**DISEÑO DETALLADO DEL PROYECTO CAI DEL BARRIO VILLA CECILIA.**

# MEMORIAS DE CALCULO ELECTRICO DE PROYECTO CAI DEL BARRIO VILLA CECILIA.

**INGENIERO ELECTRICISTA**

**CRISTIAN JESUS RIVEROS GIL**

**M.P. SN205-152473**

**AGOSTO DEL 2026**

**DISEÑO DETALLADO DEL PROYECTO CAI DEL BARRIO VILLA CECILIA.**

| | |
|---|---|
| **DIRECCION:** | **CALLE 51 CON CARRERA 27.** |
| **MUNICIPIO:** | **NEIVA HUILA** |
| **CONTIENE:** | **MEMORIAS DE CALCULO ELECTRICO DE PROYECTO CAI DEL BARRIO VILLA CECILIA.** |

**PROYECTÓ:**



**Cristian Jesus Riveros Gil.**
**M.P. SN205-152473**

**AGOSTO DEL 2026**

Contenido

1. Objetivos ..... 7
1.1. Objetivo general ..... 7
1.2. Objetivos específicos ..... 7
1. Introducción ..... 8
1.1. Descripción general del proyecto ..... 8
1.2. Datos generales del proyecto ..... 9
1.3. Alcance ..... 9
1.4. Marco Legal ..... 9
2. Análisis y cuadros de carga iniciales y futuras ..... 10
2.1. Cuadros de cargas actuales ..... 10
2.2. Dimensionamiento cuadros de carga futuras ..... 10
2.3. Análisis de factor de potencia ..... 11
2.4. Análisis de armónicos ..... 11
3. Análisis De Coordinación De Aislamiento ..... 11
3.1. Tensión de operación. ..... 11
4. Análisis De Corto Circuito ..... 14
4.1. Metodología ..... 15
4.2. Datos de entrada ..... 15
4.3. Análisis ..... 16
5. Análisis de Nivel De Riesgo por Rayos y Medida de Protección Contra Rayos. 16
5.1. Características del proyecto. ..... 17
5.2. Análisis de nivel de riesgo ..... 18
5.3. Método de diseño ..... 19
5.4. Aplicación del método de diseño. ..... 23
6. Análisis de Riesgo de Origen Eléctrico ..... 25
6.1. Conceptos ..... 25
6.2. Evaluación de nivel de riesgo ..... 30

7. Análisis de Tensión Requerida ..... 32
7.1. Análisis de tensión requerida en media tensión ..... 32
7.2. Análisis de tensión requerida en baja tensión: ..... 32
8. Cálculo de Campos Electromagnéticos..... 32
9. Cálculo de Transformador ..... 33
10. Cálculo del Sistema de Puesta a Tierra ..... 33
10.1. Criterios de diseño ..... 33
10.2. Parámetros del proyecto ..... 33
10.3. Configuración del sistema ..... 34
10.4. Cálculo del electrodo de puesta a tierra ..... 34
Datos de diseño ..... 34
10.5. Verificación del sistema..... 35
11. Cálculo Económico De Conductores ..... 35
11.1. Método para el cálculo de conductores ..... 35
11.2. Dimensionamiento de red en baja tensión ..... 36
11.3. Cálculo económico ..... 36
12. Verificación de los conductores ..... 37
12.1. Nivel de cortocircuito en conductores ..... 38
13. Cálculo, Simulación y Coordinación de Protecciones..... 38
13.1. Diagrama Unifilar ..... 39
14. Cálculo de Canalizaciones ..... 40
15. Cálculo de pérdidas en conductores..... 42
16. Cálculo de Regulación ..... 43
17. Clasificación de Áreas..... 44
18. Distancias de Seguridad..... 44
19. Justificación técnica de desviación de la NTC 2050 cuando sea permitido, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación. 48
20. Los demás estudios que el tipo de instalación requiera para su correcta y segura operación, tales como condiciones sísmicas, acústicas, mecánicas o térmicas. .... 48

# Tabla de tablas

Tabla 1: Cuadro de cargas tablero principal. ..... 10
Tabla 13: Datos de entrada ..... 15
Tabla 14: Corrientes en media tensión ..... 16
Tabla 15: Corriente baja tensión ..... 16
Tabla 16:Distancia entre puntas Vs. A nivel de penetración ..... 22
Tabla 17: Distancia de separación promedio para conductores bajantes, tomada de la NTC 4552-3 ..... 23
Tabla 18:Porcentaje de personas que se protegen según la corriente de disparo ..... 26
Tabla 19: Factores de riesgos eléctricos más comunes ..... 29
Tabla 20: Matriz de análisis de riesgos ..... 30
Tabla 21: Análisis de riesgo ..... 31
Tabla 22: Tensión requerida en BT ..... 32
Tabla 23: Tensión requerida BT ..... 32
Tabla 13: Dimensionamiento en baja tensión ..... 36
Tabla 14: Datos del fabricante para los conductores ..... 38

# Tabla de Imágenes

Imagen 2: Equipo seleccionado..... 14
Imagen 3: Caracteristicas del proyecto ..... 17
Imagen 4: características del proyecto..... 18
Imagen 5: Simulación del riesgo. ..... 18
Imagen 6:Descarga inicial ascendente que determina el lugar en que caerá el rayo . 19
Imagen 7: Profundidad de penetración de la esfera rodante ..... 21
Imagen 8: Sistema de 4 puntas y esfera rodante ..... 21
Imagen 9: Distancia diagonal entre puntas..... 22
Imagen 10: Diagrama de flujo procedimiento instalación de protección. ..... 24
Imagen 11: Resultados simulación ..... 25
Imagen 12: Zonas de tiempo/corriente de los efectos de las corrientes alternas de.. 26
Imagen 13: Impedancia del cuerpo humano..... 27
Imagen 13: Diagrama unifilar del proyecto ..... 39

# 1. Objetivos

## 1.1. Objetivo general

➢ Evaluar el cumplimiento de las normas técnicas y de seguridad eléctrica establecidas en el RETIE 2026 para el proyecto eléctrico denominado como CAI VILLA CECILIA ubicado en la ciudad de Neiva – Huila.

## 1.2. Objetivos específicos

➢ Verificar que los equipos eléctricos utilizados en el proyecto cumplan con los requisitos de seguridad establecidos en el RETIE 2026, en el desarrollo del estudio eléctrico.

➢ Evaluar el sistema de puesta a tierra cumple con las normas técnicas establecidas en el RETIE 2026, en el desarrollo del estudio eléctrico.

➢ Verificar que las distancias de seguridad entre los equipos eléctricos y otros elementos presentes en la instalación cumplen con las normas técnicas establecidas en el RETIE 2026, en el desarrollo del estudio eléctrico.

➢ Evaluar el sistema de protección contra sobretensiones y sobrecargas de la instalación eléctrica y verificar que cumple con las normas técnicas establecidas en el RETIE 2026, en el desarrollo del estudio eléctrico.

➢ Verificar que los materiales y equipos eléctricos utilizados en la instalación cuentan con las certificaciones y aprobaciones necesarias establecidas en el RETIE 2026, en el desarrollo del estudio eléctrico.

➢ Evaluar el sistema de iluminación y señalización de la instalación eléctrica y verificar que cumple con las normas técnicas establecidas en el RETIE 2026, en el desarrollo del estudio eléctrico.

# 1. Introducción

El proyecto objeto de análisis es una instalación eléctrica a **6.53 KVA**. Este proyecto ha sido diseñado siguiendo los requisitos establecidos en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) 2026, una normativa técnica obligatoria en Colombia que busca garantizar la seguridad de las personas y bienes, así como el correcto funcionamiento de los sistemas eléctricos. En este capítulo de introducción se describirán los datos generales del proyecto, su alcance y el marco legal que lo regula, a fin de contextualizar adecuadamente el análisis que se llevará a cabo en el informe.

## 1.1. Descripción general del proyecto

La instalación eléctrica objeto de análisis en este informe tiene una carga proyectada de **2.09 KVA**, con una medida directa para la edificación asignada para el CAI del barrio Villa Cecilia, la cual se ubica en el municipio de Neiva, las coordenadas Latitud 2.959393 longitud. -75.276994.




El sistema eléctrico se conectará al sistema de distribución del operador de red Electrohuila.

## 1.2. Datos generales del proyecto

La instalación eléctrica objeto de análisis en este informe ha sido diseñada por personal capacitado, especializado en proyectos eléctricos de gran envergadura. El sistema eléctrico contará con una carga proyectada de 2.09kVA y ha sido diseñada para operar a una tensión nominal **220V**.

El proyecto debe ser construido con la utilización de materiales y equipos de alta calidad, siguiendo los estándares técnicos y normativos establecidos por el RETIE 2026, la Resolución 40284 de 2026 y otras normas técnicas y de seguridad aplicables en Colombia. El personal encargado de la construcción debe ser un equipo multidisciplinario de profesionales especializados en ingeniería eléctrica, mecánica y civil, siguiendo un riguroso proceso de planificación, diseño, construcción y pruebas, a fin de garantizar la calidad, seguridad y eficiencia del proyecto.

## 1.3. Alcance

El presente informe tiene como objetivo realizar un análisis detallado de la instalación eléctrica de **6.53 KVA**, instalación diseñada para el CAI del barrio Villa Cecilia. Se evaluará el cumplimiento de los requisitos técnicos y de seguridad establecidos en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) 2026, así como cualquier otra normativa aplicable, durante la etapa de construcción del sistema electrico. Se analizarán los procesos constructivos, las medidas de seguridad y protección implementadas y se identificarán posibles deficiencias, con el objetivo de proponer recomendaciones para mejorar la calidad, eficiencia y seguridad de la construcción de la instalación eléctrica.

## 1.4. Marco Legal

El marco legal que rige la construcción y operación de instalaciones eléctricas en Colombia es extenso y complejo. La normatividad se encuentra en constante actualización, lo que implica que los profesionales y empresas del sector deban estar actualizados en cuanto a los cambios normativos que afectan sus proyectos.

En el caso particular este proyecto, se debe tener en cuenta el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) expedido por el Ministerio de Minas y Energía en el año 2026. El artículo 3.3.1.1. del RETIE 2026 establece los requisitos técnicos que deben cumplir las instalaciones eléctricas, tanto en su diseño como en su construcción y operación.

Es importante destacar que el cumplimiento de la normativa es fundamental para garantizar la seguridad de las personas, la protección del medio ambiente y la calidad del servicio eléctrico prestado. Por lo tanto, es responsabilidad de los profesionales y

empresas del sector eléctrico conocer y cumplir con la normativa vigente. En ellos siguientes subcapítulos se realizará un análisis detallado de los requisitos técnicos establecidos en el RETIE y su aplicabilidad al proyecto.

# 2. Análisis y cuadros de carga iniciales y futuras

El objetivo de este capítulo es realizar el análisis de las cargas eléctricas actuales y proyectadas para el futuro en el proyecto en cuestión, con el fin de dimensionar correctamente los cuadros de carga y realizar una evaluación del factor de potencia y la distorsión armónica. Sin embargo, debido a que el proyecto es nuevo, se ha recopilado información detallada únicamente sobre cargas eléctricas nuevas. Este análisis es esencial para garantizar un suministro eléctrico seguro, eficiente y confiable para los usuarios del proyecto.

## 2.1. Cuadros de cargas actuales

En este subcapítulo se describen las cargas eléctricas existentes, al ser un proyecto nuevo no se contemplan.

## 2.2. Dimensionamiento cuadros de carga futuras

En este subcapítulo, se presentan las cargas proyectadas de las instalaciones del proyecto. Teniendo en cuenta todas las recomendaciones y exigencias del proyecto

Con base en dicho análisis, se establecerá el tipo y la capacidad del proyecto requerido para garantizar una operación segura, eficiente y confiable. A continuación, se presenta el cuadro resumen de las cargas proyectadas del proyecto:

| CIIRCUITO | TABLERO PRINCIPAL | CANTIDAD | CALIBRE | PROTECCION | POTENCIA [W] | TOTAL [W] | POTENCIA APARENTE [kVA] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C1 | CIRCUITO DE ILUMINACION | 6 | 12 AWG THHN | 1X20 | 40 | 240 | 0.27 |
| C2 | CIRCUITO DE TOMAS | 8 | 12 AWG THHN | 1X20 | 180 | 1440 | 1.60 |
| C3 | CIRCUITO DE ILUMINACION EXTERNA | 2 | 12 AWG THHN | 1X20 | 100 | 200 | 0.22 |
| C4 | AIRE ACONDICIONADO 1 | 1 | 10 AWG THHN | 2X20 | 2000 | 2000 | 2.22 |
| C5 | | | | | | | |
| C6 | AIRE ACONDICIONADO 2 | 1 | 10 AWG THHN | 2X20 | 2000 | 2000 | 2.22 |
| C7 | | | | | | | |
| C8 | RESERVA | 0 | NA | NA | 0 | 0 | 0 |
| C9 | RESERVA | 0 | NA | NA | 0 | 0 | 0 |
| C10 | RESERVA | 0 | NA | NA | 0 | 0 | 0 |
| C11 | RESERVA | 0 | NA | NA | 0 | 0 | 0 |
| C12 | RESERVA | 0 | NA | NA | 0 | 0 | 0 |
| TOTAL | | | | | | | 6.53 |

*Tabla 1: Cuadro de cargas tablero principal.*

Se puede observar que la potencia instalada ahora suma un total de **6.53 kVA**, lo que indica la capacidad que debe tener el transformador principal de distribución local. Nuevamente, todos los cálculos se realizaron con base en los lineamientos establecidos en la NTC 2050 para la evaluación de las cargas eléctricas en edificaciones, asegurando así que se cumplan con los requerimientos de diseño y se garantice un óptimo funcionamiento del sistema eléctrico.

## 2.3. Análisis de factor de potencia

No es aplicable para este proyecto.

## 2.4. Análisis de armónicos

No es aplicable para este proyecto.

# 3. Análisis De Coordinación De Aislamiento

El presente capítulo se enfoca en el análisis de coordinación de aislamiento, una etapa crucial en el diseño y operación de sistemas eléctricos seguros y confiables. La coordinación de aislamiento tiene como objetivo garantizar la protección eficiente y efectiva de los equipos y componentes del sistema contra fallas y sobretensiones, al tiempo que se asegura un suministro de energía confiable. En este sentido, se seguirán las directrices establecidas en la norma IEC 60071-1:2019 "Insulation co-ordination - Part 1: Definitions, principles and rules", emitida por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC). Esta norma, respaldada por su reconocimiento a nivel internacional, proporciona los principios y criterios necesarios para llevar a cabo un análisis exhaustivo de la coordinación de aislamiento. Asimismo, se tomarán en consideración las normativas y regulaciones locales correspondientes, que pueden complementar los requisitos específicos de cada país o región en cuanto a la coordinación de aislamiento. A lo largo de este capítulo, se abordarán los conceptos fundamentales, las metodologías y los criterios aplicados en el análisis de coordinación de aislamiento, con el objetivo de garantizar la integridad y la operatividad segura del sistema eléctrico en cuestión.

## 3.1. Tensión de operación.

**Cálculo del BIL**

Por otro lado, el cálculo del BIL del lado secundario del transformador principal, se determina teniendo en cuenta la tensión de serie de 15 kV. Nuevamente, utilizando la recomendación de la norma IEC 60071 se calculará el BIL necesario. Una vez obtenido este valor, se seleccionará el BIL normalizado más cercano por encima, de acuerdo con la norma IEC 60071-1. Este cálculo permitirá asegurar un nivel adecuado de aislamiento, evitando sobretensiones y protegiendo de forma eficiente los equipos y dispositivos conectados al sistema.

$$BIL = NPR * K_I$$

**Donde:**

$BIL$: Nivel Básico de Aislamiento

$NPR$: Nivel de protección de pararrayos

$KI$: Factor de corrección según IEC60071-1

Con base en lo mencionado anteriormente y con el fin de determinar el NPR (Nivel de Protección del Pararrayos), nos basamos en la norma E-MT-031 del operador de red ENEL-CODENSA. Esta norma proporciona los datos técnicos necesarios para el Dimensionamiento de Pararrayos y Sistemas de Protección contra Sobretensiones. Según dicha norma, los datos técnicos del DPS (Dispositivo de Protección contra Sobretensiones) son los siguientes:

- Voltaje de sistema = 220/120 V
- Tipo de pararrayos y especificaciones = 600 V, Clase 2
- MCOV (Máxima tensión permanente) = 350 V.
- NPR ((Nivel de protección del DPS para onda 1,2/50µs) = 1,5 kV.
- NPM (Nivel de tensión al impulso de maniobra 8/20µs) = 1,33 kV.
- $KI$: 1,25, tomado de la IEC60071-1
-

Así las cosas, se reemplaza la información anterior en la ecuación para calcular el $BIL$, de la que resulta:

$$BIL = 1{,}5\ kV * 1{,}25$$
$$BIL = 1{,}875\ kV$$

Una vez calculado el valor del sistema, consultamos la IEC 60071-1, valor inmediatamente por encima es de 30 kV.

**Calculo BSL**

Una vez que se ha definido el BIL (Nivel básico de aislamiento), se procede una vez más a calcular el BSL teniendo en cuenta las recomendaciones establecidas por la norma IEC 71. Según esta norma, se sugiere utilizar un valor de $K$ = 0,75 y un valor de $Km$ = 1,15. Estos valores permiten determinar la capacidad del sistema para soportar

impulsos de tensión generados durante maniobras. Al calcular el BSL, se está evaluando la resistencia del sistema frente a estas condiciones, lo que permite garantizar la seguridad y confiabilidad de la instalación eléctrica.

$$BSL = K * BIL = 0{,}75 * 30\ kV$$
$$BSL = 22{,}5\ kV$$

**Validación de cálculos**

Una vez obtenidos los valores del BSL (tensión soportada al impulso tipo maniobra) y el NPM (nivel de tensión al impulso de maniobra), se procede a realizar una validación para asegurar la adecuación de los resultados. Para ello, se aplica la condición de comparación:

$$\frac{BSL}{NPM} > K_m$$

**Donde:**

$Km$ representa el valor sugerido por la norma.

Esta condición nos permite verificar si el sistema cumple con los estándares de seguridad establecidos. Si el resultado de esta comparación es mayor que $Km$, podemos concluir que los valores obtenidos para el BSL y el NPM son adecuados y cumplen con los requerimientos de aislamiento exigidos. Esta validación garantiza la correcta selección de los equipos y asegura la integridad del sistema frente a los impulsos de tensión generados durante las maniobras eléctricas.

$$\frac{22{,}5\ kV}{1{,}33\ kV} = 16{,}91$$

Se puede observar que la condición se cumple ya que

$$\frac{78{,}85\ kV}{40{,}3\ kV} = 1{,}96 > 1{,}15$$

**Equipo seleccionado**

El cálculo y validación del BSL es esencial en el análisis de la coordinación de aislamiento. Siguiendo las recomendaciones de normas como la IEC 60071-1, se establecen criterios para determinar los valores de aislamiento adecuados. Las especificaciones técnicas detalladas se adjuntan a continuación para una comprensión más precisa de los requisitos y parámetros utilizados en el proceso de coordinación de aislamiento.




*Imagen 1: Equipo seleccionado*

– BIL normalizado ≥ 30 kV.
– Tensión de serie = 15 kV.

# 4. Análisis De Corto Circuito

El análisis de cortocircuito, también conocido como estudio de falla, es uno de los aspectos más críticos en el diseño y operación de sistemas eléctricos. Este análisis se refiere al estudio de las corrientes que fluyen en el sistema cuando se produce una conexión no deseada (cortocircuito) entre conductores eléctricos bajo diferentes escenarios. Estas corrientes pueden ser múltiples veces mayores que las corrientes normales de operación y, por lo tanto, es vital comprender su magnitud y duración para garantizar una operación segura.

La principal finalidad del análisis de cortocircuito es determinar la máxima corriente de falla posible en diferentes puntos del sistema, lo que a su vez permite dimensionar adecuadamente los equipos y dispositivos de protección. Asimismo, se asegura que estos dispositivos actúen de manera adecuada y coordinada para aislar rápidamente la falla, minimizando el impacto en el resto del sistema y garantizando la protección de las personas y bienes.

En Colombia, el análisis de cortocircuito y la seguridad de las instalaciones eléctricas se rigen principalmente por el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). A nivel internacional, hay múltiples normativas que establecen criterios y métodos para la realización de estos análisis. Algunas de las más reconocidas son las normas IEC 60909 de la Comisión Electrotécnica Internacional y las normas ANSI/IEEE, especialmente la IEEE 141 (Red Book) y la IEEE 399 (Brown Book).

Para aprobar un estudio de cortocircuito, es crucial que se sigan estrictamente las metodologías y criterios establecidos en las normativas aplicables. Además, es esencial que el estudio contemple todos los posibles escenarios de falla, que se realice una adecuada modelación de los componentes del sistema y que se valide la coordinación y adecuado dimensionamiento de los dispositivos de protección.

## 4.1. Metodología

**Definición de condiciones iniciales**

- Establecimiento de condiciones iniciales para escenarios de falla.

**Representación del sistema**

- Representación del sistema a través de los datos iniciales.

**Aplicación de Criterios y Fórmulas de la Norma**

- Utilización de las ecuaciones y metodologías prescritas en la norma para calcular las corrientes de cortocircuito.

**Cálculos**

- Ejecución de ecuaciones matemáticas, con el fin de obtener los resultados del análisis de cortocircuito.

**Resultados**

- Obtención de resultados a través de los cálculos previamente obtenidos.
- Selección de dispositivos de protección según la norma.

## 4.2. Datos de entrada

- Los datos de entrada del transformador a analizar se pueden observar en la siguiente tabla:

| Magnitud | Valor | Unidad |
|---|---|---|
| **Vt** | 220 | V |
| **S** | 75 | kVA |
| **U_z** | 3% | |

*Tabla 2: Datos de entrada*

Otros datos de entrada del transformador a tener en cuenta se dan a continuación:
- $Uz$=2,92 %

- Tipo: Aceite
- Relación de transformación: 0,01667

$$I_n(BT)$$

$$\frac{I_n}{z_{cc}}$$

$$\frac{S}{\sqrt{3}xV_P}$$

## 4.3. Análisis

**Corrientes en media tensión.**

El análisis de cortocircuito en media tensión se observa a continuación

| CORRIENTES MEDIA TENSION | | |
|---|---|---|
| $I_n(MT)$ | $\frac{S}{\sqrt{3}xV_p}$ | 3.28 |
| $I_{cc}(MT)$ | $\frac{I_n}{z_{cc}}$ | 93.73 |

*Tabla 3: Corrientes en media tensión*

**Corrientes en baja tensión**

El análisis de cortocircuito en baja tensión se observa a continuación

| CORRIENTES BAJA TENSION | | |
|---|---|---|
| $I_n(BT)$ | $\frac{S}{\sqrt{3}xV_p}$ | 196.82 |
| $I_{cc}(BT)$ | $\frac{I_n}{z_{cc}}$ | 5623.54 |

*Tabla 4: Corriente baja tensión*

# 5. Análisis de Nivel De Riesgo por Rayos y Medida de Protección Contra Rayos.

La protección contra descargas atmosféricas, comúnmente conocidas como rayos, es una consideración crítica en el diseño y operación de instalaciones eléctricas y estructuras. Las descargas atmosféricas representan un peligro potencial para la seguridad de las personas, la integridad de los equipos y la continuidad de los sistemas eléctricos. Bajo este contexto, el presente capítulo tiene como objetivo realizar un

análisis del nivel de riesgo por rayos y la implementación de medidas de protección contra rayos en conformidad con las normativas técnicas pertinentes.

Para llevar a cabo este análisis, se establecen como bases fundamentales la normativa colombiana NTC 4552-2 de 2008 y las directrices internacionales contenidas en la norma IEC 62305-4 de 2006. Estas regulaciones brindan un marco sólido y reconocido a nivel nacional e internacional para evaluar el riesgo de impacto de rayos, determinar las medidas de protección adecuadas y garantizar la seguridad de las personas y la continuidad de los sistemas eléctricos.

## 5.1. Características del proyecto.

Para poder hacer el análisis de riesgo, es necesario conocer cierta información del caso de estudio, información relacionada a estructura, posición geográfica, instalación eléctrica, etc. Dicha información se encuentra listada a continuación:

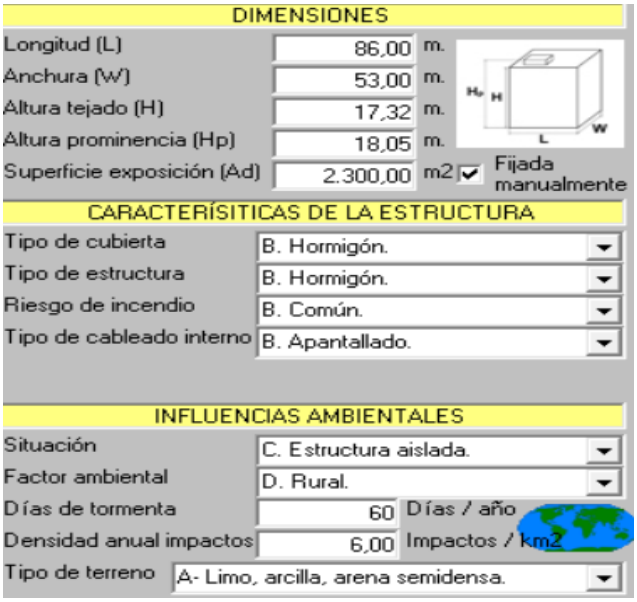



*Imagen 2: Caracteristicas del proyecto*

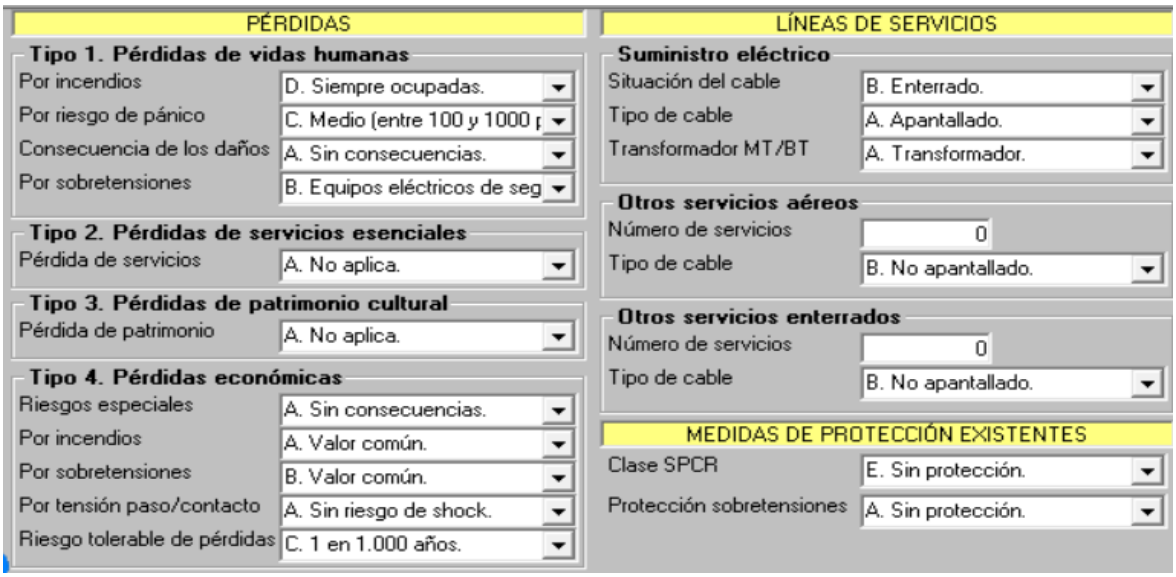



*Imagen 3: características del proyecto*

## 5.2. Análisis de nivel de riesgo

Para identificar el nivel de protección del edificio, es posible recurrir a varios métodos y software desarrollados para el análisis de riesgo, para este caso se optó por el uso de *Cálculo de índice de Riesgo* desarrollado por *Aplicaciones Tecnológicas*.

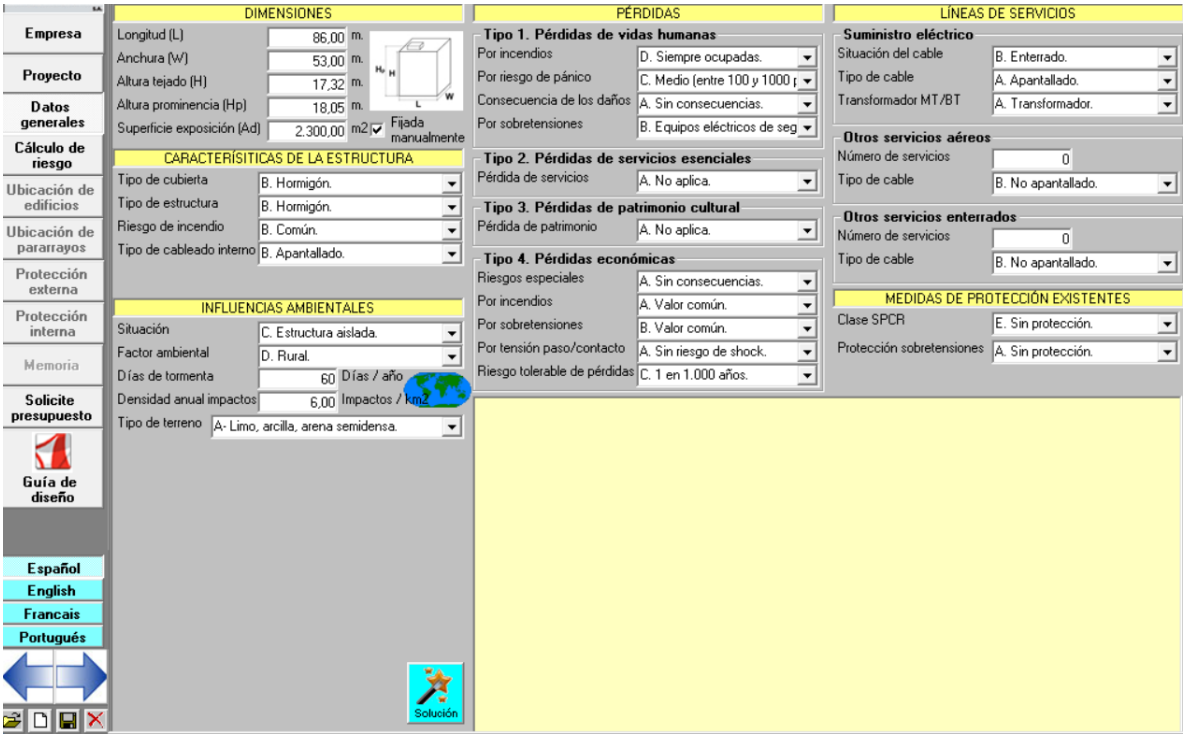



*Imagen 4: Simulación del riesgo.*

Este software está soportado técnicamente en las normas internacionales, las mismas en las cuales son basados este estudio, por ende, el uso de este mismo hará que el diseño e instalaciones de sistemas de apantallamiento se realice adecuadamente.

## 5.3. Método de diseño

Para este caso, la descarga descendente del rayo (rayos nube-tierra), va creciendo escalonadamente desde la nube en dirección de la tierra. Cuando la descarga descendente se ha aproximado lo suficiente para sobrepasar el aislamiento eléctrico del aire entre ellos, empieza a crecer otra descarga similar a la descendente en dirección a ésta, determinando el lugar de descarga del rayo.

La distancia más pequeña entre la cabeza de la descarga descendente y el punto de inicio de la descarga captadora se denomina tramo final de descarga. Inmediatamente después que se sobrepasa la capacidad de aislamiento en un punto, se origina la descarga ascendente que lleva a la descarga final y que se superpone al trayecto de la descarga final. Basándose en las observaciones sobre el efecto de protección de cables de guarda y torres de alta tensión se ha realizado el denominado ***"modelo geométrico-eléctrico".***

Este modelo está basado en la hipótesis de que la cabeza de la descarga descendente se aproxima a los objetos situados en la tierra, sin verse afectada por nada, hasta que alcanza la distancia final de descarga.

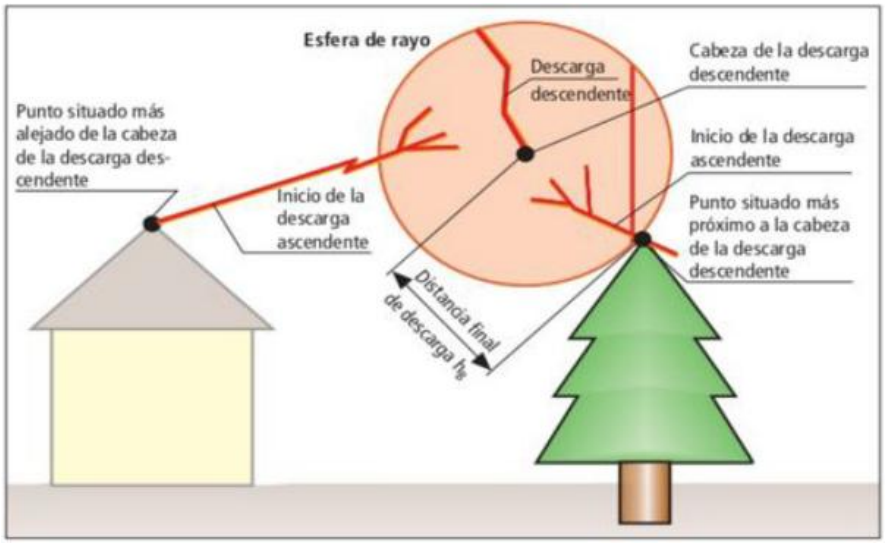



*Imagen 5:Descarga inicial ascendente que determina el lugar en que caerá el rayo*

El lugar o punto de descarga está determinado por el objeto que esté a menor distancia de la cabeza de la descarga descendente.

En una primera aproximación existe una proporcionalidad entre el valor cresta de la corriente del rayo y la carga eléctrica acumulada en la descarga descendente. Asimismo, el campo eléctrico del suelo, al aproximarse la descarga descendente creciente, inicialmente, depende linealmente de la carga acumulada de la misma.
La protección contra rayos en edificaciones esta descrita por la norma *IEC 62305-4* de 2006 y la *NTC 4552-2* de 2008. Estas normas definen, entre otras cosas, la clasificación de los sistemas de protección y fija las medidas de protección contra rayos correspondiente a cada caso.
Se diferencian cuatro niveles de protección:
***Nivel de protección I*** Radio de la esfera 20 metros
***Nivel de protección II*** Radio de la esfera 30 metros
***Nivel de protección III*** Radio de la esfera 45 metros
***Nivel de Protección IV*** Radio de la esfera 60 metros

El ***Nivel de protección I*** ofrece la máxima protección y el ***Nivel de protección IV*** la menor.
Unida a la clase de protección esta la eficacia de la instalación captadora de forma, es decir, qué porcentaje de las descargas de rayo esperadas pueden ser controladas de forma segura por la instalación captadora. Después, se determina la distancia final de descarga, y con ello el radio de la "esfera de rayo".
Basado en la hipótesis del ***"modelo geométrico-eléctrico"***, la cabeza de la descarga descendente se aproxima arbitrariamente, sin influencia alguna, a los objetos situados sobre la tierra, hasta llegar a la distancia final de descarga, se puede derivar un procedimiento general que permite comprobar la eficacia del sistema definido respecto del edificio a proteger.
Para la ejecución del método de la esfera rodante se precisa un modelo a escala del edificio/estructura a proteger, en el que se reproducen los contornos externos que lo delimitan y la instalación captadora correspondiente. Dependiendo del lugar de emplazamiento del edificio que se pretende estudiar, es necesario así mismo incluir los edificios y objetos circundantes y analizar sus efectos en el diseño.
La esfera rodante se va acercando al edificio y se señalan los puntos de contacto entre la esfera y la estructura de estudio. Dichos puntos de contacto representan los posibles puntos de descarga del rayo. Seguidamente se hace rodar la esfera sobre el edificio en todas las direcciones, marcando los puntos de contacto, que serán los puntos posibles de descarga de rayo y también las zonas laterales posibles de impacto.
La profundidad de penetración de la esfera rodante es determinada en el dimensionado de los dispositivos captadores para el edificio por medio de la siguiente formula:

$$p = r - \left( r^2 - \left( \frac{d}{2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

Donde r es el radio de la esfera rodante y d la distancia entre dos puntas captadoras o entre dos conductores paralelos.

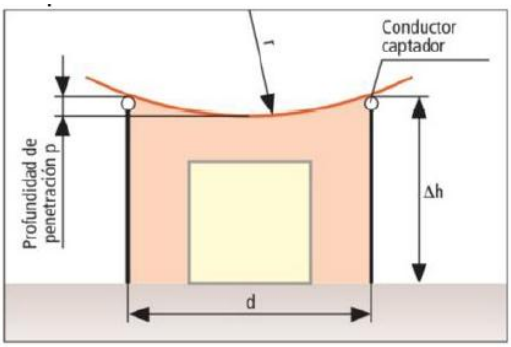



*Imagen 6: Profundidad de penetración de la esfera rodante*

Las puntas captadoras se deben dimensionarse bajo las condiciones de altura de la instalación a proteger y la profundidad de la penetración de la esfera rodante.

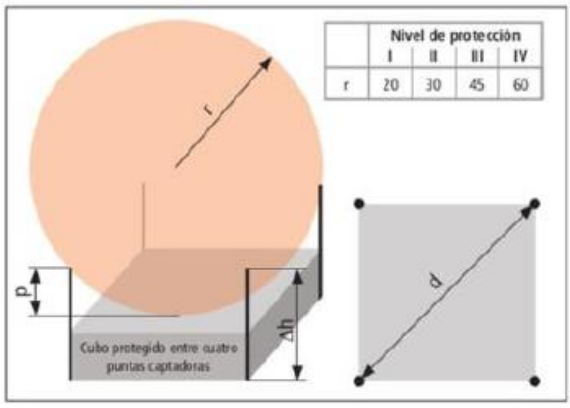



*Imagen 7: Sistema de 4 puntas y esfera rodante*

Donde r es el radio de la esfera rodante y d la distancia entre dos puntas captadoras o entre dos conductores paralelos.

| d | Penetración de la esfera rodante (m) (redondeada) | | | |
|---|---|---|---|---|
| Distancia entre puntas captadoras | Nivel de protección con radio de la esfera rodante en metros | | | |
| | I (20 m) | II (30 m) | III (45 m) | IV (60 m) |
| 2 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| 4 | 0.10 | 0.07 | 0.04 | 0.03 |
| 6 | 0.23 | 0.15 | 0.10 | 0.08 |
| 8 | 0.40 | 0.27 | 0.18 | 0.13 |
| 10 | 0.64 | 0.42 | 0.28 | 0.21 |
| 12 | 0.92 | 0.61 | 0.40 | 0.30 |
| 14 | 1.27 | 0.83 | 0.55 | 0.41 |
| 16 | 1.67 | 1.09 | 0.72 | 0.54 |
| 18 | 2.14 | 1.38 | 0.91 | 0.68 |
| 20 | 2.68 | 1.72 | 1.13 | 0.84 |
| 23 | 3.64 | 2.29 | 1.49 | 1.11 |
| 26 | 4.80 | 2.96 | 1.92 | 1.43 |
| 29 | 6.23 | 3.74 | 2.40 | 1.78 |
| 32 | 8.00 | 4.62 | 2.94 | 2.17 |
| 35 | 10.32 | 5.63 | 3.54 | 2.61 |

*Tabla 5:Distancia entre puntas Vs. A nivel de penetración*

A través de la *tabla* anterior definimos la distancia de la diagonal entre puntas instaladas.

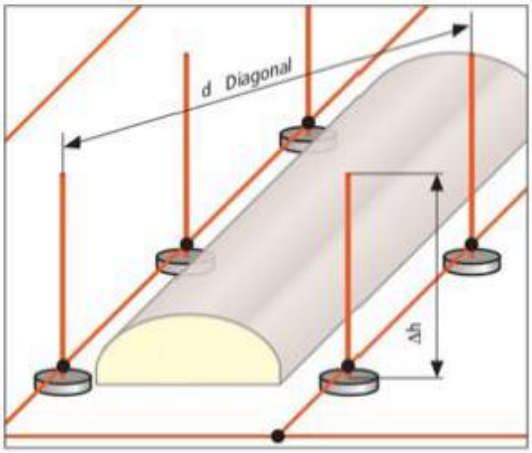



*Imagen 8: Distancia diagonal entre puntas*

Con el fin de reducir la probabilidad de daño debido a corrientes de rayo fluyendo por el sistema de protección externo, las bajantes deben ser ubicadas de manera tal que a partir del punto de impacto hasta la tierra se cumplan los siguientes requisitos:

a) Existencia de varios caminos paralelos para la corriente.
b) La longitud de los caminos sea mínima.
c) La equipotencialización a partes conductoras de la estructura.

Los bajantes deben distribuirse simétricamente alrededor de la estructura a proteger, ubicadas en la parte exterior a ésta y distanciadas entre sí de acuerdo a la Tabla 6 de la NTC 4552-3. Su separación puede variar dependiendo de objetos que puedan inferir con su recorrido, como ventanas, puertas, rejillas, etc. Pero es recomendable una separación igual entre bajantes. Además, cada estructura debe poseer al menos dos bajantes y se debe instalar una caja en cada esquina de la estructura expuesta siempre que sea posible.

| Tipo de Nivel de Protección | Distancia Típica Promedio [m] |
|---|---|
| I | 10 |
| II | 10 |
| III | 15 |
| IV | 20 |

*Tabla 6: Distancia de separación promedio para conductores bajantes, tomada de la NTC 4552-3*

## 5.4. Aplicación del método de diseño.

A continuación, se realiza el diagrama de flujo, que describe el procedimiento para la instalación del sistema de protección:

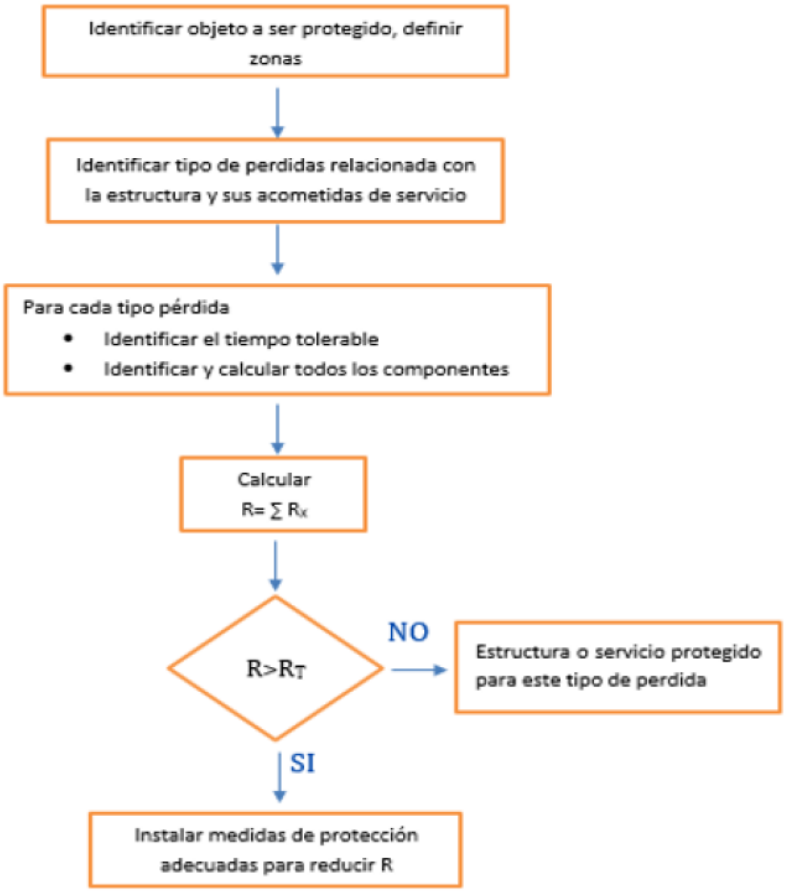



*Imagen 9: Diagrama de flujo procedimiento instalación de protección.*

Con los datos recopilados utilizamos el software de análisis de riesgo, donde nos indica que por las características del edificio necesitamos un nivel de protección I.

*Nivel de Protección I* radio Esfera = 20 m

Los resultados del software están soportados por la norma internacional *IEC 62305-4* de 2006 y la *NTC 4552-2* de 2008.

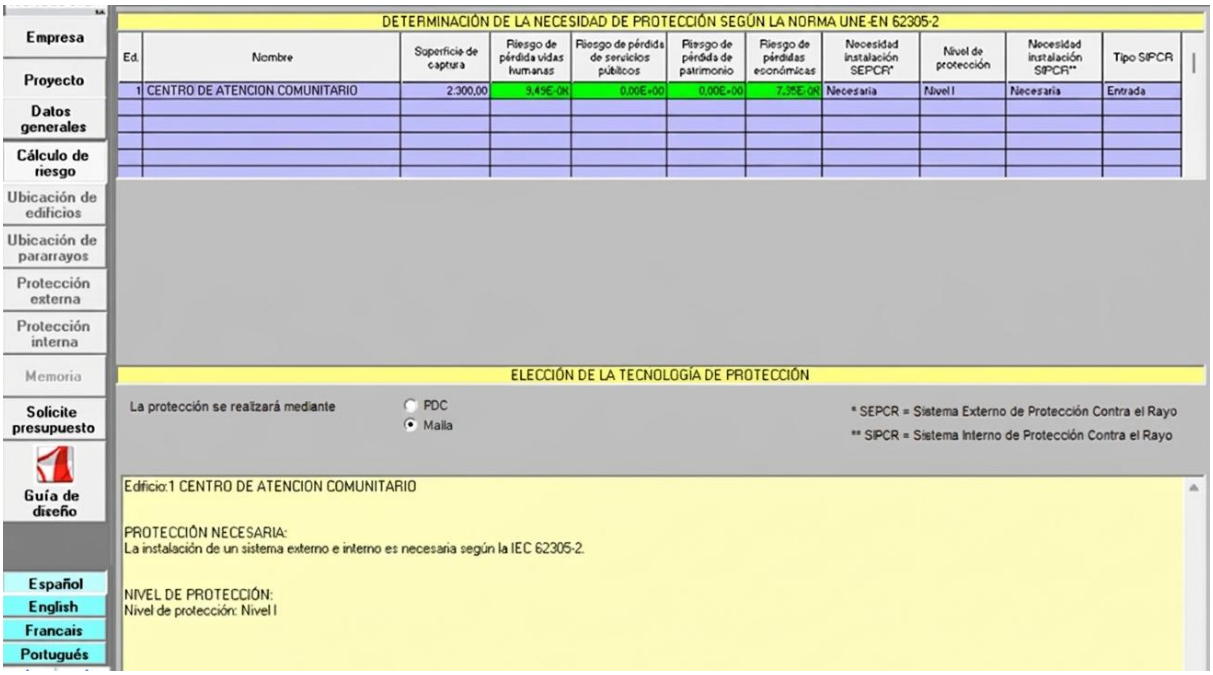



*Imagen 10: Resultados simulación*

# 6. Análisis de Riesgo de Origen Eléctrico

Este capítulo tiene como objeto la elaboración de un análisis de riesgo eléctrico en el que, basados en el artículo 9 del título 2, “Análisis de riesgo de origen eléctrico” del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), se determina el nivel de riesgo que pueden correr las personas en la instalación. Para dicho análisis se deben tener en cuenta los criterios establecidos en la norma NTC 4120, con referencia a la IEC 60479-2, que detalla las zonas de los efectos de la corriente alterna de 15 Hz a 100 Hz.

## 6.1. Conceptos

**Electropatología**

La electropatología es la disciplina que estudia los efectos de la corriente eléctrica, potencialmente peligrosa, que puede producir lesiones en el organismo, así como el tipo de accidentes que causa. Dependiendo del tipo de contacto, las consecuencias del paso de la corriente por el cuerpo humano pueden ser fatales. Los siguientes conceptos básicos son claves para tener en cuenta a la hora de interactuar en entornos de riesgo 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.

- Algunos estudios, principalmente los de Dalziel, han establecido niveles de corte de corriente de los dispositivos de protección que evitan la muerte por electrocución (ver Tabla 1)

| CORRIENTE DE DISPARO | 6 mA (rms) | 10 mA (rms) | 20 mA (rms) | 30 mA (rms) |
|---|---|---|---|---|
| Hombres | 100 % | 98,5 % | 7,5 % | 0 % |
| Mujeres | 99,5 % | 60 % | 0 % | 0 % |
| Niños | 92,5 % | 7,5 % | 0 % | 0 % |

*Tabla 7:Porcentaje de personas que se protegen según la corriente de disparo*

- 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.

- En la siguiente gráfica tomada de la NTC 4120, con referente IEC 60479-2, se detallan las zonas de los efectos de la corriente alterna de 15 Hz a 100 Hz.

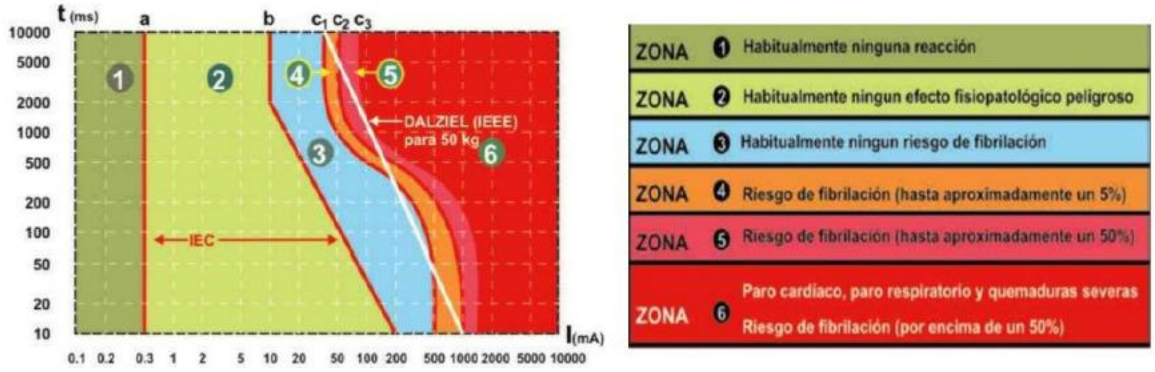



*Imagen 11: Zonas de tiempo/corriente de los efectos de las corrientes alternas de*

- La fibrilación ventricular consiste en el movimiento anárquico del corazón, el cual no sigue su ritmo normal y deja de enviar sangre a los distintos órganos. 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 en menos de 0,2 segundos se aplican solamente durante el período vulnerable del ciclo cardíaco.

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

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.

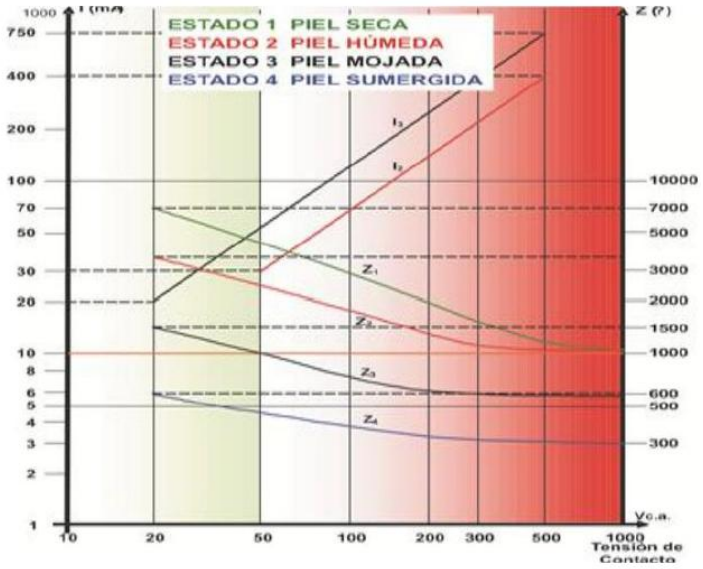


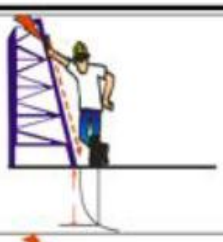
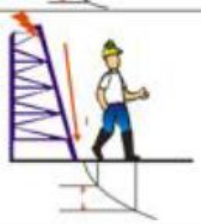

*Imagen 12: Impedancia del cuerpo humano*

- Los estados en función del grado de humedad y su tensión de seguridad asociada son:

Piel perfectamente seca (excepcional): 80 V
Piel húmeda (normal) en ambiente seco: 50 V
Piel mojada (más normal) en ambientes muy húmedos: 24 V
Piel sumergida en agua (casos especiales): 12 V

**Factores de riesgo eléctrico más comunes**

A continuación, se observan los factores de riesgo eléctrico más comunes:

| | |
|---|---|
|  | **ARCOS ELÉCTRICOS.**<br><br>**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 sin utilizar equipo extintor de arco, apertura de transformadores de corriente en secundarios con carga, manipulación indebida de equipos de medida, materiales o herramientas olvidadas en gabinetes, acumulación de óxido o partículas conductoras, descuidos en los trabajos de mantenimiento.<br><br>**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 ELECTRICIDAD (EN DETERMINADOS CASOS)**<br><br>**POSIBLES CAUSAS:** Apagón o corte del servicio, no disponer de un sistema ininterrumpido de potencia - UPS, no tener plantas de emergencia, no tener transferencia. Por ejemplo: Lugares donde se exijan plantas de emergencia como hospitales y aeropuertos.<br><br>**MEDIDAS DE PROTECCIÓN:** Disponer de sistemas ininterrumpidos de potencia y de plantas de emergencia con transferencia automática. |
|  | **TENSIÓN DE CONTACTO**<br><br>**POSIBLES CAUSAS:** Rayos, fallas a tierra, fallas de aislamiento, violación de distancias de seguridad.<br><br>**MEDIDAS DE PROTECCIÓN:** Puestas a tierra de baja resistencia, restricción de accesos, alta resistividad del piso, equipotencializar. |
|  | **TENSIÓN DE PASO**<br><br>**POSIBLES CAUSAS:** Rayos, fallas a tierra, fallas de aislamiento, violación de áreas restringidas, retardo en el despeje de la falla,<br><br>**MEDIDAS DE PROTECCIÓN:** Puestas a tierra de baja resistencia, restricción de accesos, alta resistividad del piso, equipotencializar. |

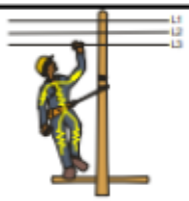
| | |
|---|---|
|  | **CONTACTO DIRECTO**<br><br>**POSIBLES CAUSAS:** Negligencia de técnicos o impericia de no técnicos, violación de las distancias mínimas de seguridad.<br><br>**MEDIDAS DE PROTECCIÓN:** Establecer distancias de seguridad, interposición de obstáculos, aislamiento o recubrimiento de partes activas, utilización de interruptores diferenciales, elementos de protección personal, puesta a tierra, probar ausencia de tensión, doble aislamiento. |
|  | **CONTACTO INDIRECTO**<br><br>**POSIBLES CAUSAS:** Fallas de aislamiento, mal mantenimiento, falta de conductor de puesta a tierra.<br><br>**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**<br><br>**POSIBLES CAUSAS:** Fallas de aislamiento, impericia de los técnicos, accidentes externos, vientos fuertes, humedades, equipos defectuosos.<br><br>**MEDIDAS DE PROTECCIÓN:** Interruptores automáticos con dispositivos de disparo de máxima corriente o cortacircuitos fusibles. |
|  | **ELECTRICIDAD ESTÁTICA**<br><br>**POSIBLES CAUSAS:** Unión y separación constante de materiales como aislantes, conductores, sólidos o gases con la presencia de un aislante.<br><br>**MEDIDAS DE PROTECCIÓN**: Sistemas de puesta a tierra, conexiones equipotenciales, aumento de la humedad relativa, ionización del ambiente, eliminadores eléctricos y radiactivos, pisos conductivos. |
|  | **EQUIPO DEFECTUOSO**<br><br>**POSIBLES CAUSAS:** Mal mantenimiento, mala instalación, mala utilización, tiempo de uso, transporte inadecuado.<br><br>**MEDIDAS DE PROTECCIÓN:** Mantenimiento predictivo y preventivo, construcción de instalaciones siguiendo las normas técnicas, caracterización del entorno electromagnético. |
|  | **RAYOS**<br><br>**POSIBLES CAUSAS:** Fallas en: el diseño, construcción, operación, mantenimiento del sistema de protección.<br><br>**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**<br><br>**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.<br><br>**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. |

*Tabla 8: Factores de riesgos eléctricos más comunes*

## 6.2. Evaluación de nivel de riesgo

A través de la Tabla 16 es posible evaluar el nivel o grado de riesgo de tipo eléctrico, siguiendo la metodología siguiente:

a) Definir el factor de riesgo que se requiere evaluar o categorizar
b) Definir si el riesgo es potencial o real
c) Determinar las consecuencias para las personas, económicas, ambientales y de imagen de la empresa. Estimar dependiendo del caso particular que analiza
d) Buscar el punto de cruce dentro de la matriz correspondiente a la consecuencia (1, 2, 3, 4, 5) y a la frecuencia determinada (a, b, c, d, e): esa será la valoración del riesgo para cada clase.
e) Repetir el proceso para la siguiente clase hasta que cubra todas las posibles pérdidas
f) Tomar el caso más crítico de los cuatro puntos de cruce, el cual será la categoría o nivel del riesgo
g) Tomar las decisiones o acciones

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

*Tabla 9: Matriz de análisis de riesgos*

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación, se presenta el análisis de riesgo eléctrico del proyecto:

| Factor de Riesgo | Codificación | Nivel de riesgo | |
|---|---|---|---|
| Arcos eléctricos | D2 | BAJO | Se mantuvieron distancias de seguridad, y se usó material de protección. Se usaron conectores certificados para empalmes y uniones. |
| Ausencia de electricidad | C1 | BAJO | Cuenta con planta de suplencia (UPS). |
| Contacto directo | D3 | MEDIO | Tableros de acuerdo con la norma, con aislamiento de partes activas, puesta a tierra, mantenimiento a realizado exclusivamente por personal técnico capacitado. Cerramiento con reja a la subestación. |
| Contacto indirecto | E5 | MEDIO | Se respetaron distancias de seguridad, se cuenta con conexiones equipotenciales, sistema de puesta a tierra y se recomienda mantenimiento preventivo y correctivo. |
| Corto circuito | C4 | MEDIO | Se cuenta con fusibles en media tensión para la protección de la instalación. |
| Electricidad estática | C1 | BAJO | Se cuenta con conexiones equipotenciales, sistema de puesta a tierra. |
| Equipo defectuoso | C1 | BAJO | Diseño cumpliendo con las normas técnicas, puesta a tierra y uso de equipo certificado, instalado por personal capacitado. |
| Rayos | C1 | BAJO | Se diseña sistema de apantallamiento cumpliendo con las normas vigentes. |
| Sobrecarga | C2 | BAJO | Se cuenta con interruptores automáticos con dispositivo de disparo de máxima corriente. Dimensionamiento de conductores y equipos de acuerdo con la norma. |
| Tensión de contacto | E5 | MEDIO | La instalación cuenta con puesta a tierra de baja resistencia, restricción de accesos, alta resistividad del piso y sistema eléctrico correctamente equipotencializado. |
| Tensión de paso | E5 | MEDIO | La instalación cuenta con puesta a tierra de baja resistencia, restricción de accesos, alta resistividad del piso y sistema eléctrico correctamente equipotencializado. |

*Tabla 10: Análisis de riesgo*

Debido a que ninguno de los factores de riesgo cuenta con niveles o grados críticos, no se requiere tomar decisiones o acciones drásticas de mitigación al respecto.

# 7. Análisis de Tensión Requerida

La evaluación de la tensión necesaria se bifurca en dos escenarios distintos, atendiendo a las particularidades del proyecto en cuestión. Para el segmento de media tensión, la determinación se rige por las condiciones de servicio o factibilidad, dictaminadas por Administración de Red. Por otro lado, en lo que respecta a la baja tensión, la valoración se basa en las tensiones requeridas por los equipos que se van a implementar. En este escenario, se identifica el porcentaje de mayor impacto para así asegurar que las condiciones de operación de los equipos se mantengan dentro de los parámetros óptimos.

## 7.1. Análisis de tensión requerida en media tensión

Basados en las condiciones de servicio del proyecto, se tiene que:

| TENSION [Kv] |
|---|
| 0.220 kV |

*Tabla 11: Tensión requerida en BT*

## 7.2. Análisis de tensión requerida en baja tensión:

La Tabla 19 presentada a continuación ilustra el nivel de tensión requerida en baja tensión:

| TIPO DE CARGA | 120 (V) | 220(V) |
|---|---|---|
| Iluminación | SI | NO |
| Tomas equipos | SI | NO |
| Congelador | NO | SI |
| Horno | NO | SI |
| Sistemas de emergencia | SI | NO |
| Racks | SI | NO |

*Tabla 12: Tensión requerida BT*

El nivel de tensión requerido en baja tensión es 220/120 V.

# 8. Cálculo de Campos Electromagnéticos

No es aplicable para este proyecto.

# 9. Cálculo de Transformador

No es aplicable para este proyecto.

# 10. Cálculo del Sistema de Puesta a Tierra

El Sistema de Puesta a Tierra (SPT) del Centro de Atención Inmediata (CAI) se diseñó con el propósito de proporcionar una trayectoria efectiva para las corrientes de falla, garantizar la actuación adecuada de los dispositivos de protección, controlar las tensiones de contacto y paso, y establecer la equipotencialidad de las masas metálicas de la instalación, en cumplimiento de los requisitos establecidos en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE, adoptado mediante la Resolución 40117 de 2024 y modificado por la Resolución 40284 de 2026, así como de las disposiciones aplicables de la NTC 2050.

## 10.1. Criterios de diseño

El diseño del Sistema de Puesta a Tierra se desarrolló considerando los siguientes criterios técnicos:

- Garantizar una trayectoria permanente y de baja impedancia para las corrientes de falla.
- Favorecer la operación de las protecciones contra sobrecorriente.
- Mantener la equipotencialidad entre el tablero general, las canalizaciones metálicas y las masas de los equipos.
- Permitir la verificación del desempeño del sistema mediante medición una vez ejecutada la instalación.

## 10.2. Parámetros del proyecto

| Parámetro | Valor |
|---|---|
| Tipo de instalación | Centro de Atención Inmediata (CAI) |
| Potencia instalada | 6.53 kVA |
| Tensión de servicio | 120/240 V |
| Sistema eléctrico | Monofásico |
| Frecuencia | 60 Hz |

## 10.3. Configuración del sistema

Se proyecta un Sistema de Puesta a Tierra compuesto por un electrodo vertical tipo varilla Copperweld de 5/8" × 2,40 m, conectado al tablero general mediante conductor de cobre desnudo, utilizando conectores aptos para puesta a tierra y una caja de inspección que permita realizar las verificaciones y mediciones posteriores del sistema.

## 10.4. Cálculo del electrodo de puesta a tierra

Para el Sistema de Puesta a Tierra (SPT) del Centro de Atención Inmediata (CAI) se proyectó un electrodo vertical tipo varilla Copperweld de 5/8" × 2,40 m, instalado verticalmente y conectado al sistema de puesta a tierra mediante conductor de cobre, conforme a los criterios establecidos en el RETIE vigente y la NTC 2050. La estimación de la resistencia del electrodo se realizó mediante la ecuación de Dwight, reconocida por la norma IEEE Std. 81 para electrodos verticales.

### Datos de diseño

| **Parámetro** | **Valor** |
|---|---|
| Tipo de electrodo | Varilla Copperweld |
| Diámetro | 5/8" (15,9 mm) |
| Longitud | 2,40 m |
| Profundidad de instalación | Vertical |
| Resistividad aparente del terreno (ρ\rhoρ) | 50 Ω·m |

La resistividad adoptada corresponde a un valor representativo para suelos arcillo-arenosos y sedimentarios del municipio de Neiva (Huila), utilizada como parámetro de diseño preliminar hasta la verificación mediante medición en campo.

La resistencia del electrodo se estimó mediante la siguiente expresión:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L}\left[\ln\left(\frac{8L}{d}\right) - 1\right]$$

Donde:

- R = Resistencia del electrodo (Ω)
- ρ= Resistividad del terreno (Ω·m)=50
- L = Longitud del electrodo (m)=2.4

- d = Diámetro del electrodo (m)=0.0159

realizando los cálculos antes mencionados, el valor de R=20.22Ω

Este valor se encuentra por debajo del valor de referencia de 25 Ω establecido por el RETIE para el punto neutro de acometidas en baja tensión. No obstante, el RETIE establece que el cumplimiento de dicho valor no exime al diseñador y constructor de garantizar el control de las tensiones de paso, contacto y transferidas, por lo que el desempeño definitivo del sistema deberá verificarse mediante medición con telurómetro utilizando el método de caída de potencial conforme a la IEEE Std. 81 antes de la puesta en servicio de la instalación.

## 10.5. Verificación del sistema

Una vez finalizada la construcción del Sistema de Puesta a Tierra deberán realizarse, como mínimo, las siguientes verificaciones:

- Medición de la resistencia del sistema mediante telurómetro.
- Verificación de la continuidad del conductor de puesta a tierra.
- Inspección de las conexiones mecánicas y eléctricas del sistema.
- Confirmación de la equipotencialidad entre las masas metálicas de la instalación y el sistema de puesta a tierra.

Los resultados de estas verificaciones deberán quedar registrados como parte de la documentación técnica de la instalación para demostrar el cumplimiento de los requisitos establecidos en el RETIE vigente.

# 11. Cálculo Económico De Conductores

En el diseño y la planificación de sistemas eléctricos, la selección de conductores eléctricos adecuados desempeña un papel crucial ya que, no solo se busca asegurar la transmisión eficiente de la energía eléctrica, sino también optimizar los costos asociados a la adquisición y la operación de estos conductores. El cálculo económico de conductores eléctricos es una etapa fundamental en la toma de decisiones y permite equilibrar el rendimiento técnico con los aspectos financieros y presupuestarios. Este capítulo se centra en el cálculo económico de conductores y aborda selección de conductores y costos asociados, tanto en media como baja tensión.

## 11.1. Método para el cálculo de conductores

Datos iniciales:

a. Carga a soportar ($S$)
b. Factor de potencia ($fp$)
c. Tensión de servicio ($V$)
d. Temperatura ambiente ($T_a$) Tabla 310-15B2a, NTC2050
e. Cantidad de conductores portadores de corriente ($vo$), Tabla 310-15B3a

Formulas necesarias para el cálculo de corriente:

$$i = \frac{S}{V * \sqrt{3}}$$

$$i' = i * T_a$$

$$i'' = i' * vo$$

Tablas necesarias para la selección de conductores en media tensión:

a. Tabla 310-60C85, Capacidad de corriente (ampacity) de cables de tres conductores o ternas de cables individuales aislados, de cobre, en tubo conduit
b. Tabla 310-60C86, Capacidad de corriente (ampacity) de cables de tres conductores o ternas de cables individuales aislados, de aluminio, en tubo conduit
c. CS311, Capacidad de corriente para cables triplex de media tensión de 15 kV y 35 kV

Tablas necesarias para la selección de conductores en baja tensión:

a. Tabla 310-15B16, Capacidades de corriente (Ampacity) permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2 000 V y 60 °C a 90 °C.

## 11.2. Dimensionamiento de red en baja tensión

Para el cálculo de conductores en baja tensión, se toma la potencia al 100% del transformador y la capacidad diversificada para cada una de las cuentas, dando como resultado los siguientes conductores:

| ITEM | TRAMO | | POTENCIA | TENSION | CORRIENTE | F. TEMPERATURA | N. CONDUCTORES | PROTECCION | CONDUCTOR | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | DESDE | HASTA | kVA | V | A | % | % | | CU | AL |
| 1 | RED DE DISTRIBUCION | TABLERO DE MEDIDA | 6.53 | 220 | 17.15 | 105% | 80% | 2X60 | 2X8 AWG+ 8AWG | 2X6 AWG+ 6AWG |
| 2 | TABLERO DE MEDIDA | TABLERO PRINCIPAL | 6.53 | 220 | 17.15 | 105% | 80% | 2X60 | 2X8 AWG+ 8AWG | 2X6 AWG+ 6AWG |

*Tabla 13: Dimensionamiento en baja tensión*

## 11.3. Cálculo económico

A continuación, se encuentra un cálculo aproximado de los valores y costos de los conductores:

Para la alimentación eléctrica del proyecto se selecciona un cable concéntrico de cobre 2×8 AWG, correspondiente a una acometida monofásica trifilar para un sistema de tensión 120/240 V. La selección del conductor se realiza considerando la capacidad de corriente requerida por la carga instalada, las condiciones de operación del sistema y los criterios técnicos establecidos por el RETIE vigente y los requerimientos técnicos aplicables del operador de red.

El conductor calibre 8 AWG en cobre proporciona una capacidad de conducción de corriente adecuada para la demanda prevista, permitiendo alimentar la carga proyectada con un margen técnico apropiado. Asimismo, la utilización de cable concéntrico facilita la instalación de la acometida y proporciona una configuración adecuada para sistemas de distribución en baja tensión.

La selección del conductor se complementa con la verificación de la caída de tensión, las condiciones de instalación, la capacidad de corriente de los dispositivos de protección y la coordinación con los demás elementos de la instalación eléctrica, garantizando que el sistema opere de manera segura y confiable.

Por lo anterior, se adopta el cable concéntrico 2×8 AWG en cobre como conductor de acometida, al cumplir con las condiciones eléctricas requeridas para la carga proyectada y con los criterios técnicos y reglamentarios aplicables.

# 12. Verificación de los conductores

La verificación de conductores es otro de los componentes esenciales en el proceso de diseño, implementación y mantenimiento de sistemas eléctricos. La seguridad, la eficiencia y el cumplimiento de las normativas en las instalaciones eléctricas dependen en gran medida de la capacidad de los conductores para transportar corriente eléctrica de manera confiable y segura. Este capítulo se dedica a explorar el proceso de verificación de conductores, para asegurar, en gran parte, la eficiencia del sistema.
Debido a que en capítulos anteriores ya se llevó a cabo el dimensionamiento de conductores tanto en media como en baja tensión, este capítulo se enfocará especialmente en determinar el nivel de cortocircuito por cada conductor a utilizar en la instalación.

## 12.1. Nivel de cortocircuito en conductores

Para calcular la corriente de corto circuito que puede soportar el aislamiento del conductor, en necesario recurrir a los valores entregados por el fabricante para el área del conductor y su aislamiento. Como se ve a continuación:

| Conductor | | | Espesor Aislamiento | Espesor Cubierta | Diámetro Exterior Aproximado | Peso Total Aproximado | Ampacidad[1] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tipo | Calibre | Diámetro | | | | | |
| | AWG / kcmil | mm | mm | mm | mm | kg/km | A |
| Alambre | 14 | 1,63 | 0,38 | 0,10 | 2,73 | 23 | 25 |
| | 12 | 2,05 | 0,38 | 0,10 | 3,15 | 35 | 30 |
| | 10 | 2,59 | 0,51 | 0,10 | 3,95 | 56 | 40 |
| | 8 | 3,26 | 0,76 | 0,13 | 5,20 | 91 | 55 |
| Cable | 14 | 1,79 | 0,38 | 0,10 | 2,89 | 25 | 25 |
| | 12 | 2,26 | 0,38 | 0,10 | 3,36 | 37 | 30 |
| | 10 | 2,85 | 0,51 | 0,10 | 4,21 | 59 | 40 |
| | 8 | 3,59 | 0,76 | 0,13 | 5,53 | 96 | 55 |
| | 6 | 4,53 | 0,76 | 0,13 | 6,47 | 146 | 75 |
| | 4 | 5,71 | 1,02 | 0,15 | 8,23 | 233 | 95 |
| | 2 | 7,20 | 1,02 | 0,15 | 9,72 | 356 | 130 |
| | 1 | 7,95 | 1,27 | 0,18 | 11,05 | 450 | 150 |
| | 1/0 | 8,93 | 1,27 | 0,18 | 12,03 | 558 | 170 |
| | 2/0 | 10,02 | 1,27 | 0,18 | 13,12 | 693 | 195 |
| | 3/0 | 11,25 | 1,27 | 0,18 | 14,35 | 862 | 225 |
| | 4/0 | 12,64 | 1,27 | 0,18 | 15,74 | 1074 | 260 |
| | 250 | 14,18 | 1,52 | 0,20 | 17,86 | 1282 | 290 |
| | 300 | 15,54 | 1,52 | 0,20 | 19,22 | 1524 | 320 |
| | 350 | 16,78 | 1,52 | 0,20 | 20,46 | 1785 | 350 |
| | 400 | 17,93 | 1,52 | 0,20 | 21,61 | 2005 | 380 |
| | 500 | 20,05 | 1,52 | 0,20 | 23,73 | 2485 | 430 |

*Tabla 14: Datos del fabricante para los conductores*

# 13. Cálculo, Simulación y Coordinación de Protecciones

Las protecciones eléctricas son fundamentales durante la construcción e instalación de un proyecto, por lo que su cálculo, y eventual coordinación, son aspectos esenciales del diseño de sistemas eléctricos, pues estos garantizan la operación segura y confiable de la instalación en caso de fallas o cortocircuitos. Este capítulo se centra en el cálculo de la coordinación de protecciones, la cual busca optimizar la selectividad y la velocidad de respuesta de los dispositivos de protección en un sistema eléctrico.

Además de la coordinación de protecciones en sí, este capítulo abarca todo el proceso de caracterización y simulación del proyecto, incluyendo flujo de potencia y

simulación de fallas, lo que permitió validar que las protecciones hubieran sido debidamente seleccionadas y coordinadas.

## 13.1. Diagrama Unifilar

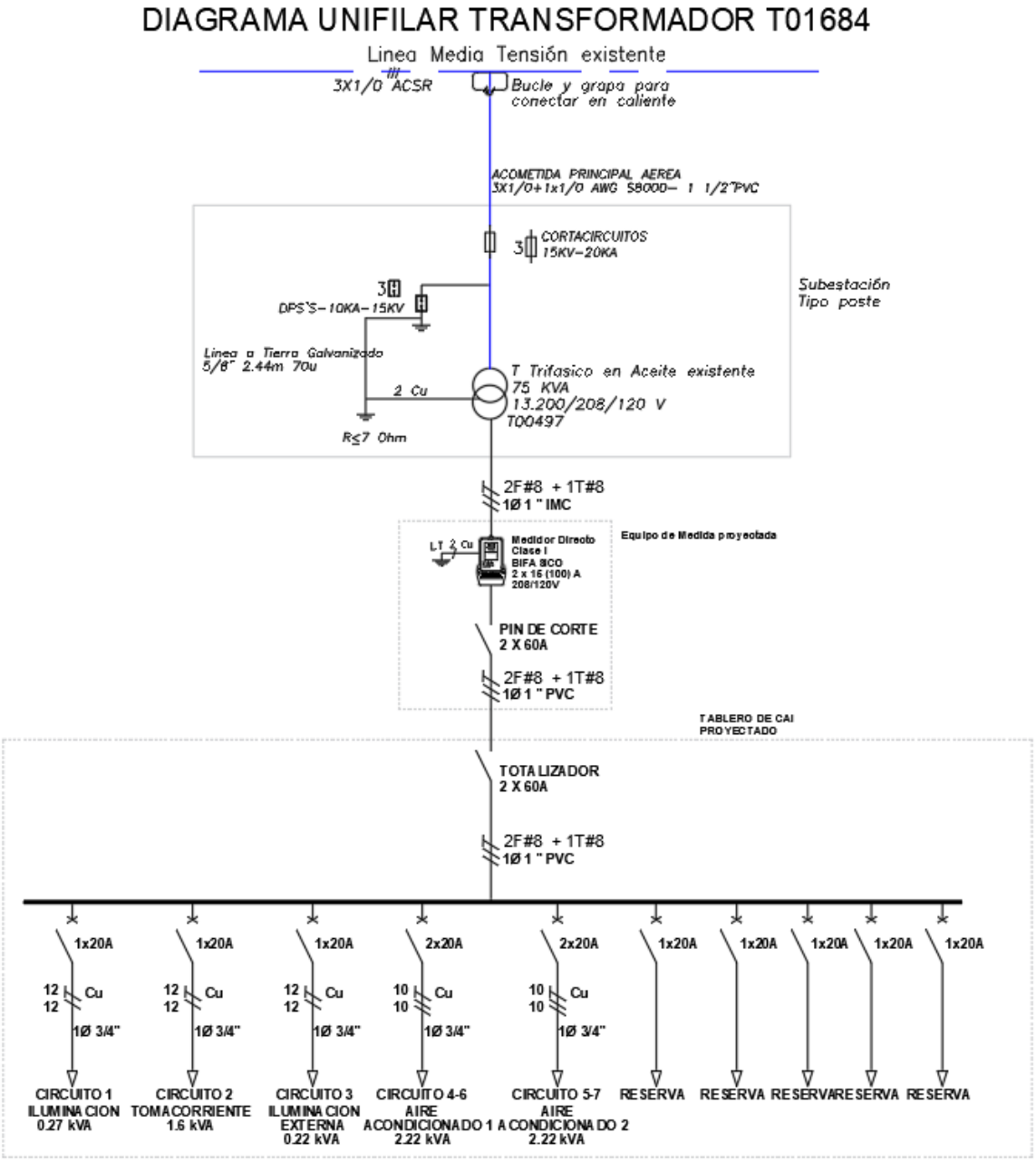



*Imagen 13: Diagrama unifilar del proyecto*

Con base en el calibre y la potencia instalable de los conductores seleccionados para la acometida, y considerando la corriente demandada por los circuitos, se establece lo siguiente:

- El circuito 1 presenta una corriente de fase estimada de 2.1A.
- El circuito 2 presenta una corriente de fase estimada de 12.598A.
- El circuito 3 presenta una corriente de fase estimada de 1.75A.

De acuerdo con los cálculos de caída de tensión y pérdidas de potencia, y en función de la capacidad de conducción de los conductores seleccionados, como se detalla previamente en este documento, se determina la siguiente configuración de protección:

| ITEM | TRAMO | | POTENCIA | CONDUCTOR | | PROTECCION | TIPO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | DESDE | HASTA | kVA | Cu | Al | A | |
| 1 | RED DE DISTRIBUCION | TABLERO DE MEDIDA | 6.53 | 2X8 AWG+ 8AWG | 2X6 AWG+ 6AWG | 2X60 | FIJO |
| 2 | TABLERO DE MEDIDA | TABLERO PRINCIPAL | 6.53 | 2X8 AWG+ 8AWG | 2X6 AWG+ 6AWG | 2X60 | FIJO |

- Breakers de protección:

  - Circuito 1: 1x 20A
  - Circuito 2: 1x 20A
  - Circuito 3: 1x 20A
  - Circuito 4-6: 2x 20A
  - Circuito 5-7: 2x 20A

Todos los dispositivos de protección cuentan con una capacidad interruptiva de 15 kA, cumpliendo con los requisitos del nivel de cortocircuito estimado en el sistema.

Para el detalle completo de los cálculos, verificar los anexos de diseño y cuadros de carga.

# 14. Cálculo de Canalizaciones

Las canalizaciones para conductores eléctricos son un componente fundamental en la infraestructura de un sistema eléctrico, desempeñando un papel crucial en la protección y el enrutamiento seguro de los cables y conductores. El diseño y el cálculo de estas canalizaciones son esenciales para garantizar la integridad de las instalaciones eléctricas, la seguridad de las personas y el cumplimiento de las normativas.

Este estudio se realizó tomando como base la norma NTC 2050 en las tablas C4 y C10, como se ve a continuación:

| Letras de tipo | Sección del cable AWG/ Kcmils | Sección comercial en pulgadas | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ½ | ¾ | 1 | 1 ¼ | 1 ½ | 2 | 2 ½ | 3 | 3 ½ | 4 |
| THHN, THWN, THWN-2 | 14 | 14 | 24 | 39 | 68 | 91 | 149 | 211 | 326 | 436 | 562 |
| | 12 | 10 | 17 | 29 | 49 | 67 | 109 | 154 | 238 | 318 | 410 |
| | 10 | 6 | 11 | 18 | 31 | 42 | 68 | 97 | 150 | 200 | 258 |
| | 8 | 3 | 6 | 10 | 18 | 24 | 39 | 56 | 86 | 115 | 149 |
| | 6 | 2 | 4 | 7 | 13 | 17 | 28 | 40 | 62 | 83 | 107 |
| | 4 | 1 | 3 | 4 | 8 | 10 | 17 | 25 | 38 | 51 | 66 |
| | 3 | 1 | 2 | 4 | 6 | 9 | 15 | 21 | 32 | 43 | 56 |
| | 2 | 1 | 1 | 3 | 5 | 7 | 12 | 17 | 27 | 36 | 47 |
| | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 5 | 9 | 13 | 20 | 27 | 35 |
| | 1/0 | 1 | 1 | 1 | 3 | 4 | 8 | 11 | 17 | 23 | 29 |
| | 2/0 | 1 | 1 | 1 | 3 | 4 | 6 | 9 | 14 | 190 | 24 |
| | 3/0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 3 | 5 | 7 | 12 | 16 | 20 |
| | 4/0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 6 | 9 | 13 | 17 |
| | 250 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 3 | 5 | 8 | 10 | 13 |
| | 300 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 3 | 4 | 7 | 9 | 12 |
| | 350 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| | 400 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 5 | 7 | 9 |
| | 500 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 3 | 4 | 6 | 7 |
| | 600 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 5 | 6 |
| | 700 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 4 | 5 |
| | 750 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 4 | 5 |
| | 800 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 3 | 4 | 5 |
| | 900 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | 1000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| FEP, FEPB, PFA, PFAH, TFE | 14 | 13 | 23 | 38 | 66 | 89 | 145 | 205 | 317 | 423 | 545 |
| | 12 | 10 | 17 | 28 | 48 | 65 | 106 | 150 | 231 | 309 | 398 |
| | 10 | 7 | 12 | 20 | 34 | 46 | 76 | 107 | 166 | 221 | 285 |
| | 8 | 4 | 7 | 11 | 19 | 26 | 43 | 61 | 95 | 127 | 163 |
| | 6 | 3 | 5 | 8 | 14 | 19 | 31 | 44 | 67 | 90 | 116 |
| | 4 | 1 | 3 | 5 | 10 | 13 | 21 | 30 | 47 | 63 | 81 |
| | 3 | 1 | 3 | 4 | 8 | 11 | 18 | 25 | 39 | 52 | 68 |
| PFA, PFAH, TFE | 2 | 1 | 2 | 4 | 6 | 9 | 15 | 21 | 32 | 43 | 56 |
| | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 6 | 10 | 14 | 22 | 30 | 39 |

Tabla C10A. Número máximo de conductores compactos en tubo conduit rígido de PVC, Schedule 40 y en tubos de PEAD (HDPE) (según la Tabla 1, Capítulo 9)

| Letras de tipo | Sección transversal del conductor | | Tamaño comercial mm pulgadas | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | mm² | AWG kcmil | 16 ½ | 21 ¾ | 27 1 | 36 1 ¼ | 41 1 ½ | 53 2 | 63 2 ½ | 78 3 | 91 3 ½ | 103 4 | 129 5 | 155 6 |
| THW, THW-2, THHW | 8,36 | 8 | 1 | 4 | 6 | 11 | 15 | 26 | 37 | 57 | 76 | 98 | 155 | 224 |
| | 13,29 | 6 | 1 | 3 | 5 | 9 | 12 | 20 | 28 | 44 | 59 | 76 | 119 | 173 |
| | 21,14 | 4 | 1 | 1 | 3 | 6 | 9 | 15 | 21 | 33 | 44 | 57 | 89 | 129 |
| | 33,62 | 2 | 1 | 1 | 2 | 5 | 6 | 11 | 15 | 24 | 32 | 42 | 66 | 95 |
| | 42,20 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 4 | 7 | 11 | 17 | 23 | 29 | 46 | 67 |
| | 53,50 | 1/0 | 0 | 1 | 1 | 3 | 4 | 6 | 9 | 15 | 20 | 25 | 40 | 58 |
| | 67,44 | 2/0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 3 | 5 | 8 | 12 | 16 | 21 | 34 | 49 |
| | 85,02 | 3/0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 3 | 5 | 7 | 10 | 14 | 18 | 29 | 42 |
| | 107,21 | 4/0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 5 | 9 | 12 | 15 | 24 | 35 |
| | 126,67 | 250 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 3 | 4 | 7 | 9 | 12 | 19 | 27 |
| | 152,01 | 300 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 16 | 24 |
| | 177,34 | 350 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 5 | 7 | 9 | 15 | 21 |
| | 202,68 | 400 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 3 | 5 | 6 | 8 | 13 | 19 |
| | 253,35 | 500 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 5 | 7 | 11 | 16 |
| | 304,02 | 600 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 4 | 5 | 9 | 13 |
| | 354,69 | 700 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 3 | 4 | 5 | 8 | 12 |
| | 380,02 | 750 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 5 | 7 | 11 |
| | 506,70 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 4 | 6 | 9 |

Dejando la siguiente relación de conductores y tubería a utilizar para darle cumplimiento.

| ITEM | TRAMO | | CONDUCTOR | TUBERIA |
|---|---|---|---|---|
| | DESDE | HASTA | Al | TOPOLOGIA |
| 1 | RED DE DISTRIBUCION | TABLERO DE MEDIDA | 2X8 AWG+ 8AWG | 1" |
| 2 | TABLERO DE MEDIDA | TABLERO PRINCIPAL | 2X8 AWG+ 8AWG | 1" |

# 15. Cálculo de pérdidas en conductores

Para poder llevar a cabo este estudio de pérdidas de energía, es necesario calcular las pérdidas que genera el efecto Joule en los conductores (Pérdidas en forma de calor), las cuales, aunque pueden parecer despreciables dependiendo del nivel de tensión, tamaño del tramo y calibre del conductor, terminan siendo un factor considerablemente influyente en las pérdidas de energía, especialmente bajo un análisis a largo plazo y al evaluar la totalidad de los componentes del sistema.

La siguiente tabla, muestra el cálculo llevado a cabo teniendo en cuenta resistencia, corriente, potencia y energía consumida en cada conductor.

| Cálculo de Regulación ACOMETIDA | Longitud tramo (m) | # Usuarios | Carga instalada (kVA) | Carga x conductor (kVA) | Momento electrico (M=kVA x m) | Fases trafo | Tipo de red | Conductor | fp | KG conductor | Voltaje (V) | I (A) | r (Ohm/km) | $PL\% = \frac{r \times M}{V_L^2 \times fp} \times 100$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | | |
| **TRANSFORMADOR A CELDA DE MEDIDA** | 18 | 1 | 2.1 | 2.09 | 37.6 | 2 | FFN | 8 Cu | 0.95 | 234.6 | 220 | 5.48 | 2.10 | 0.1718 |
| **CELDA DE MEDIDA A TABLERO PRINCIPAL** | 10 | 1 | 2.1 | 2.09 | 20.9 | 2 | FFN | 8 Cu | 0.95 | 234.6 | 220 | 5.48 | 2.10 | 0.0955 |
| **TABLERO PRINCIPAL A TOMACORRIENTE MAS LEJANA** | 8 | 1 | 0.2 | 0.20 | 1.6 | 1 | FN | 12 Cu | 0.95 | 574.5 | 127 | 0.91 | 5.35 | 0.0559 |
| **TABLERO PRINCIPAL A LUMINARIA MAS LEJANA** | 6 | 1 | 0.7 | 0.72 | 4.3 | 1 | FN | 12 Cu | 0.95 | 574.5 | 127 | 3.27 | 5.35 | 0.1508 |
| **TABLERO PRINCIPAL A AIRE ACONDICIONADO MAS LEJANO** | 6 | 1 | 2.2 | 2.20 | 13.2 | 2 | FFFN | 10 Cu | 0.95 | 363.8 | 220 | 5.77 | 3.35 | 0.0962 |

# 16. Cálculo de Regulación

La regulación es una consideración fundamental en el diseño y operación de sistemas eléctricos, ya que influye directamente en la eficiencia y confiabilidad de la generación, distribución y consumo de energía eléctrica. Este capítulo se centra en los cálculos de regulación, un proceso esencial para determinar cómo las variables eléctricas, pueden ser controladas y gestionadas de manera efectiva.

Los límites de regulación de tensión en los circuitos urbanos son:

• Para circuitos primarios: 2%

• Transformador de distribución (con el transformador a un 140% de su capacidad nominal): 4%

• Circuitos secundarios o acometidas desde bornes del transformador: 3%

• Acometida hasta el medidor: 1%

Para el área rural los límites de regulación son:

• Para circuitos primarios: 5% a partir de la subestación de subtransmisión.

Para circuitos de baja tensión: 7% a partir del transformador de distribución hasta el punto de medición

Teniendo esto en cuenta se dieron los siguientes resultados.

| CUADRO DE REGULACIÓN DE VOLTAJE ACOMETICAS AC | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Cálculo de Regulación ACOMETIDA* | *Longitud tramo (m)* | *# Usuarios* | *Carga instalada (kVA)* | *Carga x conductor (kVA)* | *Momento electrico (M=kVA x m)* | *Fases trafo* | *Tipo de red* | *Conductor* | *fp* | *KG conductor* | *Voltaje (V)* | *Fc* | $K = Fc\frac{Kg}{V_L^2}$ | *R %= K*M* | *Reagulacion acumulada [%]* |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| ***TRANSFORMADOR A CELDA DE MEDIDA*** | *18* | *1* | *2.1* | *2.09* | *37.6* | *2* | *FFN* | *8 Cu* | *0.95* | *234.6* | *220* | *1.00* | *5.E-03* | *0.1824* | *0.1824* |
| ***CELDA DE MEDIDA A TABLERO PRINCIPAL*** | *10* | *1* | *2.1* | *2.09* | *20.9* | *2* | *FFN* | *8 Cu* | *0.95* | *234.6* | *220* | *1.00* | *5.E-03* | *0.1013* | *0.1013* |
| ***TABLERO PRINCIPAL A TOMACORRIENTE MAS LEJANA*** | *8* | *1* | *0.2* | *0.20* | *1.6* | *1* | *FN* | *12 Cu* | *0.95* | *574.5* | *127* | *1.00* | *4.E-02* | *0.0570* | *0.1583* |
| ***TABLERO PRINCIPAL A LUMINARIA MAS LEJANA*** | *6* | *1* | *0.7* | *0.72* | *4.3* | *1* | *FN* | *12 Cu* | *0.95* | *574.5* | *127* | *1.00* | *4.E-02* | *0.1539* | *0.2552* |
| ***TABLERO PRINCIPAL A AIRE ACONDICIONADO MAS LEJANO*** | *6* | *1* | *2.2* | *2.20* | *13.2* | *2* | *FFFN* | *10 Cu* | *0.95* | *363.8* | *220* | *1.00* | *8.E-03* | *0.0992* | *0.2005* |

# 17. Clasificación de Áreas

Debido a que la instalación no es especial, pues no posee áreas clasificadas como peligrosas o de alto riesgo en donde pueden generarse atmósferas potencialmente explosivas debido a condiciones locales y operacionales, que permitan que continúe un proceso de combustión después que tuvo lugar una ignición, no se requiere clasificación de áreas ni lo estipulado en el artículo 3.28.3 del RETIE 2024.

# 18. Distancias de Seguridad

Guardar distancias respecto a partes energizadas, teniendo en cuenta que el aire es un excelente aislante, siempre es la técnica más efectiva de prevención frente al riesgo eléctrico, por lo que, fijar las distancias mínimas que deben guardarse para evitar contactos accidentales es una parte fundamental del diseño eléctrico, siendo un factor a tener en cuenta incluso antes de iniciar una construcción. Este capítulo busca estipular las distancias de seguridad que se deben mantener, tanto en las líneas eléctricas y elementos físicos existentes, como en relación con el personal técnico y aquel no calificado para la manipulación de equipos y acceso a zonas energizadas.

Este capítulo bebe, principalmente, del Título 10 del Libro 3 (Distancias de seguridad), el artículo 3.20.51. (Distancias de seguridad en redes de distribución) y el artículo 3.20.6.3 (Conductores subterráneos) del RETIE 2024, los cuales hacen referencia distancias de seguridad.

| DISTANCIAS MINIMAS 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 13.1). | 44/34,5/33 | 3,8 |
| | 13,8/13,2/11,4/7,6 | 3,8 |
| | <1 | 0,45 |
| Distancia horizontal **"b"** a muros, balcones, salientes, ventanas y diferentes áreas independientemente de la facilidad de accesibilidad de personas. (Figura 13.1) | 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 13.1) | 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 13.1) para vehículos de más de 2,45 m de altura. | 115/110 | 6,1 |
| | 66/57,5 | 5,8 |
| | 44/34,5/33 | 5,6 |
| | 13,8/13,2/11,4/7,6 | 5,6 |
| | <1 | 5 |

Igualmente, en instalaciones construidas bajo criterio de la norma **IEC 60364**, para tensiones mayores de **1 kV**, se deben tener en cuenta y aplicar las distancias de la **IEC 61936 -1**.

Únicamente se permite el paso de conductores por encima de construcciones (distancia vertical "**a**") cuando el tenedor de la instalación eléctrica tenga absoluto control, tanto de la instalación eléctrica como de las modificaciones de la edificación o estructura de la planta. Entendido esto como la administración, operación y mantenimiento, tanto de la edificación como de la instalación eléctrica.

En ningún caso se permitirá el paso de conductores de redes o líneas del servicio público, por encima de edificaciones donde se tenga presencia de personas.

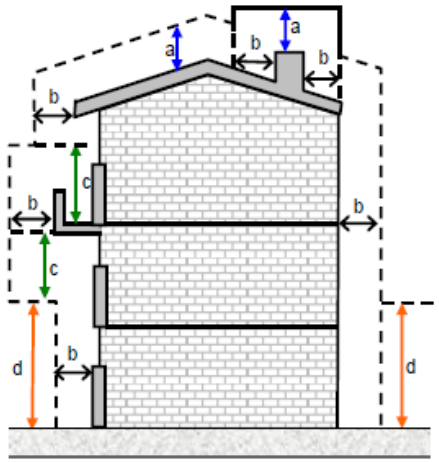



**Figura 13.1. Distancias de seguridad en zonas con construcciones**

En líneas de trasmisión o redes de distribución, la altura de los conductores respecto del piso o de la vía, como lo señalan las Figuras 13.2 y 13.3, no podrá ser menor a las establecidas en la Tabla 13.2 del RETIE.

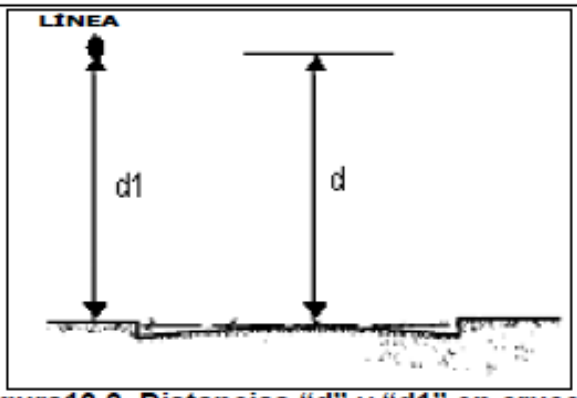



**Figura13.2. Distancias "d" y "d1" en cruce y recorridos de vías**

| Descripción | Tensión nominal entre fases (kV) | Distancia (m) |
|---|---|---|
| Distancia mínima al suelo "d" en cruces con carreteras, calles, callejones, zonas peatonales, áreas sujetas a tráfico vehicular (Figura 13.2). | 500 | 11,5 |
| | 230/220 | 8,5 |
| | 115/110 | 6,1 |
| | 66/57,5 | 5,8 |
| | 44/34,5/33 | 5,6 |
| | 13,8/13,2/11,4/7,6 | 5,6 |
| | <1 | 5,0 |
| Cruce de líneas aéreas de baja tensión en grandes avenidas. | <1 | 5,6 |
| Distancia mínima al suelo "d1" desde líneas que recorren avenidas, carreteras y calles (Figura 13.2). | 500 | 11,5 |
| | 230/220 | 8,0 |
| | 115/110 | 6,1 |
| | 66/57,5 | 5,8 |
| | 44/34,5/33 | 5,6 |
| | 13,8/13,2/11,4/7,6 | 5,6 |
| | <1 | 5,0 |
| Distancia mínima al suelo "d" en zonas de bosques de arbustos, áreas cultivadas, pastos, huertos, etc. Siempre que se tenga el control de la altura máxima que pueden alcanzar las copas de los arbustos o huertos, localizados en la zonas de servidumbre (Figura 13.2). | 500 | 8,6 |
| | 230/220 | 6,8 |
| | 115/110 | 6,1 |
| | 66/57,5 | 5,8 |
| | 44/34,5/33 | 5,6 |
| | 13,8/13,2/11,4/7,6 | 5,6 |
| | <1 | 5,0 |
| En áreas de bosques y huertos donde se dificulta el control absoluto del crecimiento de estas plantas y sus copas puedan ocasionar acercamientos peligrosos, se requiera el uso de maquinaria agrícola de gran altura o en cruces de ferrocarriles sin electrificar, se debe aplicar como distancia "e" estos valores (Figura 13.3)[5] | 500 | 11,1 |
| | 230/220 | 9,3 |
| | 115/110 | 8,6 |
| | 66/57,5 | 8,3 |
| | 44/34,5/33 | 8,1 |
| | 13,8/13,2/11,4/7,6 | 8,1 |
| | <1 | 7,5 |
| Distancia mínima vertical en el cruce "f" a los conductores alimentadores de ferrocarriles electrificados, teleféricos, tranvías y trole-buses (Figura 13.4) | 500 | 4,8 |
| | 230/220 | 3,0 |
| | 115/110 | 2,3 |
| | 66/57,5 | 2,0 |
| | 44/34,5/33 | 1,8 |
| | 13,8/13,2/11,4/7,6 | 1,8 |
| | <1 | 1,2 |
| Distancia mínima vertical respecto del máximo nivel del agua "g" en cruce con ríos, canales navegables o flotantes adecuados para embarcaciones con altura superior a 2 m y menor de 7 m (Figura 13.4) | 500 | 12,9 |
| | 230/220 | 11,3 |
| | 115/110 | 10,6 |
| | 66/57,5 | 10,4 |
| | 44/34,5/33 | 10,2 |
| | 13,8/13,2/11,4/7,6 | 10,2 |
| | <1 | 9,6 |
| Distancia mínima vertical respecto del máximo nivel del agua "g" en cruce con ríos, canales navegables o flotantes, no adecuadas para embarcaciones con altura mayor a 2 m. (Figura 13.4) | 500 | 7,9 |
| | 230/220 | 6,3 |
| | 115/110 | 5,6 |
| | 66/57,5 | 5,4 |
| | 44/34,5/33 | 5,2 |
| | 13,8/13,2/11,4/7,6 | 5,2 |
| | <1 | 4,6 |
| Distancia mínima vertical al piso en cruce por espacios usados como campos deportivos abiertos, sin infraestructura en la zona de servidumbre, tales como graderías, casetas o cualquier tipo de edificaciones ubicadas debajo de los conductores. | 500 | 14,6 |
| | 230/220 | 12,8 |
| | 115/110 | 12 |
| | 66/57,5 | 12 |
| | 44/34,5/33 | 12 |
| | 13,8/13,2/11,4/7,6 | 12 |
| | <1 | 12 |
| Distancia mínima horizontal en cruce cercano a campos deportivos que incluyan infraestructura, tales como graderías, casetas o cualquier tipo de edificación asociada al campo deportivo. | 500 | 11,1 |
| | 230/220 | 9,3 |
| | 115/110 | 7,0 |
| | 66/57,5 | 7,0 |
| | 44/34,5/33 | 7,0 |
| | 13,8/13,2/11,4/7,6 | 7,0 |
| | <1 | 7,0 |

**Tabla 13.2. Distancias mínimas de seguridad para diferentes situaciones**

Distancias obligatorias para la construcción del arranque en media tensión proyectado.

**Anexo General Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE**

Las distancias verticales mínimas en cruces o recorridos paralelos de distintas líneas, no podrán ser menores a las establecidas en la Tabla 13.3.

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

**Tabla 13.3. Distancias verticales mínimas en vanos con líneas de diferentes tensiones**

| CLASE DE CIRCUITO Y TENSIÓN ENTRE LOS CONDUCTORES CONSIDERADOS | DISTANCIAS HORIZONTALES DE SEGURIDAD (cm) |
|---|---|
| Conductores de comunicación expuestos | 15 (1)<br>7,5 (2) |
| Alimentadores de vías férreas<br>0 a 750 V (4/0 AWG o mayor calibre).<br>0 a 750 V (calibre menor de 4/0 AWG).<br>Entre 750 V y 8,7 kV. | <br>15<br>30<br>30 |
| Conductores de suministro del mismo circuito.<br>0 a 8,7 kV<br>Entre 8,7 y 50 kV<br>Más de 50 kV | <br>30<br>30 más 1 cm por kV sobre 8,7 kV<br>Debe atender normas internacionales |
| Conductores de suministro de diferente circuito (3)<br>0 a 8,7 kV<br>Entre 8,7 y 50 kV<br>Entre 50 kV y 814 kV | <br>30<br>30 más 1 cm por kV sobre 8,7 kV<br>71,5 más 1 cm por kV sobre 50 kV |

**Tabla 13.4. Distancia horizontal entre conductores soportados en la misma estructura de apoyo**

***Nota** 1: No se aplica en los puntos de transposición de conductores.*

*Nota 2: Permitido donde se ha usado regularmente espaciamiento entre pines, menor a 15 cm. No se aplica en los puntos de transposición de conductores.*

***Nota** 3: Para las tensiones que excedan los 57,5 kV, la distancia de seguridad debe ser incrementada en un 3% por cada 300 m en exceso de 1000 m sobre el nivel del mar. Todas las distancias de seguridad para tensiones mayores de 50 kV se basarán en la máxima tensión de operación.*

## 19. Justificación técnica de desviación de la NTC 2050 cuando sea permitido, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación.

Para el alcance de este proyecto no es necesario este cálculo.

## 20. Los demás estudios que el tipo de instalación requiera para su correcta y segura operación, tales como condiciones sísmicas, acústicas, mecánicas o térmicas.

Para el alcance de este proyecto no es necesario este cálculo.