	156,36	4/0 AWG	GENERAL

% DE BALANCEO DE CARGAS		
	FASE R - FASE S	0,088748644
	FASE S - FASE T	1,554480853
	FASE R - FASE T	1,641849916

5.2 Literal aplicable del RETIE (h) Cálculo de transformadores incluyendo efectos de los armónicos y factor de potencia en la carga.

5.2.1 Transformador de Tensión

Los transformadores son aquellos elementos de enlace entre los generadores del sistema de potencia, y las líneas de transmisión, además de ser los encargados de regular un cambio de tensión para un uso en específico y entregarle un servicio eficaz al usuario que demanda energía, pueden reducir o aumentar el nivel de tensión, dependiendo del uso final de la energía. En esta sección de la memoria de cálculo se dimensionará el transformador, teniendo en cuenta los requerimientos exigidos en la NTC2050, acerca de cómo calcular la demanda máxima según sea el tipo de carga a diversificar. En la sección 220 se especifican los factores de diversificación con los que se reducirá la potencia total instalada y de esta manera calcular el transformador de la forma más óptima y que cumpla con la demanda de corriente y tensión que necesita la construcción. En la tabla 26 se muestran algunos valores de transformadores comerciales en Colombia.

Tabla 26. Valores de potencia comerciales en Colombia.

TRANSFORMADORES TRIFASICOS 13,2 KV o 11,4 KV-0,208/0,120 kV	TRANSFORMADORES MONOFASICOS 13,2 KV o 11,4 KV, 7,6 Kv o 6,6 kV -0,208/0,120kV
15 KVA	5 KVA
30 KVA	10 KVA
45 KVA	15 KVA
75 KVA	25 KVA
112,5 KVA	37,5 KVA
150 KVA	50 KVA

Para dimensionar el transformador, tenemos en cuenta la carga diversificada calculada en el punto 5.1.3 del presente documento, ya que esta es la carga que va a demandar la instalación, y con este valor encontrar una potencia comercial de transformador, tal y como se muestra en la tabla 27.

Tabla 27. Dimensionamiento del transformador.

CARGA	POTENCIA DIVERSIFICADA (kVA)
TD ADM	11668,89
TD C&C	11597,78
TD TIC	11151,11
TD AUL	7466,67
TD REGULADAS	6222,22
TD-RCI	24630,00
TOTAL	72736,67
TRANSFORMADOR ESCOGIDO	**75 kVA**

Algunos de los datos técnicos que se deben anexar al dimensionamiento son:

- **Corriente por M.T.:** 3,28 A.
- **Corriente por B.T.:** 208,18 A.
- **Tensión por M.T.:** 13200 V.
- **Tensión por B.T.:** 220/127 V.
- **Conductor por M.T.:** Calibre # 2 AWG ACSR.
- **Conductor por B.T.:** Calibre # 1/0 AWG THWN en cobre hasta equipo de medida de ahí en adelante # 4/0 AWG en aluminio de medidor a TDG.
- **Conexión:** DYn5, Sumergido en Aceite, montaje en poste.
- **Protección en M.T:** Se deberá colocar una protección de arranque fusible tipo K (rápido) de 5 A.
- **Protección en B.T.:** Se colocará una protección regulable de 140 a 200 A (CVS250B) y se va a ajustar a 150 A con el alimentador principal de acometida calibre # 1/0 AWG a 75 C. Para el RCI se dimensiona una protección magnética de 350A.

Con los datos recopilados en la tabla 27 se calcula o se dimensiona un transformador de 75 kVA con refrigeración en aceite de tipo poste, con el cual se puede proporcionar un buen servicio a la instalación oficial. Una vez seleccionado la carga del trasformador, se dimensionará la estructura con todos los componentes necesarios para el correcto funcionamiento del mismo y que garanticen seguridad en el trabajo del transformador. En la figura 10 se muestra la disposición del transformador, los equipos de seccionamiento y equipos mecánicos de sujeción.

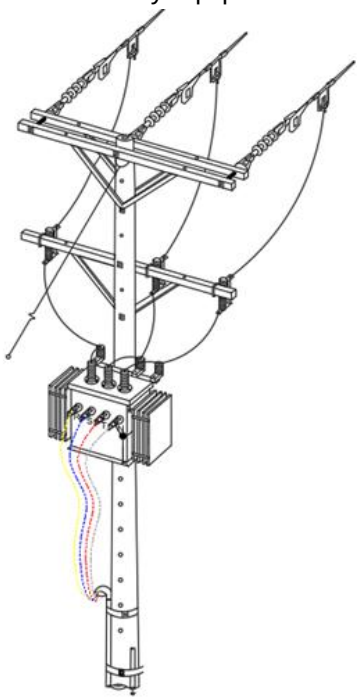


Figura 10. Estructura de transformador de 75 kVA y disposición de equipos.

6. ESTUDIOS DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES SI SE REQUIERE.

6.1 Literal aplicable del RETIE (e) Análisis y cálculos de cortocircuito, arco eléctrico y falla a tierra.

Para el estudio de cortocircuito, será necesario guiarse de las indicaciones del cuaderno técnico número 158 de Schneider-Electric, en el cual se dan los parámetros de cálculo de las Ec. 30 a la Ec. 49.

RED AGUAS ARRIBA:

Partimos del conocimiento de una corriente de corto circuito en el punto de la red de M.T dada por el operador de red, y el análisis de la red aguas arriba del transformador se muestra de las Ec. 30 a la Ec. 34. Esta corriente fue de:

$\boxed{Icc = 1{,}05\ kA}$

$$Scc = \sqrt{3} * Icc[KA] * U[KV] \qquad Ec.30$$

$$Scc = \sqrt{3} * 1{,}05[KA] * 13{,}2[KV] \qquad Ec.31$$

$\boxed{Scc = 24{,}01\ MvA}$

$$Za = \frac{U^2}{S_{cc}} = \frac{13200^2}{24{,}01 * 10^6} = 7.26\ \Omega \qquad Ec.32$$

En 13,2 KV: $\frac{Ra}{Za} = 0{,}2$

$$Ra = 0{,}2 * Za \qquad Ec.33$$

$$Ra = 1{,}45\ \Omega$$

$$Xa = \sqrt{Za^2 - Ra^2} = \sqrt{7{,}26^2 - 1.45^2} = 7{,}11\ \Omega \qquad Ec.34$$

TRANSFORMADOR:

Luego de las Ec. 35 a la Ec. 44, se presenta el análisis de resistencias e Impedancias que conforman o de las que se dispone para el análisis de corto circuito en el transformador.

$$\left(\frac{220}{13200}\right)^2 = 0{,}25 * 10^{-3} \qquad Ec.35$$

$$R1 = (0{,}25 * 10^{-3}) * Ra = \ 0{,}528\ m\Omega \qquad Ec.36$$

$$X1 = (0{,}25 * 10^{-3}) * Xa = 2{,}595\ m\Omega \qquad Ec.37$$

Como S_T <630 kVA.

Entonces: $Z_{CC} = \ 0{,}04$

$$Z_T = \frac{Z_{CC*} U^2}{100 * S_{transformador}} = \frac{4 * 220^2}{100 * 75000} = 38{,}46\ m\Omega \qquad Ec.38$$

Basados en la NTC 2135 el coeficiente de pérdidas en el arrollamiento de cobre para un transformador es del 2% de la potencia nominal del transformador más cierto porcentaje de error. Para un transformador de 75 kVA se dan pérdidas de 980 W.

Entonces W_{c*}= 980 W

$$R_T = \frac{W_{c*}}{3 * {I_n}^2} = \frac{980}{3 * \left(\frac{75000}{\sqrt{3} * 220}\right)^2} = 20{,}94\ m\Omega \qquad Ec.39$$

$$XT = \sqrt{ZT^2 - RT^2} = \sqrt{38{,}46^2 - 20{,}94^2} = 32.26\ m\Omega \qquad Ec.40$$

$$Z_{CC1} = \sqrt{(R1 + RT)^2 + (X1 + XT)^2} \qquad Ec.41$$

$$Z_{CC1} = 21{,}12 + j33{,}15 \qquad Ec.42$$

$$Z_{CC1} = 39{,}31\ m\Omega$$

La corriente de cortocircuito en los bornes de Baja Tensión del transformador es:

$$Icc2 = \frac{U}{\sqrt{3} * Z_{cc1}} = \frac{208}{\sqrt{3} * (0{,}04103)} = 2{,}93\ kA \qquad Ec.43$$

$$\frac{R_{cc1}}{X_{cc1}} = 0{,}64 \quad ; \quad k = 1{,}17$$

$$IccBT = 1{,}61 * \sqrt{2} * 2{,}93\ kA = 6{,}67\ kA$$

La corriente de cortocircuito en los bornes de Media Tensión del transformador es:

$$Icc1 = \frac{Icc2}{n} = \frac{6{,}67\ kA}{\left(\frac{13200}{220}\right)} = 0{,}105\ kA \qquad Ec.44$$

DEFECTO A: Barraje tablero de distribución general de acometidas:

Luego se procede a realizar el análisis de cortocircuito en el barraje del tablero general de acometidas tal y como se muestra en las Ec. 45 a Ec. 49

$$R_{TDG} = 0{,}0225 * \frac{42.23}{107} = 14{,}10\ m\Omega \qquad Ec.45$$

$$X_{TDG} = 0{,}085 * (23.54) = 2.01\ m\Omega \qquad Ec.46$$

$$Z_{CC2} = \sqrt{(R1 + RT + R_{TDG})^2 + (X1 + XT + X_{TDG})^2} \qquad Ec.47$$

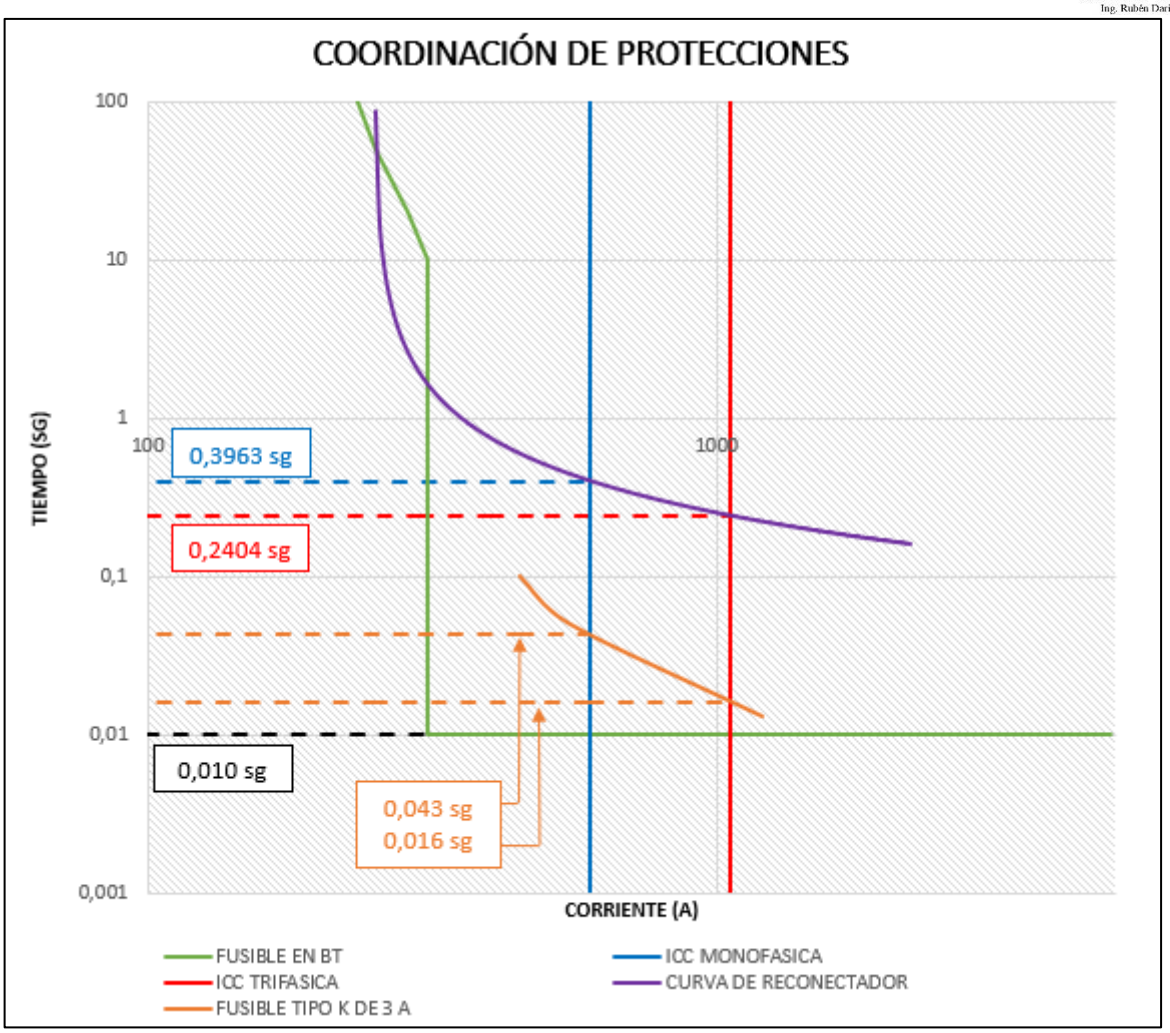
$$Z_{CC2} = 29.51 + j36.87 \qquad Ec.48$$

$$Z_{CC2} = 47{,}23\ m\Omega$$

$$I_{CCTDG} = \frac{U}{\sqrt{3} * Z_{CC2}} = \frac{220}{\sqrt{3} * (0{,}04723)} = 2.54\ kA \qquad Ec.49$$

6.2 Literal aplicable del RETIE (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 la figura 11 se presenta la coordinación de protecciones. En esta se toma en cuenta la protección de BT, el fusible de arranque en MT, además se muestra la curva del reconectador (datos proporcionados por el operador de red EBSA SA), y las corrientes de corto circuito tanto monofásica como trifásica proporcionada por el operador de red. En las tablas 28 a la 30, se entregan los valores de los datos tabulados para obtener las curvas de protección y su posterior análisis.



ICC TRIFÁSICA.
ICC MONOFÁSICA.
PROTECCIÓN EN BT.
FUSIBLE DE 5A EN CIRCUITO DE ARRANQUE EN MT.
CURVA DE RECONECTADOR EBSA.

Figura 11. Curvas de coordinación de protecciones.

Para graficar la curva ajustada del reconectador del circuito 14951 (Cto. Pauna) de la subestación Pauna, la empresa de energía de Boyacá proporcionó los siguientes datos: **I pickup**: 45 A, **time dial:** 0,05 sg, **I instantánea:** 250 A. para realizar una curva IEC normalmente inversa.

Tabla 28. Curva reconectador EBSA SA.

I INPUT (A)	TRIP TIME (sg)
251	87,67138361
300	1,916187359
350	1,03670862
400	0,741180584
450	0,591960992
500	0,501451351
550	0,44041399
600	0,396296049

650	0,362807126
700	0,336443441
750	0,315096546
800	0,29742038
850	0,282514462
900	0,269753099
950	0,25868765
1000	0,248987805
1050	0,240404816
1100	0,232747663
1150	0,22586714
1200	0,219644941
1250	0,213986004
1300	0,208813031
1350	0,204062498
1400	0,199681688

La curva de tiempo-corriente satisface los valores de corriente máxima necesaria para fundir el elemento de protección en tres tiempos: 300 segundos, a 10 segundos, y el tercero a 0.1 segundos para fusibles de 100 A y menores. Los fusibles tipo K presentados en la figura 18, poseen relaciones de velocidad que varían desde 6 a 8.1 para corrientes nominales entre 6 a 200 A nominales. Fue necesario dimensionar algunos tiempos menores a 0.1 segundos para observar el comportamiento de los fusibles con respecto a las demás protecciones.

Tabla 29. Curva protecciones fusibles tipo K de arranque de 3 A.

FUSIBLE TIPO K DE 3 A	
CORRIENTE	**TIEMPO**
450	0,1
550	0,05
1200	0,013

Para la protección en baja tensión se seleccionó un Breaker industrial regulado ajustado a 150 A.

Tabla 30. Curva protecciones fusibles de 150 A en BT.

PROTECCION EN BT		
150A		
CORRIENTE	**TIEMPO**	**Ir**
200,00	1000	1,7
206,00	500	1,8
221,23	200	2,2
234,20	100	2,8
251,50	50	3,5
285,79	20	6
310,85	10	10
310,85	5	10
310,85	2,7	10
310,85	1,6	10
310,85	0,01	10
608,50	0,01	100
4900,00	0,01	180

Con este estudio de coordinación se puede observar que la protección en BT de 150 A ubicado en el tablero de medida semidirecta, reaccionará primero en caso de falla y se accionará a los 0,01 sg. Llegado el caso de que no responda la protección de BT en caso de falla, entraría en acción el fusible tipo K de 3 A en el arranque de MT a los 0,016 sg, estas protecciones están en capacidad de responder si ocurre alguna falla grave en la instalación, dependiendo también de las corrientes de corto circuito en los bornes tanto de alta como de baja del transformador calculados en la sección 3.8 del presenta documento. Si ya existe alguna falla en la red de MT y esta falla es muy grave se accionaria la protección en la subestación general Hunza a los 0,2404 sg de ocurrida la falla, contrastada con la corriente de falla trifásica y monofásica facilitada por la empresa de energía de Boyacá EBSA SA.

La coordinación de protecciones en BT se realizó en el programa “Ecodial Advance Calculation ES”, en el cual se dimensionaron las protecciones colocadas en el diagrama unifilar (planos anexos). En esta sección de la memoria de cálculo se mostrarán las curvas de las protecciones, y dependiendo de estas concluir si tienen selectividad parcial o completa, esto se llevará a cabo con los valores que le proporcionaremos al software, acorde con los datos de diseño encontrados en los cuadros de carga de las secciones anteriores. En primer lugar, encontramos en la figura 12 las protecciones generales de los armarios de medida, o protecciones generales de la instalación. La protección general de 150 A debe reaccionar ante de una falla en última instancia por BT. Cada armario cuenta con una protección de sus respectivas cuentas y cargas en el tablero general de acometidas de 50, 63 y 70 A las cuales reaccionaran en menor tiempo que la protección general de 150 A.

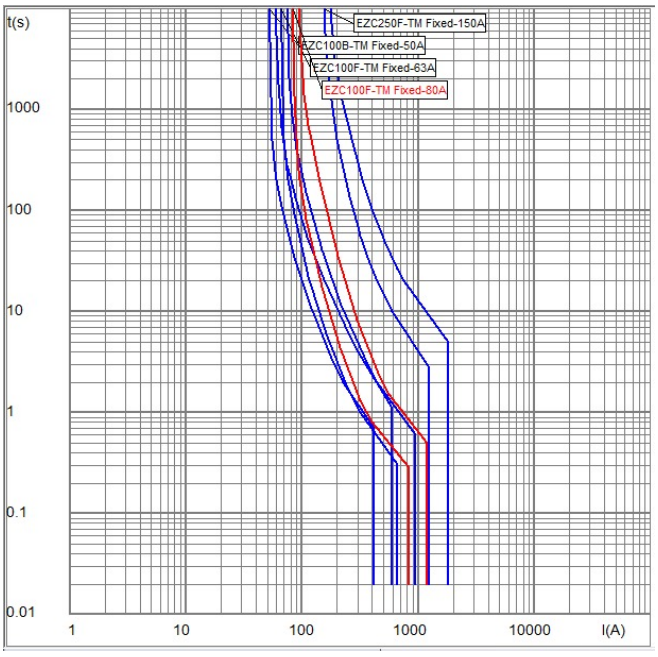


Figura 12. Curvas de coordinación de protecciones por BT.

En esta sección de la memoria de cálculo, se analizan los valores de las protecciones de los circuitos ramales referentes a las salidas de tomacorrientes y alumbrado (monofásico, trifásico) de la instalación, con respecto a las protecciones por cada una de las cuentas. En la figura 13 se muestra la selectividad de la protección de 20 A pertenecientes a los tableros de medidores y de las salidas monofásicas con respecto a las protecciones generales de las cuentas de 40 y 50 A, en esta figura se visualiza que las protecciones tienen selectividad completa, lo que le da una mayor confianza en la implementación del sistema.

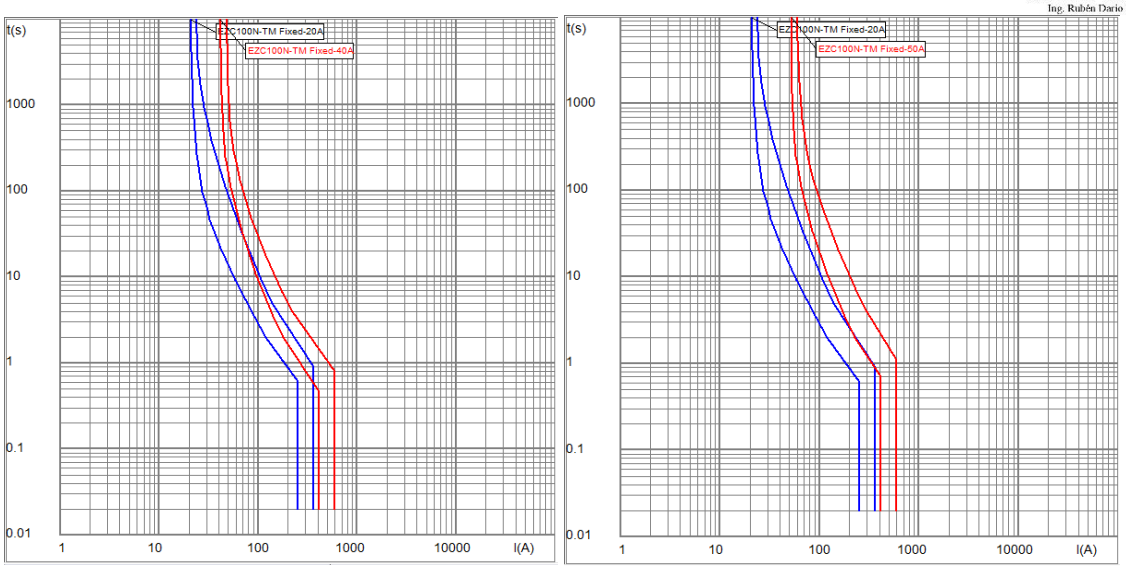


Figura 13. Circuitos ramales de los AM Vs Generales, protección de 20 A de circuitos ramales.

7. ESTUDIO DE CALIDAD DE POTENCIA. LA CONEXIÓN DE UN NUEVO CLIENTE NO DEBE GENERAR SOBRETENSIONES, INTERRUPCIONES DE SEGUNDOS, VARIACIONES DE FRECUENCIA, DISTORSIONES DE ARMÓNICOS Y FACTOR DE POTENCIA QUE AFECTEN A OTROS CLIENTES.

Los estudios realizados en el presente documento de factor de potencia, cálculo de armónicos y corrientes de corto circuito generalizan la idea de no ser necesario el estudio de flujo de carga y calidad de potencia, el usuario proyectado tiene disponibilidad en MT lo que garantiza que la alimentación está en capacidad de suplir la carga sin necesidad de afectar la integridad eléctrica de la línea existente.

8. ESTUDIOS DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS CUANDO APLIQUE, DE ACUERDO CON NORMAS AMBIENTALES O CUANDO APLIQUE DE ACUERDO CON EL RETIE.

8.1 Literal aplicable del RETIE (g) Cálculos de campos electromagnéticos.

En el titulo 11 del RETIE, se conceptualiza el análisis de campos electromagnéticos como 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. Se ha demostrado que los campos electromagnéticos de bajas frecuencias (0 a 300Hz) no producen efectos nocivos en los seres vivos. Las instalaciones del sistema eléctrico a 60 Hz producen campos electromagnéticos a esta frecuencia, lo que permite medir o calcular el campo eléctrico y el campo magnético en forma independiente.

- **Campo Eléctrico:** Es una alteración del espacio, que hace que las partículas cargadas, experimenten una fuerza debido a su carga, es decir, si en una región determinada una carga eléctrica experimenta una fuerza, entonces en dicha región hay un campo eléctrico. A este campo también se le conoce como campo electrostático debido a que su intensidad en un punto no depende del tiempo. La intensidad del campo eléctrico en un punto depende del nivel de tensión de la instalación y de la distancia a ésta, así: A mayor tensión mayor intensidad de campo eléctrico, y a mayor distancia menor intensidad de campo eléctrico.

La intensidad del campo eléctrico se mide en (V/m) o (kV/m). Esta medida representa el efecto eléctrico sobre una carga presente en algún punto del espacio.

- **Campo magnético:** Es una alteración del espacio que hace que en las cargas eléctricas en movimiento (corrientes) se genere una fuerza proporcional a su velocidad y a su carga. También se le conoce como magnetostático debido a que su intensidad en un punto no depende del tiempo. En teoría, se debería hablar siempre de intensidad de campo magnético, pero en la práctica se toma la densidad de flujo magnético, que se representa con la letra B y se mide en teslas (el gauss ya no se toma como unidad oficial), la cual tiene la siguiente equivalencia: 1 tesla = 1 N/(A.m) = 1 V.s/ m2 = 1 Wb/m2 = 10 000 gauss.

Valores límites de exposición a campos electromagnéticos: Para el caso de las instalaciones objeto de este reglamento, las personas que por sus actividades están expuestas a campos electromagnéticos o el público en general, no debe ser sometido a campos que superen los valores establecidos en la tabla 31.

Tabla 31. Valores límites de exposición a campos electromagnéticos.

TIPO DE EXPOSICIÓN	INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO (kV/m)	DENSIDAD DE FLUJO MAGNÉTICO (μT)
Exposición ocupacional en un día de trabajo de ocho horas	8,3	1000
Exposición del público en general hasta ocho horas continuas	4,16	200

Cálculo y medición de campos electromagnéticos: En este proyecto no se aborda la necesidad de realizar una medición de campos electromagnéticos presentes en las inmediaciones de la construcción, porque no existen presencias de subestaciones o líneas de alta o extra alta tensión, que podrían ser las únicas causantes de someter a las personas y aparatos a la exposición a campos electromagnéticos, cumpliendo con lo que establece el RETIE en su título 11.

9. ESTUDIOS MECÁNICOS DE ESTRUCTURAS PARA SUBESTACIONES MT O CUANDO SEA NECESARIO.

9.1 Literal aplicable del RETIE (l) Cálculo mecánico de estructuras y de elementos de sujeción y soporte de redes de transmisión, de distribución, subestaciones y centrales de generación.

Esta sección de los requisitos para realizar un diseño detallado, no será tomada en cuenta en vista que se debería realizar un proyecto de redes tomando toda la línea de transmisión de donde se está derivando la M.T., pero se aleja del propósito de cálculo de la instalación, por lo que no se tiene o no aplica en este informe. Cabe resaltar que la estructura que se propone instalar para el transformador, debe cumplir con la norma CT-2014 tomada de la normativa EBSA S.A. E.S.P. en donde se especifica los diferentes materiales y elementos para montaje de la transición aérea a subterránea en BT, además el arranque en MT será tomado de la norma P-2156.

10. DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS DE MEDIDA.

10.1 Literal aplicable del RETIE (t) Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares.

Se seleccionó un tipo de medida semidirecta y se dimensionan los medidores que van a ser instalados en el armario. Para los medidores trifásicos de medida semidirecta se remitió a la norma NTC5019 (Ver figura 14).

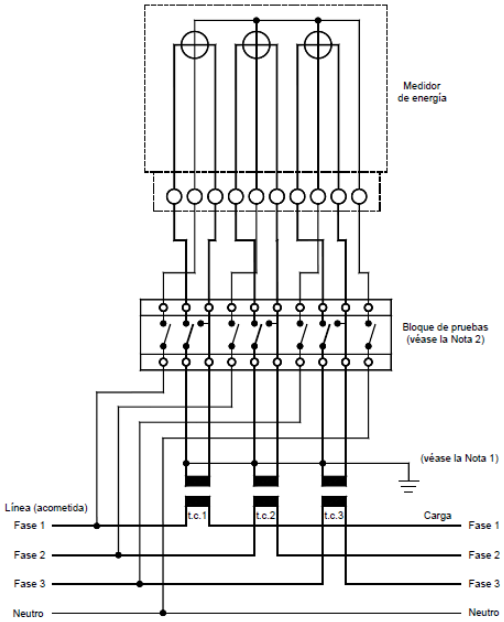


Figura 14. Diagrama de conexión medida semidirecta asimétrica (NTC 5019)

11. DISEÑO DE ARMARIOS PARA EL MONTAJE Y CONEXIONES DE MEDIDORES.

11.1 Literal aplicable del RETIE (t) Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares.

El tablero de medida y el tablero general de acometidas, están ubicados en lugares estrategicos de la construcción, donde tienen fácil acceso por parte del aforador para la toma de lectura en el área exterior del bloque de aulas, cumpliendo con la normativa NTC 2050 (sección 373) para su tipo de instalación. Para sus dimensiones se basarán en las normas implantadas en la TM009 de EBSA S.A. ESP. Donde se muestra en detalle la construcción e instalación del armario para medidores semidirectos, figura 15.

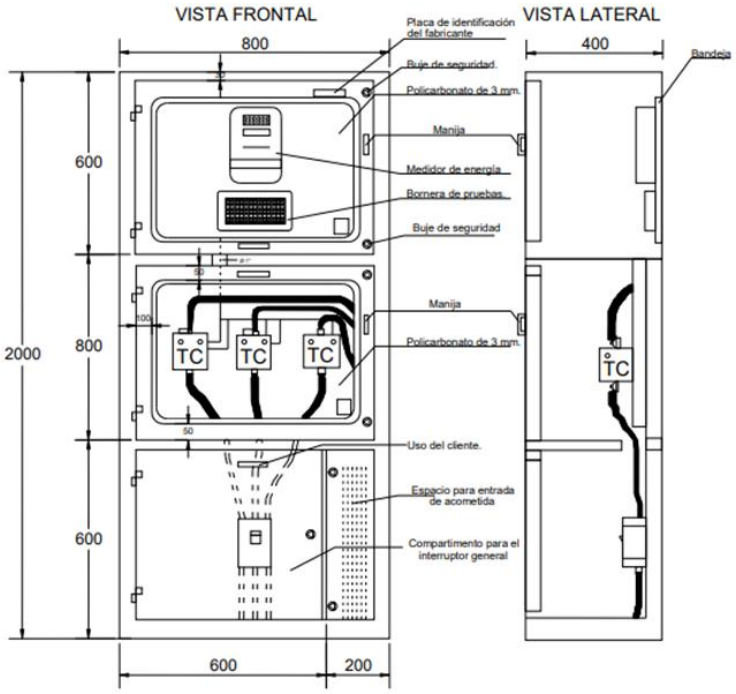


Figura 15. Montaje de armarios para medidores TM009 de EBSA.

12. OTROS (EN CUMPLIMIENTO CON LAS NORMAS DE CONSTRUCCIÓN DE EBSA, NORMAS COLOMBIANAS E INTERNACIONALES)

12.1 Literal aplicable del RETIE (b) Análisis de riesgos por descargas eléctricas atmosféricas (rayos) y medidas de protección.

Objetivo: Establecer el grado de riesgo a la que puede estar sometida la estructura por la presencia de descargas atmosféricas, y concluir si se hace necesaria la instalación de un sistema externo de protección o solo dejar recomendaciones de protección interna. La metodología utilizada para la evaluación de riesgo por rayos es la descrita en la norma nacional NTC 4552-2 de 2008. Luego del análisis que se realizará de forma guiada, se hará uso del software especializado (IEC Risk Assessment Calculator) para el diagnóstico de todos los riesgos eléctricos debido a descargas atmosféricas, este software permite la evaluación de los posibles parámetros que se deben tener en cuenta a la hora de incidencias de rayos en el proyecto a evaluar. Para evaluar la necesidad de protección del proyecto se siguió el orden de análisis mostrado en la figura 16. Tomada de la NTC 4552-2.

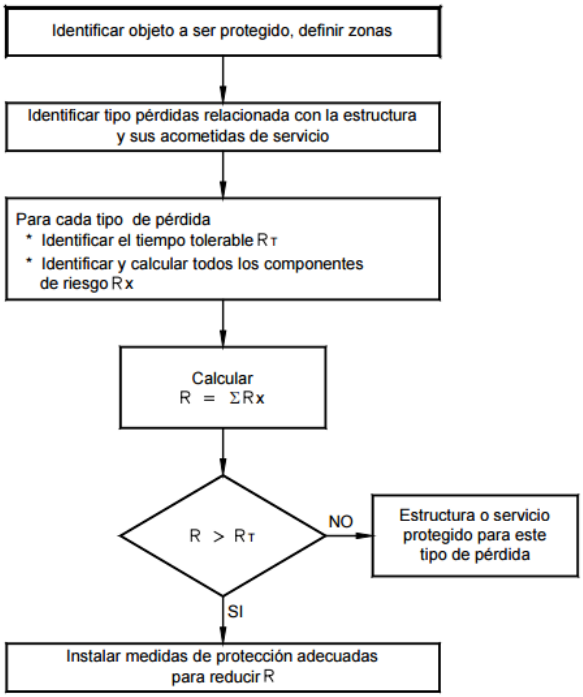


Figura 16. Procedimiento para la decisión de necesidad de protección.

A continuación, se presenta el análisis de nivel de riesgo:

- **Objeto a ser protegido:** se realiza el análisis para un bloque de aulas educativas, con algunas zonas comunes, oficinas, baños, etc., es importante recalcar que es un edificio compuesto de 1 torre de 2 pisos ubicado en zona urbana del municipio de Pauna (Boyacá).

- **Dimensiones de la estructura:** en la tabla 32 se especifican las dimensiones de la estructura.

Tabla 32. Dimensiones de la estructura.

DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA	
LARGO (m)	54,4
ANCHO (m)	12,8
ALTO (m)	7,8
TIENE PARTE SOBRESALIENTE	SI
ALTO TOTAL (m)	8,32

- **Características del entorno:** en la tabla 33 se denotan las características alrededor de la edificación oficial educativa. Para evaluar el nivel de exposición a rayos de la estructura en el municipio de Pauna, consideramos los valores encontrados en la figura 17, DDT= 4 km²-año de acuerdo con la Tabla A.6. “Densidad de descargas a tierra para algunas ciudades de Colombia” de la NTC 4552-1.

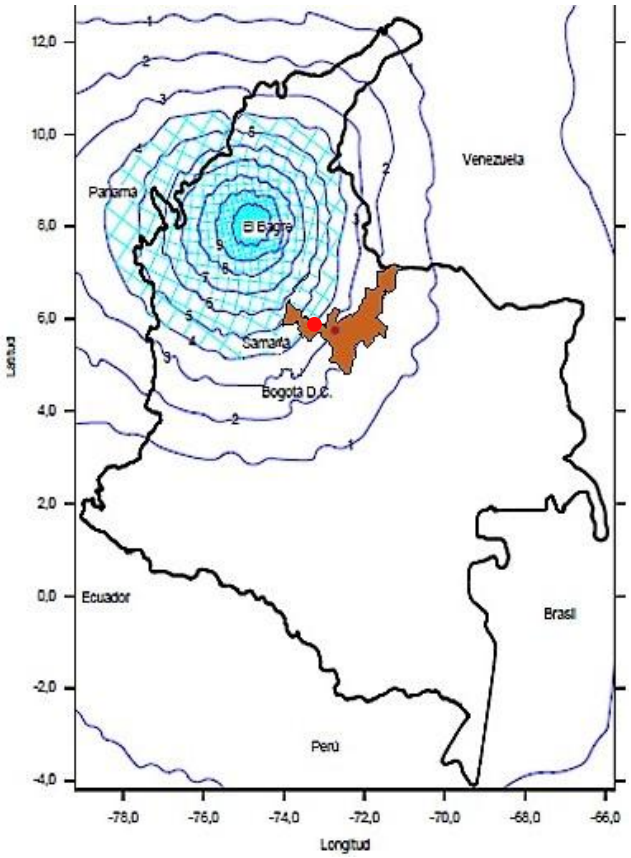


Figura 17. Figura A.10. “Densidad de descargas a tierra para algunas ciudades de Colombia” de la NTC 4552-1.

Tabla 33. Características del entorno.

CARACTERISTICAS DEL ENTORNO	
LOCALIZACION DE LA ESTRUCTURA A SER PROTEGIDA	Rodeado de objetos de igual altura o menor
AMBIENTE DONDE ESTAN LAS ACOMETIDAS	Suburbano (menos de 10 m de altura)
DENSIDAD DE RAYOS A TIERRA (rayos/km2-año) DDT	4
NUMERO DE DIAS DE TORMENTA	40 dias/año
TIPO DE SUELO EN EL INTERIOR	marmol, ceramica
TIPO DE SUELO EN EL EXTERIOR	prado, concreto

- **Atributos de la estructura:** en la tabla 34 se muestran algunas características mismas de la estructura, como por ejemplo si en caso de un impacto rayo, la edificación seria susceptible a incendios, o el cableado interior de la instalación.

Tabla 34. Atributos de la estructura.

ATRIBUTOS DE LA ESTRUCTURA	
Riesgo de incendio	Normal
Eficacia de apantallamiento	Media
Tipo de cableado interno	No apantallado

- **Línea eléctrica:** en la tabla 35 se muestran las características de la acometida eléctrica.

Tabla 35. Línea eléctrica.

LINEA DE ACOMETIDA	
Línea que llega a la estructura	Cable enterrado
Tipo de cable externo	Apantallado
Existencia de transformador MT/BT	SI

- **Otros servicios:** en la tabla 36 se muestran otros servicios aéreos o subterráneos que pueden estar presente en el análisis.

Tabla 36. Servicios aéreos y subterráneos.

OTROS SERVICIOS	
Numero de Servicios	0
Tipo de cable externo	No apantallado
Numero de Servicios subterráneos	0
Tipo de cable externo	N/A

- **Medidas de protección y los tipos de perdidas:** en la figura 18 se muestra las diferentes medidas de protección que se anexaron al análisis y los anteriores ítems calculados con el software IEC Cálculo del índice de riesgo, con lo cual se concluirá si se necesita la instalación de un sistema de protección contra rayos, dependiendo de los resultados que arroje el software mostrado en la figura 19.

- **Resultados nivel de riesgo por rayo:** en el artículo 16.1 del RETIE se establece: "*La evaluación del nivel de riesgo por rayos, debe considerar la posibilidad de pérdidas de vidas humanas, pérdida del suministro de energía y otros servicios esenciales, pérdida o graves daños de bienes, pérdida cultural, así como los parámetros del rayo para la zona tropical, donde está ubicada Colombia y las medidas de protección que mitiguen el riesgo; por tanto, debe basarse en procedimientos establecidos en normas técnicas internacionales como la IEC 62305-2, de reconocimiento internacional o la NTC 4552-2"* por lo que se normaliza que existen unos niveles de riesgos tolerables por las personas (tabla 7 NTC 4552-2), y se realiza la comparación con los calculados, en la tabla 37.

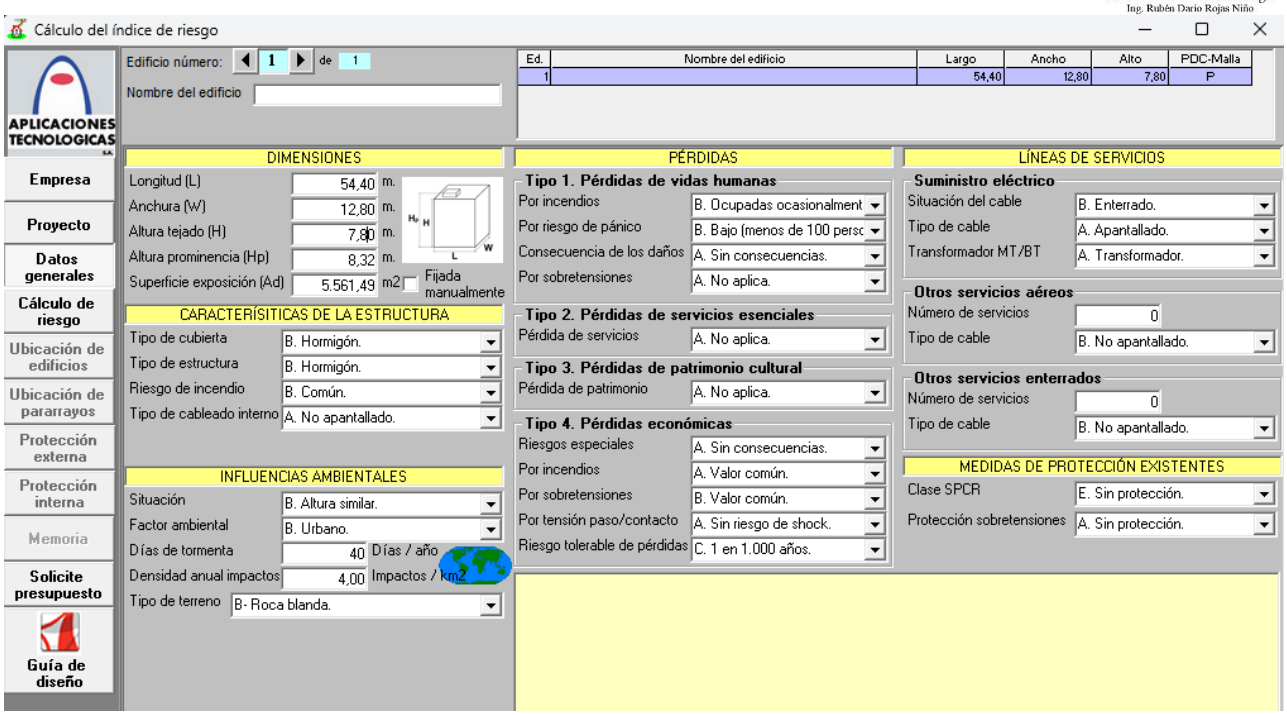


Figura 18. Análisis en software Cálculo del indice de riesgo.

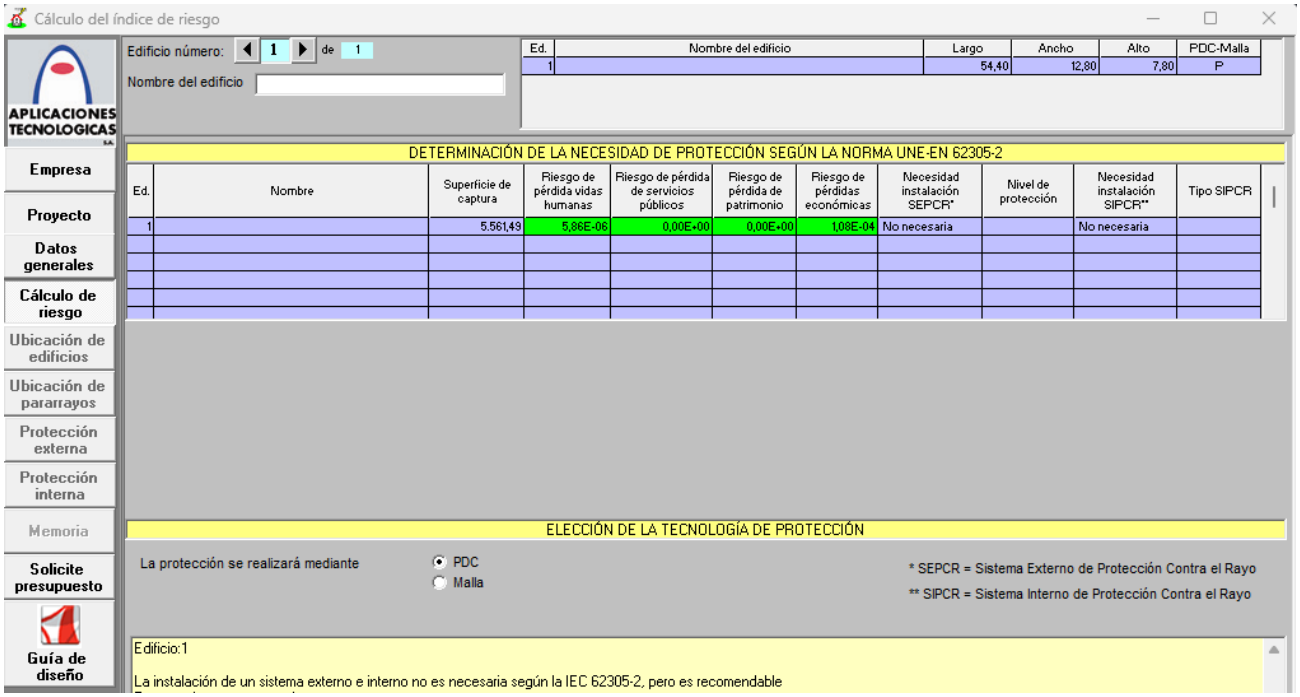


Figura 19. Resultados de análisis de protección contra rayos.

Tabla 37. Resultados del análisis de protección contra rayos.

Riesgo	Tipo	Valor tolerable	Valor calculado	Riesgo Controlado
R1	Pérdida de vidas humanas o lesiones permanentes	1,00E-05	5,86E-06	SI
R2	Pérdida de los servicios públicos	1,00E-03	0,00E+00	SI
R3	Pérdidas de valor cultural	1,00E-03	0,00E+00	SI
R4	Riesgo de perdida economica	1,00E-04	1,08E-04	SI

- **CONCLUSION DEL ESTUDIO:** De acuerdo a lo anteriormente observado en el software y lo calculado, se concluye que la estructura no necesita o no se hace necesario la implementación de un sistema de apantallamiento o protección contra rayos externo, ya que los valores calculados de riesgo son menores a los riesgos máximos tolerables según la norma NTC4552.

➢ **RECOMENDACIONES:**

- ✓ Algunas recomendaciones internas para evitar los posibles daños a la instalación por descargas atmosféricas, son instalar descargadores de sobretensión para tableros de distribución, tomacorrientes o equipos, y de esta manera proteger a la instalación de incrementos de tensión en las inmediaciones de la estructura.
- ✓ Como el objetivo de este análisis es la protección y la seguridad de los seres vivos, se recomienda que, en caso de tormentas eléctricas, a menos que sea estrictamente necesario salir a la intemperie, se debe permanecer en las instalaciones internas de la edificación, de esta manera evitar daños y posiblemente pérdidas humanas.
- ✓ Se recomienda, cuando hay presencia de tormentas eléctricas, permanecer en lugares bajos al interior del edificio, evitar estar en la zona de terrazas, mientras baja la intensidad de las descargas eléctricas.
- ✓ Desconecte los equipos electrónicos que no cuenten con algún tipo de protección contra cambios en el nivel de tensión. Además, tenga conocimiento de las medidas de seguridad con que cuente el edificio en materia de evacuación.

12.2 Literal aplicable del RETIE (d) Coordinación de aislamiento eléctrico.

Se realiza el análisis y coordinación de aislamiento eléctrico con objeto de determinar la distancia de fuga que manejarán los aisladores conectados a las estructuras de M.T. En la tabla 38 se muestran los valores de aislamiento normalizados dependiendo el valor de tensión según la normativa EBSA S.A. E.S.P. en la sección 2.8.

Tabla 38. Niveles de aislamiento normalizados.

TENSION NOMINAL DEL SISTEMA (kV)	NIVEL DE AISLAMIENTO-BIL (kV)
13.2	110
34.5	200

Ya que los aisladores son los elementos que se ven sometidos en mayor medida a esfuerzos combinados eléctricos, mecánicos y térmicos, demandan el mayor cuidado en su elección, adecuación y posterior mantenimiento, con lo cual se pueden prevenir fallas de origen eléctrico.

12.2.1 Características Constructivas.

En la tabla 39 se muestran algunos tipos y las respectivas características de los aisladores, extraída de las normas EBSA S.A. para seleccionar el tipo de aislador, sea cual sea la elección, debe tener conformidad RETIE, se debe tener en cuenta el nivel de tensión de la red, el nivel de aislamiento y el nivel de contaminación de la zona y lo que se especifica en la norma EBSA.

Tabla 39. Tipos de aisladores.

TIPO DE AISLADOR	CARACTERÍSTICAS
DE PIN	Se emplean como aisladores soporte y alineamiento en líneas de distribución. Son excelentes para el control de corriente de fuga. Aplicado en tensiones de distribución y subtransmisión, para ambientes normales y contaminados.
DE DISCO	Empleados en líneas eléctricas de transmisión (10") y distribución (6"). Sus características están normalizadas según el peso o fuerza soportable, el nivel de contaminación admisible y el diámetro.
POLIMERICO	Se emplean cuando han de soportar grandes esfuerzos mecánicos, debido a que su resistencia mecánica es aproximadamente el doble que los de porcela na, y sus propiedades aislantes también son superiores; sin embargo, el inconveniente es que tienen mayor costo.
TENSOR	Aislador de porcelana o sintético, de forma cilíndrica con dos agujeros y ranuras transversales. Se usa como soporte aislador entre el poste y el suelo en los cables tensores, y para tensar líneas aéreas y estructuras de distribución. Es particularmente resistente a compresión.

12.2.2 Distancias mínimas de Fuga.

Las distancias mínimas de fuga, según el grado de contaminación establecido en la norma IEC 60071-2, se observan en la tabla 40. La distancia total de fuga necesaria se calcula con la Ec. 50:

Tabla 40. Distancias mínimas de fuga.

GRADO DE CONTAMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	DISTANCIA MÍNIMA DE FUGA (DF)
I – Insignificante	1. Áreas no industriales y de baja densidad de casas equipadas con equipos de calefacción. 2. Áreas con baja densidad de industrias o casas pero sometidas a frecuentes vientos y/o lluvia. 3. Áreas agrícolas. 4. Áreas montañosas. 5. Todas las áreas anteriores deben estar situadas al menos entre 10 y 20 km del mar y no estar sometidas a vientos provenientes del mismo.	16 mm/kV
II – Medio	6. Áreas con industrias poco contaminantes y/o con casas equipadas con plantas de calefacción. 7. Áreas con alta densidad de casas y/o industrias pero sujetas a frecuentes vientos y/o lluvias. 8. Áreas expuestas a vientos del mar pero no próximas a la costa.	20 mm/kV
III – Fuerte	9. Áreas con alta densidad de industrias y suburbios de grandes ciudades con alta densidad de plantas de calefacción produciendo polución. 10. Áreas próximas al mar o expuestas a vientos relativamente fuertes procedentes del mar.	25 mm/kV
IV – Muy fuerte	11. Áreas sometidas a humos contaminantes que producen depósitos conductores espesos. 12. Áreas muy próximas al mar sujetas a vientos muy fuertes. 13. Áreas desiertas expuestas a vientos fuertes que contienen arena y sal.	31 mm/kV

$$D_t = \frac{V_{max}}{\sqrt{3}} * D_f * \delta \qquad Ec.\ 50$$

Donde:

Dt = es la distancia total de fuga en mm
Vmax = es el valor eficaz la tensión máxima de operación, en kV, para 13,2 kV se debe tomar 17,5 kV.
Df = es la distancia mínima de fuga en mm/kV, se toma de la tabla 40.
δ = es el factor de corrección por densidad del aire, dado por la Ec. 51:
h = es la altura sobre el nivel del mar, en m. (para Pauna 1121 msnm)

$$\delta = e^{h/8150} \qquad Ec.\ 51$$

$$\delta = e^{1121/8150} = 1.1474$$

$$D_t = \frac{V_{max}}{\sqrt{3}} * D_f * \delta = \frac{17{,}5}{\sqrt{3}} * 16 * 1.1474 = 185.49\ mm$$

La distancia de fuga para aisladores poliméricos clase ANSI (DS-15) es de 410mm por lo tanto la cantidad de aisladores requeridos para la estructura es presentada con la Ec. 52:

$$\#\ aisladores = \frac{D_t}{D_{aislador}} = \frac{185.49\ mm}{410\ mm} = 0.452\ \approx 1\ conjunto\ de\ aisladores \qquad Ec.\ 52$$

12.3 Literal aplicable del RETIE (f) Análisis del nivel tensión requerido.

El suministro o nivel de tensión debe cumplir con los requerimientos demandados por la instalación y por los diferentes aparatos y elementos que la conforman (electrodomésticos, iluminación, motobombas, ascensores, etc.). En conjunto con las salidas especiales de tomacorrientes y por los diferentes tipos de cargas, para un funcionamiento efectivo de la instalación, el requerimiento de tensión va a ser de 220/127V para zonas urbanas y derivados de un transformador trifásico según lo acordado en las normas de la EBSA S.A. E.S.P. en este caso se tiene que tener en cuenta que el transformador diseñado debe estar en la capacidad de suplir la tensión demandada aguas abajo o en sus bornes de B.T.

12.4 Literal aplicable del RETIE (q) Áreas clasificadas como peligrosas.

En el artículo 28.3 del RETIE se enuncia que 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. En este proyecto no se cuenta con zonas de alto riesgo en las que se puedan generar atmosferas potencialmente peligrosas (explosivas), tampoco cuenta con zonas para lugares de asistencia médica ni con gases potencialmente inflamables, por lo que no se tiene en cuenta áreas clasificadas.

12.5 Literal aplicable del RETIE (v) Justificación de desviaciones técnicas cuando sea estrictamente necesarias, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación.

No aplica este ítem de diseño detallado puesto que no se necesitan justificaciones de desviaciones y estándares de la norma NTC2050 en el presente proyecto.

12.6 Literal aplicable del RETIE (w) Los demás estudios que el tipo de instalación requiera para su correcta y segura operación, tales como condiciones sísmicas, acústicas, mecánicas o térmicas.

No aplica en el presente proyecto, puesto que no se necesitan implementar estudios de carácter sísmicos, acústicos, mecánicos o térmicos para el correcto funcionamiento de la instalación.

12.7 Literal aplicable del RETIE (x) Selección, cálculo y especificación de equipos de generación de energía convencionales y no convencionales.

No aplica en el presente proyecto, puesto que no se necesitan especificar equipos de generación de energía tanto convencionales como no convencionales, la alimentación se tomará de una fuente existente propiedad de la empresa de energía del sector.

12.8 Literal aplicable del RETIE (x) Selección, cálculo y especificación de equipos de sistema de red contraincendios

Aplica en el presente proyecto, puesto que es una instalación de carácter oficial (colegio), en el cual va a haber alta concentración de personas, es necesario la protección para enfrentar posibles incendios y la protección de las personas que conformen el edificio escolar. El sistema se hará eléctrico, y necesita un accionamiento continuo, por lo que la alimentación se va a realizar independiente de la general del colegio.

Algunos aspectos relevantes para el cálculo del RCI son: bomba principal de 16 HP, bomba auxiliar jockey de 3HP, tensión de funcionamiento de 220V, tipo de arranque estrella-triangulo, 90m de acometida entre medida y tablero de control de RCI, altura sobre el nivel del mar 1121 m.s.n.m.

- **Cálculo de la corriente nominal del motor:** se debe escoger la corriente nominal del motor de acuerdo a las tablas de la NTC2050, para el motor principal de 16HP se realiza una interpolación en los valores de las tablas y se escoge una corriente nominal de 48.84A.

- **Cálculo de la corriente de arranque del motor con rotor bloqueado:** se debe escoger la corriente nominal del motor de acuerdo a las tablas de la NTC2050, para el motor principal de 16HP se realiza una interpolación en los valores de las tablas y se escoge una corriente de arranque con rotor bloqueado de 269.8A.

- **Cálculo de la corriente de diseño:**

$$\mathrm{I_d} = 1.25 * 48.84\ \mathrm{A} = 61.05\ \mathrm{A} \qquad Ec.53$$

- **Selección del conductor**: para la corriente calculada en la ecuación 53 se puede escoger un calibre 4 AWG en cobre o su equivalente un calibre 1/0 AWG en aluminio, siempre y cuando se respete el cálculo de regulación ya que la distancia de acometida es muy larga.

- **Cálculo de regulación para el cable de acometida:**

$$V_d = \sqrt{3} * 48.84\ A * \left(0.000321\ \frac{\Omega}{m} * 90m\right) = 2.44\ V \qquad Ec.54$$

$$\%V = \frac{2.44\ V}{220\ V} * 100 = 1.10\%$$

Para el funcionamiento normal del motor el porcentaje de caída de tensión esta por debajo del 5%, por lo que el cable está acorde al cálculo, sin embargo, es importante realizar el

calculo para el sistema de arranque del motor que según la NFPA 20 la caída de tensión máxima en el conductor debe ser del 15%.

$$V_d = \sqrt{3} * 269.8\ A * \left(0.000321\ \frac{\Omega}{m} * 90m\right) = 13.50\ V \qquad Ec.55$$

$$\%V = \frac{13.50\ V}{220\ V} * 100 = 6.14\%$$

En conclusión, el calibre adecuado de alimentación es el 4 AWG en cobre o 1/0 AWG en aluminio.

- **Selección de la protección contra sobrecorriente principal**: para seleccionar la protección, se debe partir de la corriente de arranque con rotor bloqueado, puesto que este es el pico mas alto de corriente en un lapso de tiempo bajo y una protección termomagnética se accionaria, se seleccionará una protección estrictamente de régimen magnético de 350A-3P-220V.

- **Cálculo del grupo electrógeno:** como en todo momento debe estar disponible el RCI, la normatividad actual no considera que la red de energía convencional sea una fuente ilimitada de energía en caso de emergencia, por lo que se debe proyectar un equipo que proporcione energía en cualquier momento que sea necesario. Para este proyecto oficial se proyectará un grupo electrógeno o planta auxiliar de emergencia tipo Diesel.

  Para un sistema con arranque de tipo estrella-triangulo se puede calcular la corriente de arranque de la siguiente manera:

  $$I_{arranque} = 3 * 48.84\ A = 146.52\ A \qquad Ec.56$$

  Se calculan los kVA requeridos para esta corriente:

  $$kVA = \frac{\sqrt{3} * 220\ V * 146.52\ A}{1000} = 55.83\ kVA \qquad Ec.57$$

  Cuando la instalación se encuentra a mas de 1000 m.s.n.m. el equipo generador sufre algunas perdidas. Por lo que para la altura del municipio de Pauna se colocara un 4% de perdidas.

  $$kVA = 55.83 * 1.04 = 58.07\ kVA \qquad Ec.58$$

  Sin embargo, se aconseja que el generador se dimensione con cierto porcentaje de sobrecarga por su tipo de funcionamiento y no trabaje al límite.

  $$kVA = 58.07 * 1.25 = 72.58\ kVA \qquad Ec.59$$

  Comercialmente se puede acceder a plantas generadoras Diesel de 75 kVA.