# Informe de memorias de cálculo solicitadas por el RETIE

## Proyecto:

Auditorio Fundación Gilberto Álzate Avendaño Bogotá

**REALIZADO POR:**

Ingeniero Santiago Puerta Yarce

MP:AN205-95142

Copacabana Antioquia

Junio 28 de 2024

**MEMORIAS DE CÁLCULO REQUERIDAS POR EL RETIE**

| ÍTEM | APLICA | NO APLICA | JUSTIFICACIÓN |
|---|---|---|---|
| **a.** Análisis y cuadros de cargas iniciales y futuras, incluyendo análisis de factor de potencia y armónicos. | SI | | Página 4 |
| **b.** Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico. | SI | | Página 9 |
| **c.** Análisis de cortocircuito y falla a tierra. | SI | | Página 16 |
| **d.** Análisis de nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos. | SI | | Página 24 |
| **e.** Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos. | SI | | Página 43 |
| **f.** Análisis del nivel tensión requerido. | SI | | Página 48 |
| **g.** Cálculo de campos electromagnéticos para asegurar que, en espacios destinados a actividades rutinarias de las personas, no se superen los límites de exposición definidos en la Tabla 14.1 Resol. 90708 RETIE | | NO | No aplica para este tipo de proyecto (pág. 49) |
| **h.** Cálculo de transformadores incluyendo los efectos de los armónicos y factor de potencia en la carga. | | NO | Página 49 |
| **i.** Cálculo del sistema de puesta a tierra. | | NO | Página 53 |
| **j.** Cálculo económico de conductores, teniendo en cuenta todos los factores de pérdidas, las cargas resultantes y los costos de la energía. | SI | | Página 54 |
| **k.** Verificación 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, IEEEE 242**, capitulo 9 o equivalente. | SI | | Página 64 |
| **l.** Cálculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos. | SI | | Página 67 |
| **m.** Cálculo y coordinación de protecciones contra sobrecorrientes. En baja tensión se permite la coordinación contra las características de limitación de corriente de los dispositivos según **IEC 60947- 2** Anexo A. | SI | | Página 69 |
| **n.** Cálculo de canalizaciones (tubo, ductos, canaletas y electroductos) y volumen de encerramientos (cajas, tableros, conduletas.. | SI | | Página 84 |
| **o.** Cálculos de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia. | SI | | Página 86 |

| ÍTEM | APLICA | NO APLICA | JUSTIFICACIÓN |
|---|---|---|---|
| **p.** Cálculos de regulación. | SI | | Página 88 |
| **q.** Clasificación de áreas. | | NO | No hay áreas clasificadas en el proyecto (Pag 90) |
| **r.** Elaboración de diagramas unifilares. | SI | | Se presenta en los anexos |
| **s.** Elaboración de planos y esquemas eléctricos para construcción. | SI | | Se presenta en los anexos |
| **t.** Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares. | SI | | Se presenta en los anexos |
| **u.** Establecer las distancias de seguridad requeridas. | SI | | Página 96 |
| **v.** 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. | | NO | Página 96 |
| **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 | No se harán estudios adicionales para este proyecto (Pag 97) |

## a. Cuadros de carga

Los cuadros de cargas brindan información de vital relevancia en los diseños eléctricos, ya que permite dimensionar adecuadamente los conductores y protecciones de circuitos ramales, además de permitir un adecuado balance de las fases. Las salidas eléctricas destinadas a equipos específicos se dimensionan de acuerdo con las necesidades eléctricas de voltaje, corriente, potencia y frecuencia del equipo a instalar suministrada por el fabricante del equipo.

En una instalación eléctrica normalmente se conoce el voltaje de alimentación, y la información técnica de los equipos nos suministra ya sea el valor de corriente eléctrica o la potencia que consume. De esta manera se puede calcular la magnitud desconocida mediante las ecuaciones (1) y (2):

$$P_{1\varphi} = I * V * Cos\varphi \qquad (1)$$

$$P_{3\varphi} = \sqrt{3} * I * V * Cos\varphi \qquad (2)$$

Debido a que el consumo de la carga eléctrica no es ideal, pues se pierde parte de la energía en calentamiento y elementos inductivos como motores, se incluye en el cálculo de la potencia activa relacionada en las ecuaciones (1) y (2) un factor de potencia, identificado en las ecuaciones como $cos\emptyset$. El factor de potencia indica una medida de la eficiencia o energía que realmente puede aprovechar determinada carga. La instalación debe dimensionarse a una mayor capacidad a fin de tener en cuenta las pérdidas en el proceso. Dicha potencia se conoce como potencia aparente y se calcula a partir de las ecuaciones (1) y (2) sin tener en cuenta el factor de potencia.

$$S_{1\varphi} = I * V \qquad (3)$$

$$S_{3\varphi} = \sqrt{3} * I * V \qquad (4)$$

El formato para consignar las cargas eléctricas representa la distribución de estas en el tablero por fase (R, S, T), de esta manera se puede proyectar de la manera más balanceada la distribución de cargas den el tablero. A continuación, se detalla la información consignada en el cuadro de cargas, que de izquierda a centro corresponde a:

**Conductores (F – N – T)**: Es el grupo de conductores que soporta la capacidad de corriente del circuito ramal; el conductor de fase y de neutro se calcula al 125% de la corriente nominal del circuito ramal obtenida, mediante la ecuación (3) o (4) de acuerdo con la sección 210 de la NTC 2050. En cuanto al conductor de tierra, este se dimensiona de acuerdo con el valor del dispositivo de protección contra sobrecorrientes del circuito ramal según la tabla 250-95 de la NTC 2050.

**Ducto mínimo:** Corresponde a las canalizaciones que contienen en su interior los conductores de los circuitos ramales. Se debe dimensionar de acuerdo con el porcentaje de ocupación permitido

en el capítulo 9 de la NTC 2050. En el apartado N de la presente memoria se presenta la metodología para seleccionar adecuadamente el tamaño del ducto.

**Descripción del circuito**: Corresponde a las salidas eléctricas que son alimentadas desde el correspondiente circuito ramal, generalmente se identifican por zonas. En los planos eléctricos se debe identificar el número de circuito y nombre del tablero que alimenta la salida eléctrica.

**Distancia al tablero**: Corresponde a distancia de la salida más lejana al tablero alimentada desde el circuito ramal.

**Regulación**: Representa en porcentaje la caída de voltaje entre la fuente de alimentación y la salida eléctrica. Está definido por la siguiente ecuación:

$\%\Delta V = \frac{\sqrt{3} * I_n * Z_{ef} * L}{V * 1000} * 100\%$ para sistema trifásico

$\%\Delta V = \frac{2 * I_n * Z_{ef} * L}{V * 1000} * 100\%$ Para sistema monofásico

En el literal P de la presente memoria se describe en detalle la metodología de cálculo.

**Carga en fases**: Representa la distribución de las cargas en voltamperios (VA) por cada una de las fases (R, S, T).

**Protección**: Corresponde al valor nominal del dispositivo de protección contra sobrecorrientes del circuito ramal que se dimensiona de acuerdo con la corriente nominal del circuito ramal. Para circuitos ramales que no sean individuales la protección debe ser de 15, 20, 30, 40 y 50 Amperios.

**Factor de potencia:** Denominamos factor de potencia al cociente entre la potencia activa y la potencia aparente, que es coincidente con el coseno del ángulo entre la tensión y la corriente cuando la forma de onda es sinusoidal pura. El factor de potencia es un parámetro importante ya que tener un valor bajo de este, implica que en nuestro proyecto se está consumiendo potencia reactiva, lo que conllevaría a que el operador de red que suministra el fluido eléctrico tenga que producir y transportar ésta por sus redes, esto no es rentable para el operador de red, ya que disminuye la capacidad de potencia que tenían las redes, obligando a mejorar su infraestructura para así poder transmitir la potencia para la que fue construida.

De acuerdo a la norma colombiana, se penaliza a los usuarios que consuman el 50 por ciento del total de la energía en reactiva, es decir cuando el factor de potencia es menor o igual a 0,9.

Empleado la expresión de factor de potencia, usando las respetivas identidades matemáticas al triangulo de potencias se encuentra la siguiente relación:

$$Qc=Px(\tan(Ø1)-\tan( (Ø2))$$

Donde Φ1 y Φ2 corresponden a los ángulos determinados por el inverso de la función Coseno de los factores de potencia de la instalación y del factor de potencia deseado. La relación (tan (Ø1)-tan ((Ø2)) corresponde a el factor kVAR por kW que se presenta en la tabla 2.

A continuación, se presentan los cuadros de carga generales de todo el proyecto **Auditorio Fundación Gilberto Álzate Avendaño.**

ENERGENIO

**TABLERO ML**
**ENERGÍA NORMAL 220V**
**TD-GN**

AUDITORIO BOGOTA

**No Fases** 3
**No Hilos :** 5

**Ubicación:** Espacio técnico por taquilla
**Montaje:** Autosoportado

| Conductor Cu AWG THHN/THWN-2 CT SR 600V 90°C | | | Ducto Mínimo PVC/EMT | Descripción del Circuito | Distancia Tablero [m] | Tensión [V] | I nom [A] | Regulación Barraje [%] | Regulación Acumulada [%] | Carga en Fases | | | Protección No-Polos | Conexión | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F | N | T | | | | | | | | R | S | T | | Barras de 400A | | |
| | | | | | | | | | | | | | | R | S | T |
| 3No 6 (F) + 1No 6 (N) + 1No 10 (T) | | | _ | DPS TIPO I+II | 2 | 220 | _ | | | - | - | - | 3x60A | X | X | X |
| 3No 4 (F) + 1No 4 (N) + 1No 8 (T) | | | EMT Φ 1 1/2" | TABLERO NORMAL TARIMA **(TN-1)** | 45 | 220 | 37,1 | 2,53% | 4,41% | 4.823 | 4343 | 4988 | 3x60A | X | X | X |
| 3No 8 (F) + 1No 8 (N) + 1No 8 (T) | | | EMT Φ 1" | TABLERO TAQUILLA **(TN-2)** | 8 | 220 | 17,6 | 1,48% | 4,75% | 2.311 | 2302,2 | 2085 | 3x40A | X | X | X |
| 3No 6 (F) + 1No 6 (N) + 1No 8 (T) | | | EMT Φ 2" | TABLERO MIXTO **(TN-3)** | 36 | 220 | 15,4 | 1,89% | 2,85% | 2028 | 2028 | 1800 | 3x40A | X | X | X |
| 6No 4/0 (F) + 2No 4/0 (N) + 1No 4 (T) | | | EMT Φ 3" | TABLERO LUCES **(TN-4)** | 35 | 220 | 145,5 | 1,95% | 3,95% | 18540 | 20700 | 16200 | 3x200A | X | X | X |
| 3No1/0 (F) + 1No1/0 (N) + 1No6 (T) | | | EMTΦ 2" | TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO 35kVA **(TN-5)** | 37 | 220 | 46,4 | 1,22% | 0,21% | 5.179 | 6.878 | 5.634 | 3x125A | X | X | X |
| 3No 6 (F) + 1No 6 (N) + 1No 10 (T) | | | IMC Φ 1 1/2" | TABLERO AC CUBIERTA **(TN-6)** | 54 | 220 | 12,9 | 1,73% | 2,18% | 1.913 | 1.493 | 1.493 | 3x40A | X | X | X |
| 3No 4 (F) + 1No 4 (N) + 1No 8 (T) | | | EMT Φ 1 1/2" | TABLERO SERV **(TN-7)** | 33 | 220 | 20,2 | 1,74% | 2,50% | 2.982 | 3170 | 1.546 | 3x50A | X | X | X |
| 3No 1/0 (F) + 1No 1/0 (N) + 1No 8 (T) | | | EMT Φ 1 1/2" | TABLERO MECANICA TEATRAL **(TN-8)** | 32 | 220 | 39,7 | 1,65% | 2,52% | 5.040 | 5040 | 5.040 | 3x100A | X | X | X |
| 3No 2 (F) + 1No 2 (N) + 1No 8 (T) | | | EMT Φ 1 1/2" | TABLERO AC **(TN-9)** | 31 | 220 | 34,8 | 1,79% | 3,17% | 4.842 | 4632 | 3.792 | 3x80A | X | X | X |
| 3No 8 (F) + 1No 8 (N) + 1No 10 (T) | | | EMT Φ 1 1/2" | TABLERO ILUMINACION CONTROLADA (**TI-1**) | 38 | 220 | 7,8 | 1,78% | 4,84% | 1.295 | 492 | 1.193 | 3x40A | X | X | X |
| | | | | Reserva no equipada | | | | | | | | | | X | X | X |
| | | | | Reserva no equipada | | | | | | | | | | X | X | X |
| | | | | Reserva no equipada | | | | | | | | | | X | X | X |
| | | | | **Totales :** | | | | | | 48.953 | 51.078 | 43.771 | | | | |

**Fase R [VA]:** 48.953
**Fase S [VA]:** 51.078
**Fase T [VA]:** 43.771
**Carga Demandada [VA]:** 143.802

**Factor de diversidad:** 1
**Carga Diversificada [VA]:** 143802

**Capacidad Instalada [VA]:** 120.000
**Cargabilidad [%]:** 119,8%

**Tensión [V]:** 220
**I_nom [A]:** 314,9
**I_25% [A]:** 393,6
**Icc [kA]** 15,00

**Interruptor:** 3x350A
**Tipo:** MCCB
**Equipado:** Si

Alimentador (AWG o KCM)
F N T
4/0 4/0 2/0
Conductores en Paralelo
3 3 1

**Alimentador (F-N-T):**
**9No 4/0 (F) + 3No 4/0 (N) + 1No 2/0 (T)**

**Punto de Conexión:** TABLERO TGA PARQUADERO
**Longitud del Alimentador [m]:** 40

**Regulación Barraje [%]:** 1,22%
**Regulación Acumulada [%]:** 4,84%

## TABLERO CUARTO TECNICO TARIMA
## ENERGÍA NORMAL 220V
## TN-1

TEATRO BOGOTÁ

**No Fases** 3
**No Hilos :** 5
**No Circuitos :** 42

**Ubicación:** Cuarto tecnico tarima
**Tipo:** TMB
**Reservas:** 11

| Conductor Cu AWG HF FR LS CT 75ºV 90ºC F | N | T | Ducto Mínimo PVC/EMT | Descripción del Circuito | Distancia Tablero [m] | Regulación Acumulada [%] | Carga en Fases R | S | T | Protección # Polos | Cto No | Conexión Barras de 75A R | S | T | Cto No | Protección No-Polos | Carga en Fases R | S | T | Regulación Acumulada [%] | Distancia Tablero [m] | Descripción del Circuito | Ducto Mínimo PVC/EMT | Conductor Cu AWG HF FR LS CT 75ºV 90ºC F | N | T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 600 | | | | 1 | X | | | 2 | 1x20A | 1260 | | | 3,64% | 29 | Tomas piso 3 camerinos | Φ 3/4 " | 12 | 12 | 12 |
| 12 | - | 12 | Φ 3/4 " | Toma trifasico canaleta escenario lado derecho | 11 | 2,07% | | 600 | | 3x20A | 3 | | X | | 4 | 1x20A | | 1260 | | 3,51% | 27 | Tomas piso 3 camerinos | Φ 3/4 " | 12 | 12 | 12 |
| | | | | | | | | | 600 | | 5 | | | X | 6 | 1x20A | | | 1260 | 3,70% | 30 | Tomas piso 3 camerinos | Φ 3/4 " | 12 | 12 | 12 |
| | | | | | | | 600 | | | | 7 | X | | | 8 | 2x20A | 900 | | | 2,14% | 14 | Toma bifasico canaleta escenario lado derecho | Φ 3/4 " | 12 | - | 12 |
| 12 | - | 12 | Φ 3/4 " | Toma trifasico canaleta escenario centro | 15 | 2,16% | | 600 | | 3x20A | 9 | | X | | 10 | | | 900 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | 600 | | 11 | | | X | 12 | 2x20A | | | 900 | 2,09% | 12 | Toma bifasico canaleta escenario centro | Φ 3/4 " | 12 | - | 12 |
| | | | | | | | 600 | | | | 13 | X | | | 14 | | 900 | | | | | | | | | |
| 12 | - | 12 | Φ 3/4 " | Toma trifasico canaleta escenario lado izquierdo | 23 | 2,34% | | 600 | | 3x20A | 15 | | X | | 16 | 2x20A | | 900 | | 2,20% | 17 | Toma bifasico canaleta escenario lado izquierdo | Φ 3/4 " | 12 | - | 12 |
| | | | | | | | | | 600 | | 17 | | | X | 18 | | | | 900 | | | | | | | |
| 12 | 12 | 12 | Φ 3/4 " | Tomas canaleta escenario lado derecho | 18 | 2,15% | 360 | | | 1x20A | 19 | X | | | 20 | 1x20A | 180 | | | 2,19% | 41 | Iluminación área del escenario | Φ 3/4 " | 12 | 12 | 12 |
| 12 | 12 | 12 | Φ 3/4 " | Tomas canaleta escenario centro | 13 | 2,06% | | 360 | | 1x20A | 21 | | X | | 22 | | | | | | | Reserva no equipada | | | | |
| 12 | 12 | 12 | Φ 3/4 " | Tomas canaleta escenario lado izquierdo | 20 | 2,18% | | | 360 | 1x20A | 23 | | | X | 24 | | | | | | | Reserva no equipada | | | | |
| 12 | 12 | 12 | Φ 3/4 " | Tomas piso 1 camerinos | 18 | 2,79% | 1080 | | | 1x20A | 25 | X | | | 26 | | | | | | | Reserva no equipada | | | | |
| 12 | 12 | 12 | Φ 3/4 " | Tomas en frente de la tarima | 25 | 2,72% | | 720 | | 1x20A | 27 | | X | | 28 | | | | | | | Reserva no equipada | | | | |
| 12 | 12 | 12 | Φ 3/4 " | Tomas piso 2 camerinos | 23 | 3,47% | | | 1440 | 1x20A | 29 | | | X | 30 | | | | | | | Reserva no equipada | | | | |
| 12 | 12 | 12 | Φ 3/4 " | Iluminación, oficina, logistica y escaleras piso 1 | 18 | 2,18% | 398 | | | 1x20A | 31 | X | | | 32 | | | | | | | Reserva no equipada | | | | |
| 12 | 12 | 12 | Φ 3/4 " | Iluminación, camerinos y escaleras piso 2 | 23 | 2,11% | | 252 | | 1x20A | 33 | | X | | 34 | | | | | | | Reserva no equipada | | | | |
| 12 | 12 | 12 | Φ 3/4 " | Iluminación, camerinos, baños y escaleras piso 3 | 29 | 2,45% | | | 432 | 1x20A | 35 | | | X | 36 | | | | | | | Reserva no equipada | | | | |
| 12 | 12 | 12 | Φ 3/4 " | Iluminación emergencia piso 1 logistica | 18 | 1,84% | 12 | | | 1x20A | 37 | X | | | 38 | | | | | | | Reserva no equipada | | | | |
| 12 | 12 | 12 | Φ 3/4 " | Iluminación emergencia piso 2 camerinos | 23 | 1,84% | | 12 | | 1x20A | 39 | | X | | 40 | | | | | | | Reserva no equipada | | | | |
| 12 | 12 | 12 | Φ 3/4 " | Iluminación emergencia piso 3 camerinos | 29 | 1,87% | | | 34 | 1x20A | 41 | | | X | 42 | | | | | | | Reserva no equipada | | | | |
| | | | | **Totales :** | | | 3650 | 3144 | 4066 | | | | | | | | 3240 | 3060 | 3060 | | | | | | | |

**Total Fase R [VA]:** 6.890
**Total Fase S [VA]:** 6.204
**Total Fase T [VA]:** 7.126

**Carga Instalada [VA]:** 20.220
**Factor de Demanda :** 0,7
**Carga Demandada [VA]:** 14154

**Tensión ( V ) :** 220
**I carga ( A ) :** 37,14
**I carga+25%** 46,43

**Interruptor [A]:** 3x60A
**Tipo:** MCCB
**Equipada:** SI

Alimentador (AWG o KCMI)
F N T
4 4 8
Conductores en Paralelo
1 1 1

**Alimentador (F-N-T):**
**3No 4 (F) + 1No 4 (N) + 1No 8 (T)**

**Punto de Conexión:** TD-GN
**Longitud Alimentador [m]:** 45

**Regulación Barraje [%]:** 1,83%
**Regulación Acumulada [%]:** 3,70%
**Icc [kA]:** 10

## TABLERO TAQUILLA
## ENERGÍA NORMAL 220V
## TN-2

TEATRO BOGOTÁ

**No Fases** 3
**No Hilos :** 5
**No Circuitos :** 24

**Ubicación:** Taquilla del teatro
**Tipo:** Fabricación especial
**Reservas:** 6

| Conductor Cu AWG HF FR LS CT 75ºV 90ºC F | N | T | Ducto Mínimo PVC/EMT | Descripción del Circuito | Distancia Tablero [m] | Regulación Acumulada [%] | Carga en Fases R | S | T | Protección # Polos | Cto No | Conexión Barras de 75A R | S | T | Cto No | Protección No-Polos | Carga en Fases R | S | T | Regulación Acumulada [%] | Distancia Tablero [m] | Descripción del Circuito | Ducto Mínimo PVC/EMT | Conductor Cu AWG HF FR LS CT 75ºV 90ºC F | N | T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 12 | 12 | Φ 3/4 " | Tomas taquilla y lado izquierdo primer piso del teatro | 18 | 1,75% | 720 | | | 1x20A | 1 | X | | | 2 | 1x20A | 384 | | | 1,98% | 42 | Iluminacion. Emergencia Hall entrada 1er piso | Φ 3/4 " | 12 | 12 | 12 |
| 12 | 12 | 12 | Φ 3/4 " | Tomas baños hombres y zona comun lado izquierdo del teatro piso 1 | 25 | 3,09% | | 1260 | | 1x20A | 3 | | X | | 4 | 1x20A | | 100 | | 1,07% | 35 | Ilum. Emergencia mesanine 2do piso | Φ 3/4 " | 12 | 12 | 12 |
| 12 | 12 | 12 | Φ 3/4 " | Tomas en piso House Mix proyectado + Video Beam | 28 | 1,91% | | | 540 | 1x20A | 5 | | | X | 6 | 1x20A | | | 700 | 3,60% | 55 | Ilum. Zona comun ingreso al teatro controla con reles | Φ 3/4 " | 12 | 12 | 12 |
| 12 | 12 | 12 | Φ 3/4 " | Tomas derecha teatro 1er piso, baño mujeres y zona comun | 35 | 3,55% | 1080 | | | 1x20A | 7 | X | | | 8 | 1x20A | 186 | | | 1,42% | 45 | Ilum. Zona escaleras sillas del teatro controlado con reles | Φ 3/4 " | 12 | 12 | 12 |
| 12 | 12 | 12 | Φ 3/4 " | Tomas zona comun entrada principal lado derecho | 41 | 2,86% | | 720 | | 1x20A | 9 | | X | | 10 | 1x20A | | 697 | | 4,09% | 65 | Ilum. Zona area comun piso 2. controlado con reles | Φ 3/4 " | 12 | 12 | 12 |
| 12 | 12 | 12 | Φ 3/4 " | Tomas baños hombres piso 2 y zona comun 2do piso lado izquierdo | 29 | 3,08% | | | 1080 | 1x20A | 11 | | | X | 12 | 1x20A | | | 63 | 1,06% | 54 | Ilum. Zona escaleras sillas del teatro piso 2 controlado con re | Φ 3/4 " | 12 | 12 | 12 |
| 12 | 12 | 12 | Φ 3/4 " | Tomas baño mujeres piso 2, zona comun 2do piso lado derecho | 40 | 3,85% | | 1050 | | 1x20A | 13 | X | | | 14 | | | | | 3,85% | | Reserva no equipada | | | | |
| 12 | 12 | 12 | Φ 3/4 " | Tomas Bodega 1 | 34 | 2,59% | | | 720 | 1x20A | 15 | | X | | 16 | | | | | | | Reserva no equipada | | | | |
| 12 | 12 | 12 | Φ 3/4 " | Tomas Bodega 2 | 22 | 2,25% | | 900 | | 1x20A | 17 | | | X | 18 | | | | | | | Reserva no equipada | | | | |
| 12 | 12 | 12 | Φ 3/4 " | Iluminacion bodega intermedia | 18 | 1,38% | 432 | | | 1x20A | 19 | X | | | 20 | | | | | | | Reserva no equipada | | | | |
| 12 | 12 | 12 | Φ 3/4 " | Iluminacion taquilla, baños hombres y mujeres 1er piso | 28 | 1,51% | | 340 | | 1x20A | 21 | | X | | 22 | | | | | | | Reserva no equipada | | | | |
| 12 | 12 | 12 | Φ 3/4 " | Iluminacion baños hombres y mujeres 2do piso | 32 | 1,26% | | | 192 | 1x20A | 23 | | | X | 24 | | | | | | | Reserva no equipada | | | | |
| | | | | **Totales :** | | | 3282 | 3040 | 2712 | | | | | | | | 570 | 797 | 763 | | | | | | | |

**Total Fase R [VA]:** 3.852
**Total Fase S [VA]:** 3.837
**Total Fase T [VA]:** 3.475

**Carga Instalada [VA]:** 11.164
**Factor de Demanda :** 0,7
**Carga Demandada [VA]:** 7815

**Tensión ( V ) :** 220
**I carga ( A ) :** 20,51
**I carga+25% ( A ) :** 25,64

**Interruptor [A]:** 3x40A
**Tipo:** MCCB
**Equipada:** SI

Alimentador (AWG o KCMI)
F N T
8 8 8
Conductores en Paralelo
1 1 1

**Alimentador (F-N-T):**
**3No 8 (F) + 1No 8 (N) + 1No 8 (T)**

**Punto de Conexión:** TD-GN
**Longitud Alimentador [m]:** 8

**Regulación Barraje [%]:** 0,82%
**Regulación Acumulada [%]:** 4,09%
**Icc [kA]:** 10

## TABLERO MECANICA TEATRAL 2
## ENERGÍA NORMAL 220V
## TN-3

TEATRO BOGOTÁ

**No Fases** 3
**No Hilos :** 5
**No Circuitos :** 24

**Ubicación:** Piso 3 House Mix
**Tipo:** Fabricación especial
**Reservas:** 0

| Conductor Cu AWG HF FR LS CT 75ºV 90ºC F | N | T | Ducto Mínimo PVC/EMT | Descripción del Circuito | Distancia Tablero [m] | Regulación Acumulada [%] | Carga en Fases R | S | T | Protección # Polos | Cto No | Conexión Barras de 75A R | S | T | Cto No | Protección No-Polos | Carga en Fases R | S | T | Regulación Acumulada [%] | Distancia Tablero [m] | Descripción del Circuito | Ducto Mínimo PVC/EMT | Ducto | Capacidad Conductor | Conductor Cu AWG HF FR LS CT 75ºV 90ºC F | N | T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | 1 | X | | | 2 | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | - | 12 | Φ 3/4 " | MOTOR 15 | 39 | 2,05% | 600 | | | 3x20A | 3 | | X | | 4 | 3x20A | 600 | | | 2,12% | 42 | MOTOR 18 | Φ 3/4 " | Acero | 25 | 12 | - | 12 |
| | | | | | | | | 600 | | | 5 | | | X | 6 | | | | 600 | | | | | | | | | | |
| 12 | - | 12 | Φ 3/4 " | MOTOR 16 | 40 | 2,07% | 600 | | | 3x20A | 7 | X | | | 8 | 3x20A | 600 | | | 2,14% | 43 | MOTOR 19 | Φ 3/4 " | Acero | 25 | 12 | - | 12 |
| | | | | | | | | 600 | | | 9 | | X | | 10 | | | 600 | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | 600 | | 11 | | | X | 12 | | | | 600 | | | | | | | | | | |
| 12 | - | 12 | Φ 3/4 " | MOTOR 17 | 41 | 2,09% | 600 | | | 3x20A | 13 | X | | | 14 | | | | | | | Reserva no equipada | | | | | | | |
| | | | | | | | | 600 | | | 15 | | X | | 16 | | | | | | | Reserva no equipada | | | | | | | |
| | | | | | | | | | 600 | | 17 | | | X | 18 | | | | | | | Reserva no equipada | | | | | | | |
| 12 | - | 12 | Φ 3/4 " | Telon proyeccion boca de escenario | 32 | 1,48% | 380 | | | 2x20A | 19 | X | | | 20 | | | | | | | Reserva no equipada | | | | | | | |
| | | | | | | | | 380 | | | 21 | | X | | 22 | | | | | | | Reserva no equipada | | | | | | | |
| | | | | Reserva no equipada | | | | | | | 23 | | | X | 24 | | | | | | | Reserva no equipada | | | | | | | |
| | | | | **Totales :** | | | 2180 | 2180 | 1800 | | | | | | | | 1200 | 1200 | 1200 | | | | | | | | | | |

**Total Fase R [VA]:** 3.380
**Total Fase S [VA]:** 3.380
**Total Fase T [VA]:** 3.000

**Carga Instalada [VA]:** 9.760
**Factor de Demanda :** 0,6
**Carga Demandada [VA]:** 5.856

**Tensión ( V ) :** 220
**I carga ( A ) :** 15,37
**I carga+25% ( A ) :** 19,21

**Interruptor [A]:** 3x40A
**Tipo:** MCCB
**Equipada:** SI

Alimentador (AWG o KCMI)
F N T
6 6 8
Conductores en Paralelo
1 1 1

**Alimentador (F-N-T):**
**3No 6 (F) + 1No 6 (N) + 1No 8 (T)**

**Punto de Conexión:** TD-GN
**Longitud Alimentador [m]:** 36

**Regulación Barraje [%]:** 1,18%
**Regulación Acumulada [%]:** 2,14%
**Icc [kA]:** 10

## TABLERO LUCES
## ENERGÍA NORMAL
## TN-4

TEATRO BOGOTÁ

**No Fases** 3
**No Hilos :** 5
**No Circuitos :** 42

**Ubicación:** Piso 3 House Mix
**Tipo:** TMB
**Reservas:** 8

| Conductor Cu AWG HF FR LS CT 75ºV 90ºC F | N | T | Ducto Mínimo PVC/EMT | Descripción del Circuito | Distancia Tablero [m] | Regulación Acumulada [%] | Carga en Fases R | S | T | Protección # Polos | Cto No | Conexión Barras de 250A R | S | T | Cto No | Protección No-Polos | Carga en Fases R | S | T | Regulación Acumulada [%] | Distancia Tablero [m] | Descripción del Circuito | Ducto Mínimo PVC/EMT | Conductor Cu AWG HF FR LS CT 75ºV 90ºC F | N | T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 3600 | | | | 1 | X | | | 2 | 2x30A | 1800 | | | | | | | | | |
| 10 | - | 10 | Φ 3/4 " | Iluminación artistica en parrila de tramoya nivel 3 | 39 | 2,11% | | 3600 | | 2x30A | 3 | | X | | 4 | | | 1800 | | 3,17% | 45 | Calles de iluminación artistica escenario | Φ 3/4 " | 10 | - | 10 |
| | | | | | | | | | 3600 | | 5 | | | X | 6 | 2x30A | | | 1800 | | | | | | | | |
| 10 | - | 10 | Φ 3/4 " | Iluminación artistica en parrila de tramoya nivel 3 | 38 | 2,05% | 3600 | | | 2x30A | 7 | X | | | 8 | | 1800 | | | 3,12% | 43 | Calles de iluminación artistica escenario | Φ 3/4 " | 10 | - | 10 |
| | | | | | | | | 3600 | | | 9 | | X | | 10 | 2x30A | | 3600 | | | | | | | | |
| 10 | - | 10 | Φ 3/4 " | Iluminación artistica en parrila de tramoya nivel 3 | 37 | 2,00% | | | 3600 | 2x30A | 11 | | | X | 12 | | | | 3600 | 3,95% | 37 | Iluminación artistica en parrila de nivel 2 | Φ 3/4 " | 10 | - | 10 |
| | | | | | | | 3600 | | | | 13 | X | | | 14 | 2x30A | 3600 | | | | | | | | | |
| 10 | - | 10 | Φ 3/4 " | Iluminación artistica en parrila de tramoya nivel 3 | 36 | 1,94% | | 3600 | | 2x30A | 15 | | X | | 16 | | | 3600 | | 3,95% | 37 | Iluminación artistica en parrila de nivel 2 | Φ 3/4 " | 10 | - | 10 |
| | | | | | | | | | 2400 | | 17 | | | X | 18 | 2x30A | | | 2400 | 2,60% | 18 | Seguidores de iluminación artistica | Φ 3/4 " | 10 | - | 10 |
| 10 | - | 10 | Φ 3/4 " | Iluminación puente de iluminación artistica frontal | 27 | 0,97% | | | 2400 | 2x30A | 19 | X | | | 20 | | 2400 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 2400 | | | | 21 | | X | | 22 | 2x30A | | 2400 | | 2,60% | 18 | Seguidores de iluminación artistica | Φ 3/4 " | 10 | - | 10 |
| 10 | - | 10 | Φ 3/4 " | Iluminación artistica curva en balcon segundo nivel | 37 | 2,33% | | 4200 | | 2x30A | 23 | | X | | 24 | | | 2400 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 1500 | | | | 25 | X | | | 26 | 2x30A | 3600 | | | 3,57% | 30 | Iluminación frontal nivel 3 | Φ 3/4 " | 10 | - | 10 |
| 10 | - | 10 | Φ 3/4 " | Tenedores laterales de ilumina artistica | 40 | 0,90% | | 1500 | | 2x30A | 27 | | X | | 28 | | | 3600 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | 1500 | | 29 | | | X | 30 | | | | | | | Reserva No equipada | | | | | |
| 10 | - | 10 | Φ 3/4 " | Tenedores laterales de ilumina artistica | 40 | 0,90% | 1500 | | | | 31 | X | | | 32 | | | | | | | Reserva No equipada | | | | | |
| | | | | | | | | 1500 | | 2x30A | 33 | | X | | 34 | | | | | | | Reserva No equipada | | | | | |
| 10 | - | 10 | Φ 3/4 " | Tenedores laterales de ilumina artistica | 40 | 0,90% | | | 1500 | | 35 | | | X | 36 | | | | | | | Reserva No equipada | | | | | |
| | | | | | | | 1500 | | | | 37 | X | | | 38 | | | | | | | Reserva No equipada | | | | | |
| 10 | - | 10 | Φ 3/4 " | Tenedores laterales de ilumina artistica | 40 | 0,90% | | 1500 | | 2x30A | 39 | | X | | 40 | | | | | | | Reserva No equipada | | | | | |
| | | | | Reserva No equipada | | | | | | | 41 | | | X | 42 | | | | | | | Reserva No equipada | | | | | |
| | | | | **Totales :** | | | 17700 | 19500 | 16800 | | | | | | | | 13200 | 15000 | 10200 | | | | | | | | | |

**Total Fase R [VA]:** 30.900
**Total Fase S [VA]:** 34.500
**Total Fase T [VA]:** 27.000

**Carga Instalada [VA]:** 92.400
**Factor de Demanda :** 0,6
**Carga Demandada [VA]:** 55440

**Tensión ( V ) :** 220
**I carga ( A ) :** 145,49
**I carga+25% ( A ) :** 181,87

**Interruptor [A]:** 3x200A
**Tipo:** MCCB
**Equipada:** SI

Alimentador (AWG o KCMI)
F N T
4/0 4/0 4
Conductores en Paralelo
2 2 1

**Alimentador (F-N-T):**
**6No 4/0 (F) + 2No 4/0 (N) + 1No 4 (T)**

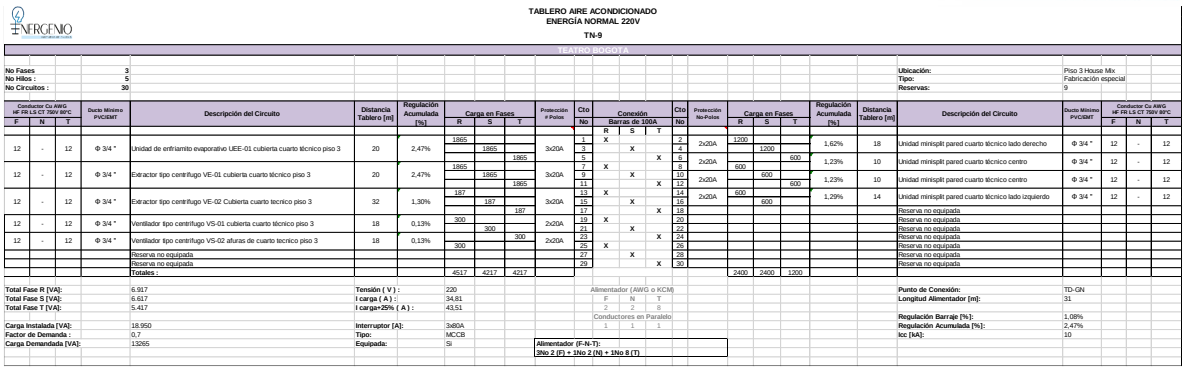
**Punto de Conexión:** TD-GN
**Longitud Alimentador [m]:** 35

**Regulación Barraje [%]:** 1,95%
**Regulación Acumulada [%]:** 3,95%
**Icc [kA]:** 10

## TABLERO SONIDO
## ENERGÍA NORMAL
## TN-5

TEATRO BOCIJA

| | | |



TABLERO AIRE ACONDICIONADO
ENERGÍA NORMAL 220V
TN-9

TEATRO BOGOTÁ

| | | |

**2. Tensión máxima de operación continua – MCOV**

Es la máxima tensión que puede aplicarse de manera continua entre sus terminales a un equipo y corresponde al Tensión de fase equivalente del Tensión máximo del sistema:

$$MCOV = \frac{V_{max}}{\sqrt{3}}$$

$$MCOV = 8.38\ kV$$

**3. Sobretensión temporal**

Este Tensión proviene de multiplicar el MCOV por una constante de falla a tierra, que para un sistema sólidamente aterrizado corresponde a Ke=1.4.

$$TOV = K_e * MCOV$$
$$TOV = 8.38 * 1.4 = 11.74\ kV$$

**4. Tensión nominal del descargador**

La tensión nominal del pararrayos se escoge seleccionando el mayor valor entre Ro y Re.

$$R_o = \frac{COV}{K_o}$$

Donde Ko es un factor de diseño dado por el fabricante. Para DPS de ZnO un factor Ko=0.8

$$R_o = \frac{8.38}{0.8} = 10.48$$

$$R_e = \frac{TOV}{K_t}$$

Donde Kt es la capacidad del DPS contra sobrecorrientes temporales, la cual depende de la duración de la sobretensión.

Kt = 1.15 para 1 Segundo

Kt= 1.10 para 10 Segundos

Kt= 0.95 para 2 Horas

$$R_e = \frac{11.74}{1.10} = 10.67$$

**5. Factor de seguridad para el voltaje nominal del DPS**

| | |
|---|---|
| Para un sistema $< 100kV$ | Para un sistema $> 100kV$ |
| Factor de seguridad del 10% | Factor de seguridad del 5% |

Así la tensión del DPS será 10.67 kV multiplicado por un factor de 5%

$$R = R_e * 1.05 = 10.67 * 1.05 = 11.2\ kV$$

Este valor del voltaje nominal del DPS se debe normalizar a un valor estandarizado (comercial).

Voltaje nominal normalizado es: $U_r = 12\ KV_{rms}$

*Valores Normalizados tomados de catálogos de fabricantes. (Ver* Figura 1*)*

| Tensión asignada $U_r$ | Tensión de operación permanente $U_c$ | Referencia del descargador de sobretensión | | Tensión residual máxima | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [kV] | [kV] | | 1 kA 8/20 µs [kV cr] | 3 kA 8/20 µs [kV cr] | 5 kA 8/20 µs [kV cr] | 10 kA 8/20 µs [kV cr] | 15 kA 8/20 µs [kV cr] | 20 kA 8/20 µs [kV cr] | 125 A 30/60 µs [kV cr] | 500 A 30/60 µs [kV cr] |
| 3 | 2,4 | 3EK7 030 -4CB4 | 6,6 | 7,1 | 7,5 | 8,1 | 8,7 | 9,3 | 5,8 | 6,2 |
| 5 | 4 | 3EK7 050 -4CB4 | 10,8 | 11,7 | 12,4 | 13,3 | 14,4 | 15,3 | 9,4 | 10,1 |
| 6 | 4,8 | 3EK7 060 -4CB4 | 13,0 | 14,2 | 15,0 | 16,1 | 17,4 | 18,5 | 11,4 | 12,2 |
| 9* | 7,2 | 3EK7 090 -4CB4 | 19,4 | 21,1 | 22,3 | 24,0 | 25,9 | 27,6 | 17,0 | 18,2 |
| 10,5* | 8,4 | 3EK7 105 -4CB4 | 22,8 | 24,7 | 26,1 | 28,1 | 30,3 | 34,6 | 20,0 | 22,7 |
| 12* | 9,6 | 3EK7 120 -4CC4 | 25,9 | 28,2 | 29,8 | 32,0 | 34,6 | 36,8 | 22,7 | 24,3 |
| 15* | 12 | 3EK7 150 -4CC4 | 32,3 | 35,1 | 37,1 | 39,9 | 43,1 | 45,9 | 28,3 | 30,3 |
| 18* | 14,4 | 3EK7 180 -4CD4 | 38,8 | 42,2 | 44,5 | 47,9 | 51,7 | 55,1 | 34,0 | 36,4 |
| 21* | 16,8 | 3EK7 210 -4CD4 | 45,3 | 49,2 | 52,0 | 55,9 | 60,4 | 64,3 | 39,7 | 42,5 |
| 22* | 17,6 | 3EK7 220 -4CE4 | 47,5 | 51,6 | 54,5 | 58,6 | 63,3 | 67,4 | 41,6 | 44,5 |
| 24* | 19,2 | 3EK7 240 -4CE4 | 51,7 | 56,1 | 59,3 | 63,8 | 68,9 | 73,4 | 45,3 | 48,5 |
| 25 | 20 | 3EK7 250 -4CE4 | 53,9 | 58,5 | 61,8 | 66,5 | 71,8 | 76,5 | 47,2 | 50,5 |
| 27 | 21,6 | 3EK7 270 -4CF4 | 58,2 | 63,3 | 66,9 | 71,9 | 77,7 | 82,7 | 51,0 | 54,6 |
| 30* | 24 | 3EK7 300 -4CF4 | 64,6 | 70,1 | 74,1 | 79,7 | 86,1 | 91,7 | 56,6 | 60,6 |

**Figura 1. DPS Seleccionado según procedimiento de cálculo**

## 6. Selección de la corriente nominal In

Teniendo en cuenta la tabla 1, tomada de la IEC 60071-2, se determina que la corriente nominal para un sistema de 12 kV es de 10kA, clase 1.

| Tensión Máximo del Sistema (kV) | 5 kA | 10 kA | | | 20 kA | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
| Vs ≤ 72.5 kV | | | | | | |
| 72.5<Vs≤245 | | | | | | |
| 245<Vs≤420 | | | | | | |
| Vs>420 | | | | | | |
| | | | | | | |

**Tabla 1. Identificación de corrientes de descarga.**

La Tabla 1 presenta más detalle y se le puede asignar una $\boldsymbol{I_n 8/20\ \mu s = 10kA}$, también en función de cumplir los requerimientos de la norma técnica IEC 60071-2.

Para onda tipo maniobra 30/60 µs se le asigna una $\boldsymbol{I_n 30/60\ \mu s = 500A}$.

## 7. Cálculo de los parámetros NPR y NPM

Las tensiones residuales se obtienen para impulsos de corriente tipo rayo (8/20 µs para todos los DPS, independiente de su corriente nominal) y tipo maniobra (30/60 µs para DPS de 10 kA y 20 kA). Revisando las columnas correspondientes para los DPS listados en la figura 1, se asigna el voltaje residual.

| **Rayo** | **Maniobra** |
|---|---|
| $I_n 8/20\ \mu s = 10kA$ | $I_n 30/60\ \mu s = 500A$ |
| ***NPR***=32kV pico | ***NPM***=24.3 kV pico |

## 8. Cálculo del BIL y el BSL

De igual forma, el BIL y el BSL están relacionados con el NPR y el NPM respectivamente mediante un factor de seguridad:

| **Factor** | **Nivel del sistema de potencia** |
|---|---|
| 1,25 | Para sistemas >200 kV |
| 1,4 | Para sistemas <52 kV |

Donde Ki=1.4 para tensiones inferiores a 52 kV y Km=1.25. De esta forma tenemos:

$$BIL = K_i * NPR$$
$$BIL = 1.4 * 32 = 44.8\ kV$$

$$\boldsymbol{BSL = K_m * NPM}$$
$$\boldsymbol{BSL = 1.4 * 24.3 = 34.02\ kV}$$

## 9. Coordinación de aislamiento

Se deben seleccionar valores normalizados para el BIL y el BSL de la Figura 2 , tomada de la norma IEC 60071-1

Table 2 – Standard insulation levels for range I (1kV < $U_m$ ≤ 245 kV)

| Highest voltage for equipment ($U_m$) kV (r.m.s. value) | Standard rated short-duration power-frequency withstand voltage kV (r.m.s. value) | Standard rated lightning impulse withstand voltage kV (peak value) |
|---|---|---|
| 3,6 | 10 | 20<br>40 |
| 7,2 | 20 | 40<br>60 |
| 12 | 28 | 60<br>75<br>95 |
| 17,5 [a] | 38 | 75<br>95 |
| 24 | 50 | 95<br>125<br>145 |
| 36 | 70 | 145<br>170 |

**Figura 2. Niveles de aislamiento normalizados para Um<245kV norma IEC 60071-1**

El BIL puede tomar dos valores $\boldsymbol{BIL_{Normalizado} = 60kV_{pico}}$ ; $\boldsymbol{75kV_{pico}}$; $\boldsymbol{95kV_{pico}}$
Según la norma, se usa un BIL de $\mathbf{60kV_{pico}}$ para el lado de media y para el de baja $\boldsymbol{30kV_{pico}}$.

El BSL según la Figura 2 es de $28\boldsymbol{kV_{rms}}$ , es un nivel básico de aislamiento para sobretensiones de tipo maniobra cerca al que se establece en la norma del operador de red tomada como referencia. Según la norma el BSL exigido es de $31\boldsymbol{kV_{rms}}$.

$$\boldsymbol{BIL = 60\ kV} \qquad \boldsymbol{BSL = 31\ kV}$$

## 10. Margen de protección a impulsos tipo rayo y tipo maniobra

Margen de protección a impulsos tipo rayo $\frac{\text{BIL}}{\text{NPR}} \geq 1{,}2$

$$\frac{\text{BIL}}{\text{NPR}} = \frac{60}{32} = 1.88 \ \rightarrow \text{Cumple criterio de la Norma IEC } 60071 - 1$$

Margen de protección a impulsos tipo maniobra $\frac{\text{BSL}}{\text{NPM}} \geq 1{,}15$

$$\frac{\text{BSL}}{\text{NPM}} = \frac{31}{24.3} = 1.28 \rightarrow \text{Cumple criterio de la Norma IEC } 60071 - 1$$

## 11. Coordinación de aislamiento en baja tensión

La coordinación de aislamiento eléctrico en baja tensión está supeditada a las máximas tensiones de fabricación de las celdas y el recubrimiento de los conductores, que de forma estándar se emplea un nivel de 600 V, un valor suficiente para la tensión de operación nominal de la instalación de 440/208V.

Para el caso de los conductores, por exigencia normativa se emplearon conductores de bajo contenido de halógenos, resistente a la llama y baja emisión de humos opacos, que en el mercado se describe con la siguiente identificación en el recubrimiento; THHN THWN. En este caso, esta gama de conductores maneja un valor de aislamiento de 600V, un nivel todavía más conservativo para la tensión nominal de la instalación.

**12. Selección de DPS en baja tensión**

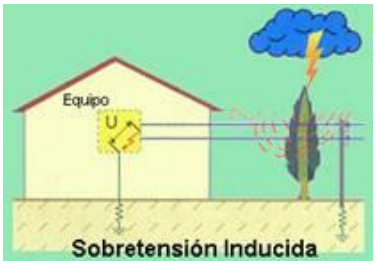
Una descarga atmosférica por un rayo sobre un conductor ocasiona sobretensiones transitorias de corta duración, pero de valor pico muy elevado que puede deteriorar e incluso destruir algunos equipos eléctricos incluso cuando la descarga se haya originado a varios kilómetros de distancia.

No solo las descargas atmosféricas pueden causar estas sobretensiones, también las maniobras ejecutadas por los operadores de red originan sobretensiones temporales de características similares a las atmosféricas.

Se identifican tres formas en que las sobretensiones se propagan y llegan hasta las instalaciones finales:




Sobretensión conducida: El rayo cae directamente en las líneas aéreas, propagándose la sobretensión a varios kilómetros y derivándose a tierra a través de los equipos, causando su vería o destrucción.




Sobretensión inducida: Se origina cuando la energía del rayo que impacta un objeto cercano a las líneas de distribución se propaga mediante inducción hacia estas últimas, transmitiéndolas de igual manera hacia los equipos en las instalaciones finales.




Sobretensión a tierra: Ocurre cuando la descarga atmosférica cae directamente a tierra y se propaga a través del suelo hasta los equipos mediante el conductor de puesta a tierra.

❖ Protección contra sobretensiones transitorias

El protector ideal debe derivar a tierra el excedente de voltaje perjudicial para los equipos y la sobrecorriente consecuencia del sobrevoltaje. Las características de los DPS seleccionados dependen del equipo sensible que se desea proteger, por eso en muchos casos puede ser necesario instalar más de un dispositivo en cascada que despeje diferentes niveles de sobretensiones.

El DPS se debe seleccionar teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

Intensidad máxima: La máxima intensidad que puede derivar un protector sin dañarse en una única ocasión.

Intensidad nominal: El valor en amperios que el protector es capaz de descargar 20 veces sin llegar a deteriorarse.

Tensión residual: Cuando el protector está derivando la intensidad generada por una sobretensión, en sus extremos aparece una tensión debida a su propia impedancia. Ures = I*R

Nivel de protección (Up): Es la tensión que aparece en los extremos del protector al ser recorrido por In. La selección del Up depende de la máxima tensión admisible de los equipos que deseamos proteger. Un ejemplo lo identificamos en la siguiente gráfica.




**Figura 3. Tensión soportable por tipo de equipo.**

Debido a la incidencia de rayos en la **Ciudad de Bogotá** es necesario disponer de un protector de cabecera robusto contra las sobretensiones mayores de la instalación.

DPS Primario Clase 1+2:

Voltaje nominal: 440/220VAC Trifásico
Número de hilos: 5 Hilos (3F + N + T)
MCOV: 484 VAC
I impulso: 12.5 kA
I max: 65 kA
Up ≤ 1 kV

La conexión de los DPS debe hacerse en modo común según lo dispuesto en el artículo 20.14.2 c) del RETIE.

## c. Análisis de cortocircuito y falla a tierra.

**ANALISIS DE CORTOCIRCUITO**

Cualquier instalación eléctrica debe estar protegida contra los cortocircuitos y esto, salvo excepción, en cada punto que se presenta una discontinuidad eléctrica, lo que corresponde casi siempre con un cambio de sección de los conductores. La intensidad de la corriente de cortocircuito debe calcularse por cada uno de los diversos niveles de la instalación para poder determinar las características de los componentes que deberían soportar o cortar la corriente de defecto.

El análisis de cortocircuito y de falla a tierra se encuentra dentro de las exigencias establecidas por RETIE 2013 en el artículo 10.1 literal c, como se evidencia a continuación.

> **10.1 DISEÑO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS**
>
> Toda instalación eléctrica a la que le aplique el RETIE, debe contar con un diseño realizado por un profesional o profesionales legalmente competentes para desarrollar esa actividad. El diseño podrá ser detallado o simplificado según el tipo
>
> b. Análisis de coordinación de aislamiento eléctrico.

A continuación, se presenta los resultados del cálculo hecho para cada barraje teniendo en cuenta normas y estándares internacionales avalados en la NTC 2050 y RETIE 2013.
Inicialmente presentamos las corrientes de falla presentadas por el operador de red para el punto de conexión y son las siguientes:

| Transformador | 300 kVA - ACEITE | | |
|---|---|---|---|
| Potencia | | 300 | KVA |
| Tensión de línea en el lado de AT | | 13200 | V |
| Tensión de línea en el lado de BT | | 220 | V |
| Tensión de fase en el lado de BT | = | 120 | V |
| Impedancia máxima | | 4,50% | |
| **Corriente nominal** | = | **787** | A |
| Pérdidas en el cobre | | 3675 | W |
| **Irms secundaria** | | **17495** | A |
| Rt | | **0,00198** | ohm |
| Xt | = | **0,00699** | ohm |
| Zt | = | **0,00726** | ohm |
| **Irms simétrica** | = | **26344** | |

| TRANSFERENCIA | | | |
|---|---|---|---|
| Conductor Al Calibre 3x4/0 AWG | | | |
| Número de conductores por fase | | 3 | |
| Area sección transversal por conductor | | 107,21 | mm^2 |
| Area sección transversal | = | 321,63 | mm^2 |
| Longitud | | 15 | m |
| Valor medio según disposición de conductores | Cables unipolares separados | 0,18 | m ohm/m |
| Resistividad | Alumínio | 0,036 | ohm mm^2/m |
| Rb | = | **0,00168** | ohm |
| Xb | = | **0,00270** | ohm |
| | | | |
| Reactancia y resistencia vistas desde el totalizador aguas arriba | | | |
| R | = | **0,00439** | ohm |
| X | = | **0,01060** | ohm |
| Z | = | **0,01147** | ohm |
| X/R | = | 2,41447 | |
| | | | |
| **Irms simétrica** | = | **19177** | A |
| Tiempo de disparo del totalizador | | 50 | ms |
| **Irms asimétrica** | = | **19370** | A |
| | | | |
| Cálculo del área de la sección transversal del conductor | | | |
| Area mínima | = | 41,45 | mm^2 |
| | | | |
| | | | |

| TD-GN | | | |
|---|---|---|---|
| Conductor Al Calibre 3x4/0 AWG | | | |
| Número de conductores por fase | | 3 | |
| Area sección transversal por conductor | | 107,21 | mm^2 |
| Area sección transversal | = | 321,63 | mm^2 |
| Longitud | | 40 | m |
| Valor medio según disposición de conductores | Cables unipolares separados | 0,18 | m ohm/m |
| Resistividad | Alumínio | 0,036 | ohm mm^2/m |
| Rb | = | **0,00448** | ohm |
| Xb | = | **0,00720** | ohm |
| | | | |
| Reactancia y resistencia vistas desde el totalizador aguas arriba | | | |
| R | = | **0,00887** | ohm |
| X | = | **0,01780** | ohm |
| Z | = | **0,01989** | ohm |
| X/R | = | 2,00733 | |
| | | | |
| **Irms simétrica** | = | **11063** | A |
| Tiempo de disparo del totalizador | | 50 | ms |
| **Irms asimétrica** | = | **11114** | A |
| | | | |
| Cálculo del área de la sección transversal del conductor | | | |
| Area mínima | = | 23,78 | mm^2 |
| | | | |
| | | | |

| TN-1 | | | |
|---|---|---|---|
| Conductor Cu Calibre 3x4 AWG | | | |
| Número de conductores por fase | | 1 | |
| Area sección transversal por conductor | | 21,14 | mm^2 |
| Area sección transversal | = | 21,14 | mm^2 |
| Longitud | | 45 | m |
| Valor medio según disposición de conductores | Cables unipolares separados | 0,18 | m ohm/m |
| Resistividad | Cobre | 0,0225 | ohm mm^2/m |
| Rb | = | **0,04789** | ohm |
| Xb | = | **0,00810** | ohm |
| | | | |
| Reactancia y resistencia vistas desde el totalizador aguas arriba | | | |
| R | = | **0,05228** | ohm |
| X | = | **0,01870** | ohm |
| Z | = | **0,05553** | ohm |
| X/R | = | 0,35764 | |
| | | | |
| **Irms simétrica** | = | **3961,98** | A |
| Tiempo de disparo del totalizador | | 50 | ms |
| **Irms asimétrica** | = | **3962** | A |
| | | | |
| Cálculo del área de la sección transversal del conductor | | | |
| Area mínima | = | 8,48 | mm^2 |
| | | | |
| | | | |

| TN-2 | | | |
|---|---|---|---|
| Conductor Cu Calibre 3X8 AWG | | | |
| Número de conductores por fase | | 1 | |
| Area sección transversal por conductor | | 8,36 | mm^2 |
| Area sección transversal | = | 8,36 | mm^2 |
| Longitud | | 8 | m |
| Valor medio según disposición de conductores | Cables unipolares separados | 0,18 | m ohm/m |
| Resistividad | Cobre | 0,0225 | ohm mm^2/m |
| Rb | = | **0,02153** | ohm |
| Xb | = | **0,00144** | ohm |
| | | | |
| Reactancia y resistencia vistas desde el totalizador aguas arriba | | | |
| R | = | **0,02592** | ohm |
| X | = | **0,01204** | ohm |
| Z | = | **0,02858** | ohm |
| X/R | = | 0,46445 | |
| | | | |
| **Irms simétrica** | = | **7697,66** | A |
| Tiempo de disparo del totalizador | | 50 | ms |
| **Irms asimétrica** | = | **7698** | A |
| | | | |
| Cálculo del área de la sección transversal del conductor | | | |
| Area mínima | = | 16,47 | mm^2 |
| | | | |
| | | | |

| TN-3 | | | |
|---|---|---|---|
| Conductor Cu Calibre 3x6 AWG | | | |
| Número de conductores por fase | | 1 | |
| Area sección transversal por conductor | | 13,29 | mm^2 |
| Area sección transversal | = | 13,29 | mm^2 |
| Longitud | | 36 | m |
| Valor medio según disposición de conductores | Cables unipolares separados | 0,18 | m ohm/m |
| Resistividad | Cobre | 0,0225 | ohm mm^2/m |
| Rb | = | **0,06095** | ohm |
| Xb | = | **0,00648** | ohm |
| | | | |
| Reactancia y resistencia vistas desde el totalizador aguas arriba | | | |
| R | = | **0,06534** | ohm |
| X | = | **0,01708** | ohm |
| Z | = | **0,06753** | ohm |
| X/R | = | 0,26139 | |
| | | | |
| **Irms simétrica** | = | **3257,66** | A |
| Tiempo de disparo del totalizador | | 50 | ms |
| **Irms asimétrica** | = | **3258** | A |
| | | | |
| Cálculo del área de la sección transversal del conductor | | | |
| Area mínima | = | 6,97 | mm^2 |
| | | | |
| | | | |

| TN-4 | | | |
|---|---|---|---|
| Conductor Al Calibre 3x4/0 AWG | | | |
| Número de conductores por fase | | 2 | |
| Area sección transversal por conductor | | 107,21 | mm^2 |
| Area sección transversal | = | 214,42 | mm^2 |
| Longitud | | 35 | m |
| Valor medio según disposición de conductores | Cables unipolares | 0,18 | m ohm/m |
| Resistividad | Alumínio | 0,036 | ohm mm^2/m |
| Rb | = | **0,00588** | ohm |
| Xb | = | **0,00630** | ohm |
| | | | |
| Reactancia y resistencia vistas desde el totalizador aguas arriba | | | |
| R | = | **0,01027** | ohm |
| X | = | **0,01690** | ohm |
| Z | = | **0,01977** | ohm |
| X/R | = | 1,64609 | |
| | | | |
| **Irms simétrica** | = | **11126,39** | A |
| Tiempo de disparo del totalizador | | 50 | ms |
| **Irms asimétrica** | = | **11145** | A |
| | | | |
| Cálculo del área de la sección transversal del conductor | | | |
| Area mínima | = | 23,85 | mm^2 |
| | | | |
| | | | |

| TN-5 | | | |
|---|---|---|---|
| Conductor Cu Calibre 3x1/0 AWG | | | |
| Número de conductores por fase | | 1 | |
| Area sección transversal por conductor | | 53,50 | mm^2 |
| Area sección transversal | = | 53,50 | mm^2 |
| Longitud | | 37 | m |
| Valor medio según disposición de conductores | Cables unipolares | 0,18 | m ohm/m |
| Resistividad | Cobre | 0,0225 | ohm mm^2/m |
| Rb | = | **0,01556** | ohm |
| Xb | = | **0,00666** | ohm |
| | | | |
| Reactancia y resistencia vistas desde el totalizador aguas arriba | | | |
| R | = | **0,01995** | ohm |
| X | = | **0,01726** | ohm |
| Z | = | **0,02638** | ohm |
| X/R | = | 0,86509 | |
| | | | |
| **Irms simétrica** | = | **8339,74** | A |
| Tiempo de disparo del totalizador | | 50 | ms |
| **Irms asimétrica** | = | **8340** | A |
| | | | |
| Cálculo del área de la sección transversal del conductor | | | |
| Area mínima | = | 17,85 | mm^2 |
| | | | |
| | | | |

| TN-6 | | | |
|---|---|---|---|
| Conductor Cu Calibre 3x6AWG | | | |
| Número de conductores por fase | | 1 | |
| Area sección transversal por conductor | | 13,29 | mm^2 |
| Area sección transversal | = | 13,29 | mm^2 |
| Longitud | | 54 | m |
| Valor medio según disposición de conductores | Cables unipolare | 0,18 | m ohm/m |
| Resistividad | Cobre | 0,0225 | ohm mm^2/m |
| Rb | = | **0,09142** | ohm |
| Xb | = | **0,00972** | ohm |
| | | | |
| Reactancia y resistencia vistas desde el totalizador aguas arriba | | | |
| R | = | **0,09581** | ohm |
| X | = | **0,02032** | ohm |
| Z | = | **0,09794** | ohm |
| X/R | = | 0,21207 | |
| | | | |
| **Irms simétrica** | = | **2246,21** | A |
| Tiempo de disparo del totalizador | | 50 | ms |
| **Irms asimétrica** | = | **2246** | A |
| | | | |
| Cálculo del área de la sección transversal del conductor | | | |
| Area mínima | = | 4,81 | mm^2 |
| | | | |
| | | | |

| TN-7 | | | |
|---|---|---|---|
| Conductor Cu Calibre 3x4 AWG | | | |
| Número de conductores por fase | | 1 | |
| Area sección transversal por conductor | | 21,14 | mm^2 |
| Area sección transversal | = | 21,14 | mm^2 |
| Longitud | | 33 | m |
| Valor medio según disposición de conductores | Cables unipolare | 0,18 | m ohm/m |
| Resistividad | Cobre | 0,0225 | ohm mm^2/m |
| Rb | = | **0,03512** | ohm |
| Xb | = | **0,00594** | ohm |
| | | | |
| Reactancia y resistencia vistas desde el totalizador aguas arriba | | | |
| R | = | **0,03951** | ohm |
| X | = | **0,01654** | ohm |
| Z | = | **0,04283** | ohm |
| X/R | = | 0,41857 | |
| | | | |
| **Irms simétrica** | = | **5136,05** | A |
| Tiempo de disparo del totalizador | | 50 | ms |
| **Irms asimétrica** | = | **5136** | A |
| | | | |
| Cálculo del área de la sección transversal del conductor | | | |
| Area mínima | = | 10,99 | mm^2 |
| | | | |
| | | | |

| TN-8 | | | |
|---|---|---|---|
| Conductor Cu Calibre 3x1/0 AWG | | | |
| Número de conductores por fase | | 1 | |
| Area sección transversal por conductor | | 53,50 | mm^2 |
| Area sección transversal | = | 53,50 | mm^2 |
| Longitud | | 32 | m |
| Valor medio según disposición de conductores | Cables unipolare | 0,18 | m ohm/m |
| Resistividad | Cobre | 0,0225 | ohm mm^2/m |
| Rb | = | **0,01346** | ohm |
| Xb | = | **0,00576** | ohm |
| | | | |
| Reactancia y resistencia vistas desde el totalizador aguas arriba | | | |
| R | = | **0,01785** | ohm |
| X | = | **0,01636** | ohm |
| Z | = | **0,02421** | ohm |
| X/R | = | 0,91658 | |
| | | | |
| **Irms simétrica** | = | **9086,94** | A |
| Tiempo de disparo del totalizador | | 50 | ms |
| **Irms asimétrica** | = | **9087** | A |
| | | | |
| Cálculo del área de la sección transversal del conductor | | | |
| Area mínima | = | 19,44 | mm^2 |
| | | | |
| | | | |

| TN-9 | | | |
|---|---|---|---|
| Conductor Cu Calibre 3x2 AWG | | | |
| Número de conductores por fase | | 1 | |
| Area sección transversal por conductor | | 33,62 | mm^2 |
| Area sección transversal | = | 33,62 | mm^2 |
| Longitud | | 31 | m |
| Valor medio según disposición de conductores | Cables unipolare | 0,18 | m ohm/m |
| Resistividad | Cobre | 0,0225 | ohm mm^2/m |
| Rb | = | **0,02075** | ohm |
| Xb | = | **0,00558** | ohm |
| | | | |
| Reactancia y resistencia vistas desde el totalizador aguas arriba | | | |
| R | = | **0,04667** | ohm |
| X | = | **0,01762** | ohm |
| Z | = | **0,04988** | ohm |
| X/R | = | 0,37754 | |
| | | | |
| **Irms simétrica** | = | **4410,36** | A |
| Tiempo de disparo del totalizador | | 50 | ms |
| **Irms asimétrica** | = | **4410** | A |
| | | | |
| Cálculo del área de la sección transversal del conductor | | | |
| Area mínima | = | 9,44 | mm^2 |
| | | | |
| | | | |

| TI-1 | | | |
|---|---|---|---|
| Conductor Cu Calibre 3x8 AWG | | | |
| Número de conductores por fase | | 1 | |
| Area sección transversal por conductor | | 8,36 | mm^2 |
| Area sección transversal | = | 8,36 | mm^2 |
| Longitud | | 38 | m |
| Valor medio según disposición de conductores | Cables unipolare | 0,18 | m ohm/m |
| Resistividad | Cobre | 0,0225 | ohm mm^2/m |
| Rb | = | **0,10227** | ohm |
| Xb | = | **0,00684** | ohm |
| | | | |
| Reactancia y resistencia vistas desde el totalizador aguas arriba | | | |
| R | = | **0,10227** | ohm |
| X | = | **0,00684** | ohm |
| Z | = | **0,10250** | ohm |
| X/R | = | 0,06688 | |
| | | | |
| **Irms simétrica** | = | **2146,32** | A |
| Tiempo de disparo del totalizador | | 50 | ms |
| **Irms asimétrica** | = | **2146** | A |
| | | | |
| Cálculo del área de la sección transversal del conductor | | | |
| Area mínima | = | 4,59 | mm^2 |
| | | | |
| | | | |

Resumen Icc anteriormente calculados:

| Tablero o equipo | Nivel de cortocircuito (KA) |
|---|---|
| Transformador 300kVA | 26,34 |
| TRANSFERENCIA | 19,37 |
| TD-GN | 11,11 |
| TN-1 | 3,96 |
| TN-2 | 7,70 |
| TN-3 | 3,26 |
| TN-4 | 11,14 |
| TN-5 | 8,34 |
| TN-6 | 2,25 |
| TN-7 | 5,14 |
| TN-8 | 9,09 |
| TN-9 | 4,41 |
| TI-1 | 2,15 |

# d. Análisis de nivel de riesgo por rayos y medidas de protección contra rayos.

# 1 INTRODUCCION

El rayo es un fenómeno meteorológico de origen natural, cuyos parámetros son variables espacial y temporalmente. La mayor incidencia de rayos en el mundo se da en las tres zonas de mayor convección profunda: América tropical, África central y norte de Australia. Colombia, por estar situada en la Zona de confluencia Intertropical, presenta una de las mayores actividades de rayos del planeta; de allí la importancia de la protección contra dicho fenómeno.

La protección se debe basar en la aplicación de un Sistema Integral de Protección, conducente a mitigar los riesgos asociados con la exposición directa e indirecta a los rayos. En general, una protección contra rayos totalmente efectiva no es técnica ni económicamente viable, pero un diseño basado en un método reconocido por normas técnicas internacionales como la IEC 62305-3, de reconocimiento internacional o NTC 4552, las cuales se basan en el método electro-geométrico disminuye los efectos, que pueden ser de tipo electromagnético, mecánico o térmico.

Las descargas atmosféricas son producidas por factores como la humedad y las altas densidades de carga entre dos superficies que ionizan el aire y dan origen a la descarga eléctrica. Estos tipos de descarga pueden ser de diferente tipo: nube-nube, nube-tierra o tierra-nube. Debido a la naturaleza de este fenómeno no es posible conocer cuando y donde se producirá una descarga atmosférica, pero la probabilidad aumenta dependiendo del tipo de estructura, su altura, los objetos que lo rodean, entre otros factores que son considerados a la hora de evaluar el riesgo.

Para el proyecto **AUDITORIO BOGOTÁ**, el diseño del Sistema de Protección Externa Contra Rayos (SPE) se basó en los lineamientos establecidos por el RETIE y la norma técnica colombiana NTC 4552 de 2008, los cuales se exponen en cada uno de los ítems de este informe técnico.

# 2 DATOS DEL PROYECTO.

## 2.1 Cálculo del Nivel de Riesgo

El calculó del nivel de riesgo por rayos al que están expuestas las personas, estructuras y equipos, se hizo en conformidad con la Norma Técnica Colombiana NTC 4552-2: 2008. Todos los parámetros considerados para el cálculo del análisis de riesgo se exponen en el ANEXO A de este documento.

## 2.2 Sistema de Protección Externo contra Rayos (SPE).

Para el procedimiento de diseño del sistema de protección externo se consideraron, entre otros, los siguientes aspectos:

- ✓ Distribución Geométrica de la edificación del proyecto. Esta información se obtuvo a partir de planos.

La ubicación de los terminales de captación del sistema de protección se basó en el método de *la esfera rodante,* que permite identificar los espacios protegidos de la estructura, mediante el posicionamiento de una esfera en los elementos captadores. Esta metodología se aplica en conformidad con la norma NTC 4552-3 de 2008.

## 2.3 Puesta a tierra del SPE.

Con base a las medidas de resistividad eléctrica del terreno, se calculó el tamaño del sistema de puesta a tierra para el SPE. En el ANEXO B de este informe se muestra el registro de las medidas realizadas.

# 3 SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNA CONTRA RAYOS.

## 3.1 Sistema de protección externa contra rayos.

Los elementos del sistema de captación deberán cumplir las siguientes condiciones:

- ✓ Todo elemento metálico utilizado para la captación, conducción, fijación y conexión debe cumplir con los parámetros establecidos por la tabla 16.1 del Reglamento Técnico De Instalaciones Eléctricas RETIE.
- ✓ Las puntas de captación a utilizar serán puntas tipo Franklin, las cuales estarán ubicadas tal y como se indica en el plano anexo.

- ✓ La altura de cada terminal de captación se describe en el plano anexo. Las puntas captadoras se deben instalar de forma vertical.
- ✓ El anillo conductor será en alambrón de aluminio de un diámetro mínimo de 8 mm. También se puede utilizar cable desnudo de aluminio o cobre, tamaño 1/0 AWG
- ✓ Los elementos utilizados para la fijación del anillo conductor a las cubiertas deberán proveer una fijación firme de tal manera que fuerzas mecánicas accidentales (vibraciones, expansión térmica, etc.) no causen el rompimiento de los conductores o su perdida.

## 3.2 BAJANTES

El sistema de conductores bajantes se debe implementar de forma que permita la reducción de la probabilidad de daño debido a corrientes de rayo fluyendo por el SPE. Las bajantes se deben instalar de manera tal que a partir del punto de impacto de rayo hasta tierra se cumpla los siguientes parámetros:

- ✓ Existencia de varios caminos para la corriente de rayo.
- ✓ La longitud de cada bajante debe ser la mínima posible.
- ✓ La equipotencialización a partes conductoras de la estructura se debe hacer de acuerdo a los requisitos del numeral 6.2 de la NTC 4552-3: 2008.
- ✓ Cada una de las bajantes debe terminar en uno o varios electrodos de puesta a tierra.
- ✓ Las bajantes deben estar separadas un mínimo de 10m y siempre buscando que se localicen en las partes externas de la edificación.
- ✓ Las bajantes deberán ser en cable de cobre de 1/0 AWG con 1.7 mm de diámetro por hilo o de alambrón de cobre de 8mm de diámetro, ubicadas como se indican en el plano anexo, interconectadas al sistema de captación mediante conectores variables en aluminio y al sistema de puesta a tierra por medio de conectores bimetálicos. Las uniones de prueba deben ser de fácil conexión y desconexión para propósitos de medición, por lo que se excluye el uso de conectores bimetálicos de compresión.
- ✓ Los conductores bajantes deben instalarse de manera rectilínea y vertical, siguiendo el camino más corto y directo a tierra. Debe evitarse la formación de bucles en el conductor bajante y de curvas de menos de 20 cm de radio.
- ✓ El número de bajantes no debe ser inferior a dos y deben ubicarse en el perímetro de la estructura a proteger, en función de las restricciones arquitectónicas y prácticas. Deben instalarse en la medida de lo posible, en las esquinas de la estructura.

## 3.3 AISLAMIENTO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN.

El número de conductores bajantes se determinó bajo la consigna de obtener una distancia de separación “S” que garantice la seguridad de las personas y los diferentes elementos de la estructura cercanos a los conductores bajantes, anillo exterior y conductores de puesta a tierra del sistema de captación.

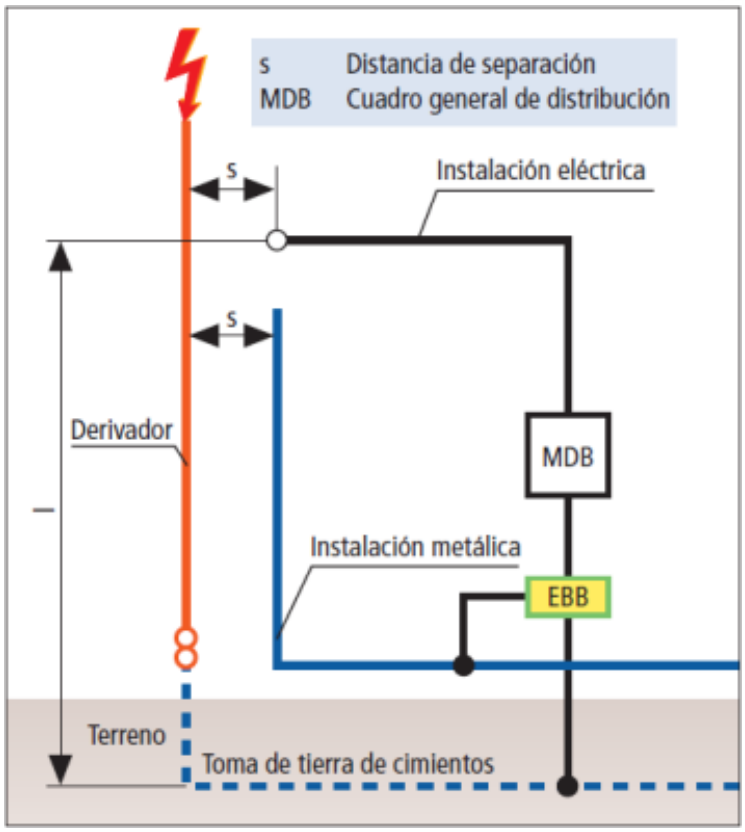



**Figura 1.** Distancia de separación "S".

El aislamiento eléctrico entre el sistema de captación o las bajantes respecto a:

- ✓ Partes metálicas internas.
- ✓ Sistemas eléctricos.
- ✓ Líneas de telecomunicaciones.

Puede ser logrado mediante distancias de separación "S" entre las partes así:

$$S = k_i \frac{k_c}{k_m} L \quad [m]$$

Dónde:

Ki: depende del nivel de protección del SPE (ver Tabla 1).

Kc: depende del flujo de corriente por los conductores bajantes (ver Tabla 2).

Km: depende del aislamiento entre las partes (ver Tabla 3).

L: es la longitud en metros, a lo largo del terminal captador o el conductor bajante, medido desde el punto de distancia de separación bajo consideración y la unión equipotencial más cercana.

| Clase de SIPRA | $k_i$ |
|---|---|
| I | 0,08 |
| II | 0,06 |
| III - IV | 0,04 |

**Tabla 1.** Valores del coeficiente *ki* para aislamiento externo.

| Número de bajantes<br>$n$ | $k_c$ |
|---|---|
| 1 | 1 |
| 2 | 1 … 0.5 |
| 4 o más | 1 … 1/$n$ |

**Tabla 2.** Valores del coeficiente *kc* para aislamiento externo.

| Material | $k_m$ |
|---|---|
| Aire | 1 |
| Concreto | 0,5 |
| NOTA Cuando hay algunos materiales aislantes en serie, es una buena práctica utilizar el valor más bajo de km<br>NOTA El uso de otros materiales aislantes está bajo consideración | |

**Tabla 3.** Valores del coeficiente *km* para aislamiento externo.

La diferencia de potencial entre las instalaciones del edificio y las derivaciones es igual a cero cerca de la superficie del suelo. Al aumentar la altura se incrementa la diferencia de potencial. Esto puede representarse como un cono invertido sobre la punta (ver Figura 2).

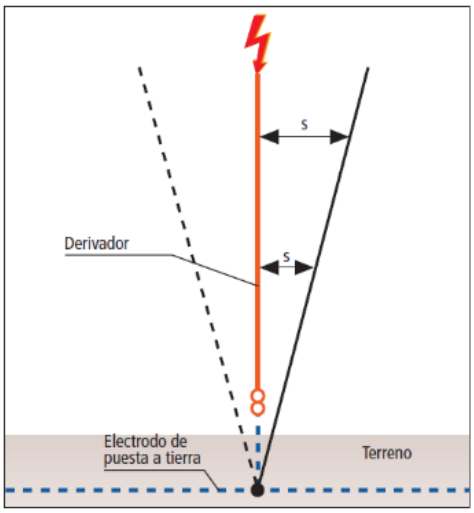



**Figura 2.** Diferencia de potencial al aumentar la altura.

Para el proyecto **AUDITORIO BOGOTÁ** se calculó la distancia de separación "S" bajo los parámetros expuestos en la Tabla 4, obteniéndose como resultado lo observado en la Figura 3. Por lo tanto, se recomienda una separación S mínima de 29cm con el propósito de ser conservativos y evitar daños por inducciones electromagnéticas.

| | |
|---|---|
| **Numero de bajantes** | 4 |
| ***ki*** | 0,04 |
| ***kc*** | 0,44 |
| ***km aire*** | 1 |

**Tabla 4.** Parámetros de cálculo de "S"




**Figura 3** Separación "S" entre los conductores del sistema de protección externa y los alrededores (personas y equipos).

## 3.4 DISEÑO DE LA PUESTA A TIERRA.

La resistencia de puesta a tierra del sistema de protección externa se midió el dia 25 de junio de 2024 con un telurómetro Metrel MI2088.

Para la puesta a tierra del proyecto se tienen 2 bajantes en cable de cobre que finalizan en un electrodo de puesta a tierra el cual se interconecta a la puesta a tierra de la subestación, la resistencia medida es de 0.15Ω. los valores máximos permitidos por el RETIE (ver figura 4.2)



**Figura 4.1** resultados.

| APLICACIÓN | VALORES MÁXIMOS DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA |
|---|---|
| Estructuras y torrecillas metálicas de líneas o redes con cable de guarda | 20 Ω |
| Subestaciones de alta y extra alta tensión. | 1 Ω |
| Subestaciones de media tensión. | 10 Ω |
| Protección contra rayos. | 10 Ω |
| Punto neutro de acometida en baja tensión. | 25 Ω |
| Redes para equipos electrónicos o sensibles | 10 Ω |

**Tabla 15.4. Valores de referencia para resistencia de puesta a tierra**

**Figura 4.2** Valores máximos de resistencia.

# 4 MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNA CONTRA RAYOS.

## 4.1 Inspección.

El objetivo de la inspección es:

- ✓ Determinar si el diseño está basado en un método reconocido por normas técnicas internacionales como la IEC 62305-3 o de reconocimiento nacional como la NTC 4552-3: 2008, las cuales se basan en el método electrogeométrico.
- ✓ Verificar que todos los componentes del SPE estén en buen estado, aptos para desempeñar las funciones para las cuales fueron diseñados y evitar la presencia de corrosión.
- ✓ Comprobar que estén cubiertos por el SPE de la estructura las construcciones o servicios adicionados recientemente.

La inspección del SPE para el proyecto se debe realizar en las siguientes etapas:

- ✓ Durante el montaje del SPE, especialmente durante la instalación de las componentes que serán escondidas en la estructura y serán inaccesibles.
- ✓ Después de terminado el montaje del SPE.
- ✓ Después de alteraciones o reparaciones, o cuando se tiene conocimiento que la estructura ha sido impactada por una descarga eléctrica atmosférica.

| Nivel de Protección | Inspección Visual (año) | Inspección Completa (año) | Sistemas críticos Inspección completa (año) |
|---|---|---|---|
| I y II | 1 | 2 | 1 |
| III y IV | 2 | 4 | 1 |
| NOTA Los sistemas de protección contra rayos utilizados en estructuras con alto riesgo de explosión deben ser inspeccionadas visualmente cada 6 meses. Las pruebas eléctricas deben ser realizadas una vez al año. | | | |
| Una excepción aceptable para la programación anual de pruebas puede ser realizarlas en ciclos de 14 o 15 meses donde se considera el beneficio de la conductividad de las pruebas de resistencia de puesta a tierra debido a su poca variación con el tiempo. | | | |

**Tabla 5.** Máximo periodo entre inspecciones de un SPE.

Se recomienda que la inspección visual se realice al menos una vez al año y máximo en 2 años tal y como lo establece la tabla 5. Si el SPE del proyecto **AUDITORIO BOGOTÁ** forma parte del programa de mantenimiento planeado por el cliente, o es un requisito de la aseguradora, el SPE puede ser probado totalmente al año.

Las pruebas realizadas durante la inspección completa se deben realizar de acuerdo a al anexo E.7.2.4 de la NTC 4552-3 de 2008.

Como resultado de la inspección del SPE para el proyecto **AUDITORIO BOGOTÁ** se le debe hacer entrega al cliente de un reporte de inspección que contenga lo siguiente:

- ✓ Condiciones generales de los conductores del sistema de captación y otros componentes.
- ✓ Nivel general de corrosión y la condición de la protección contra corrosión.
- ✓ Seguridad de las uniones de los conductores y componentes del SPE.
- ✓ Medida de resistencia eléctrica de los sistema de puesta a tierra.
- ✓ Alguna desviación de los requisitos establecidos por la norma bajo la cual se basó el diseño.
- ✓ Documentación de todos los cambios y extensiones del SPE y cualquier cambio en la estructura. Además, los planos del SPE y la descripción del diseño deben ser revisados.
- ✓ Los resultados de las pruebas realizadas.

## 4.2 Mantenimiento.

Las inspecciones regulares están entre los parámetros fundamentales para el mantenimiento confiable del SPE. El propietario será informado de todas las fallas observadas en la inspección y estas deberán ser reparadas sin demora.

El programa de mantenimiento del SPE debe garantizar una continua actualización y operación para poder afrontar los problemas ocasionados por las descargas eléctricas atmosféricas.

El mantenimiento de un SPE es importante incluso aun cuando el diseñador o el encargado del montaje hayan tomado precauciones especiales adicionales a los requisitos establecidos por la

normatividad vigente, tales como protección adicional contra la corrosión y sobredimensionamiento de los componentes del SPE de acuerdo con su nivel de exposición contra rayos y a factores ambientales.

El programa de mantenimiento debe estar compuesto por lo siguiente:

- ✓ Verificación de todo el SPE y componentes del sistema.
- ✓ Verificación de la continuidad eléctrica de la instalación del SPE.
- ✓ Medición de la resistencia del sistema de puesta a tierra.
- ✓ Verificación de los DPS´s.
- ✓ Re-ajustar los componentes y conductores.
- ✓ Verificación para asegurar la efectividad del SPE que no se haya reducido después de adiciones o cambios en la estructura y sus instalaciones.

# 5 Notas de interés.

- ✓ Para el montaje del sistema de protección externo contra descargas atmosféricas del proyecto AUDITORIO BOGOTÁ se deben cumplir todos los parámetros establecidos en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE.

- ✓ Para el sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas es necesario establecer prácticas regulares de inspección y mantenimiento siguiendo los parámetros establecidos por los anexos E.7.2 y E.7.3 de la NTC 4552-3: 2008.

- ✓ Cualquier variación en la geometría de las edificaciones consideradas o la inserción de cualquier otra edificación en la zona de interés modifica este diseño, por lo cual se invalida este informe y sus planos.

- ✓ Las terminales de captación deberán ser instaladas en los puntos indicados, cualquier variación en las medidas y ubicaciones invalidará este diseño.

- ✓ Es necesario instalar protecciones contra las sobretensiones que puedan ocurrir, debido a descargas atmosféricas en los alrededores de las edificaciones o sobre el sistema de protección externo de las estructuras. Esto con el fin de proteger los equipos sensibles y así lograr una protección integral (según IEEE C62.41).

- ✓ El supresor o los supresores tipo 2 se deben instalar inmediatamente antes de ingresar a los tableros de distribución que alimentan cargas sensibles y los supresores tipo 3, se deben colocar como protecciones individuales de equipos sensibles y de líneas telefónicas y de datos que ingresan a la edificación.

- ✓ Todos los supresores de sobretensión deben tener conexión a tierra.

- ✓ “Todas las partes conductoras internas de tamaño significativo, tales como los rieles del ascensor, grúas, pisos metálicos, tuberías y servicios eléctricos, deben ser unidos al barraje equipotencial más cercano por medio de un conductor corto a nivel de tierra y en otros niveles si no están de acuerdo con el numeral 6.3 no se puede realizar. Los barrajes equipotenciales y las otras partes deben resistir la corriente de rayo”, (Tomado de la NTC 4552-3 de 2008)

- ✓ “No se deben usar como conductores de puesta a tierra conductores aislados o desnudos de aluminio o aluminio recubierto de cobre que estén en contacto directo con las paredes de mampostería o con tierra o si están sometidos a condiciones corrosivas. Cuando se utilicen en el exterior, los conductores de puesta a tierra de aluminio recubierto de cobre no se deben instalar a menos de 0.5m del suelo”, (Tomado de la NTC 2050).

- ✓ La puesta a tierra del sistema de protección externo se debe unir con otras puestas a tierra existentes en el proyecto para equipotencializar los sistemas. Esta unión deberá realizarse en cable de cobre desnudo de calibre mínimo No. 1/0 AWG, por debajo del piso haciendo el menor recorrido posible.

- ✓ “Los conductos, encerramientos, estructuras y otras partes metálicas de equipos eléctricos no portadores de corriente se deben mantener alejados como mínimo a 1.80m de los conductores bajantes; cuando la distancia a los conductores de las bajantes sea menor a 1.80m, se deben conectar equipotencialmente a dichas bajantes”, (Tomado de la NTC 2050).

- ✓ “Cualquier elemento metálico de la estructura que se encuentre expuesto al impacto del rayo, como antenas de televisión, chimeneas, torres de comunicación y cualquier tubería que sobresalga debe ser tratado como un terminal de captación siempre que garantice su capacidad de conducción y continuidad eléctrica”, (Tomado del artículo 16 del RETIE). Por tal motivo, deberán conectarse al anillo equipotencializador con conectores certificados para tal uso y cables que cumplan con la tabla 16.1 del RETIE.

- ✓ El radio de curvatura de una bajante no debe ser inferior a 20 cm, ni formar un ángulo menor de 90°, según normas NFPA 780 y UL96A.

- ✓ Software utilizados:

- ✓ Para el diseño del sistema de protección externa contra rayo AUTOCAD.

# ANEXO A: Análisis de riesgo por rayos

## 1. A.1 INTRODUCCIÓN

La evaluación de riesgos por rayos es el elemento más importante en el proceso para diseñar un sistema de protección contra rayos, especialmente al momento de seleccionar el nivel de protección, ya que este define el dimensionamiento de las diferentes componentes del sistema de protección contra rayos a implementar y por ende tiene una incidencia directa en la calidad de la protección brindada al sistema y a los seres vivos y el costo del sistema de protección.

Como termino técnico aplicado al fenómeno del rayo, riesgo es la probabilidad de sufrir un daño en instalaciones o pérdidas de vidas humanas, económicas, de servicios o de bienes culturales al año.

Actualmente existen diversas metodologías para la evaluación contra rayos, pero las cuatro más utilizadas por la comunidad internacional son:

1. Metodología basada en la teoría de lógica difusa.
2. Metodología basada en la norma NFPA 780.
3. Metodología basada en la norma NTC 4552.
4. Metodología basada en la norma IEC 62305.

La metodología empleada en la evaluación de riesgos por rayos que se expone en este documento, se basa en lo propuesto por la norma internacional IEC 62305-2 y homologado por la norma nacional NTC 4552-2 del año 2008, la cual consiste en evaluar el riesgo por rayos a partir de la fuente primaria de daño (impactos directos o indirectos de rayo sobre la estructura o las acometidas de servicio que entran a la estructura), por medio de diferentes componentes de riesgo que dependen del número de eventos anuales peligrosos, probabilidad de ocurrencia de daños y el tipo de posibles pérdidas que se obtenga por acción del rayo en una estructura o acometida de servicio.

| **Tipo de Daño** | | **Lesiones a seres vivos** | **Daños físicos** | **Fallas de sistemas eléctricos y electrónicos** |
|---|---|---|---|---|
| **Componente de riesgo** | | **$R_S$** | **$R_F$** | **$R_O$** |
| Tipo de Riesgo | $R_1$ | $R_A+R_U$ | $R_B+R_V$ | $R_C+R_M+R_W+R_Z$ |
| | $R_2$ | - | $R_B+R_V$ | $R_C+R_M+R_W+R_Z$ |
| | $R_3$ | - | $R_B+R_V$ | - |
| | $R_4$ | $R_A+R_U$ | $R_B+R_V$ | $R_C+R_M+R_W+R_Z$ |

**Tabla A1.** Componentes de riesgo para cada tipo de daño en la estructura. Tomado de la tabla 4 de la NTC 4552-2.

La norma nacional NTC 4552-2 del año 2008, en función de los tipos de pérdidas asociadas a la estructura y a las acometidas de servicio, considera cuatro tipos de riesgos a evaluar.

**$R_1$** - Riesgo de pérdida de vida humana.
**$R_2$** - Riesgo de pérdida del servicio a público.
**$R_3$ -** Riego de pérdida de patrimonio cultural.
**$R_4$ -** Riego de pérdida de valor económico.

Cada uno de estos riesgos está constituido por la suma de varias componentes, las cuales se agrupan de acuerdo al tipo de riesgo y tipo de daño.

| | |
|---|---|
| **$R_A$** | Lesiones a seres vivos causados por tensiones de paso y contacto en la zona con un radio de cobertura de 3m fuera de la estructura. |
| **$R_B$** | Daños físicos causados por chispas peligrosas dentro de la estructura causando fuego o explosión. |
| **$R_C$** | Falla de sistemas internos causados por IER (Impulsos Electromagnéticos del Rayo), debido a impactos directos de rayo. |
| **$R_M$** | Falla de sistemas internos causados por IER (Impulsos Electromagnéticos del Rayo), debido a impactos cercanos de rayo. |
| **$R_U$** | Lesiones a seres vivos causados por tensiones de paso y contacto dentro de la estructura, debido a corrientes de rayo que fluyen por una línea entrante a la estructura. |
| **$R_V$** | Daños físicos (fuego o explosión por chispas entre las instalaciones externas y partes metálicas generalmente al punto de entrada de la línea a la estructura) debido a corrientes de rayo transmitida a través de la acometida de servicios. |
| **$R_W$** | Fallas de sistemas internos causados por sobretensiones inducidas sobre las líneas de acometida y transmitida a la estructura, debido a impactos directos de rayo. |
| **$R_Z$** | Fallas de sistemas internos causados por sobretensiones inducidas sobre las líneas de acometida y transmitida a la estructura, debido a impactos cercanos de rayo. |

**Tabla A2.** Componentes de riesgo.

Considerando las características propias del proyecto **AUDITORIO BOGOTÁ**, su estructura, detalles arquitectónicos exteriores, su uso y destinación final, se determinó evaluar el riesgo de pérdida de la vida $R_1$, para el cual, en este informe técnicos se describen todos los parámetros considerados para el cálculo de cada una de sus componentes.

El valor de Densidad de descargas a tierra DDT se toma de la figura A.9 de la NTC 4552-1 del año 2008, el cual se expone en la figura A1.

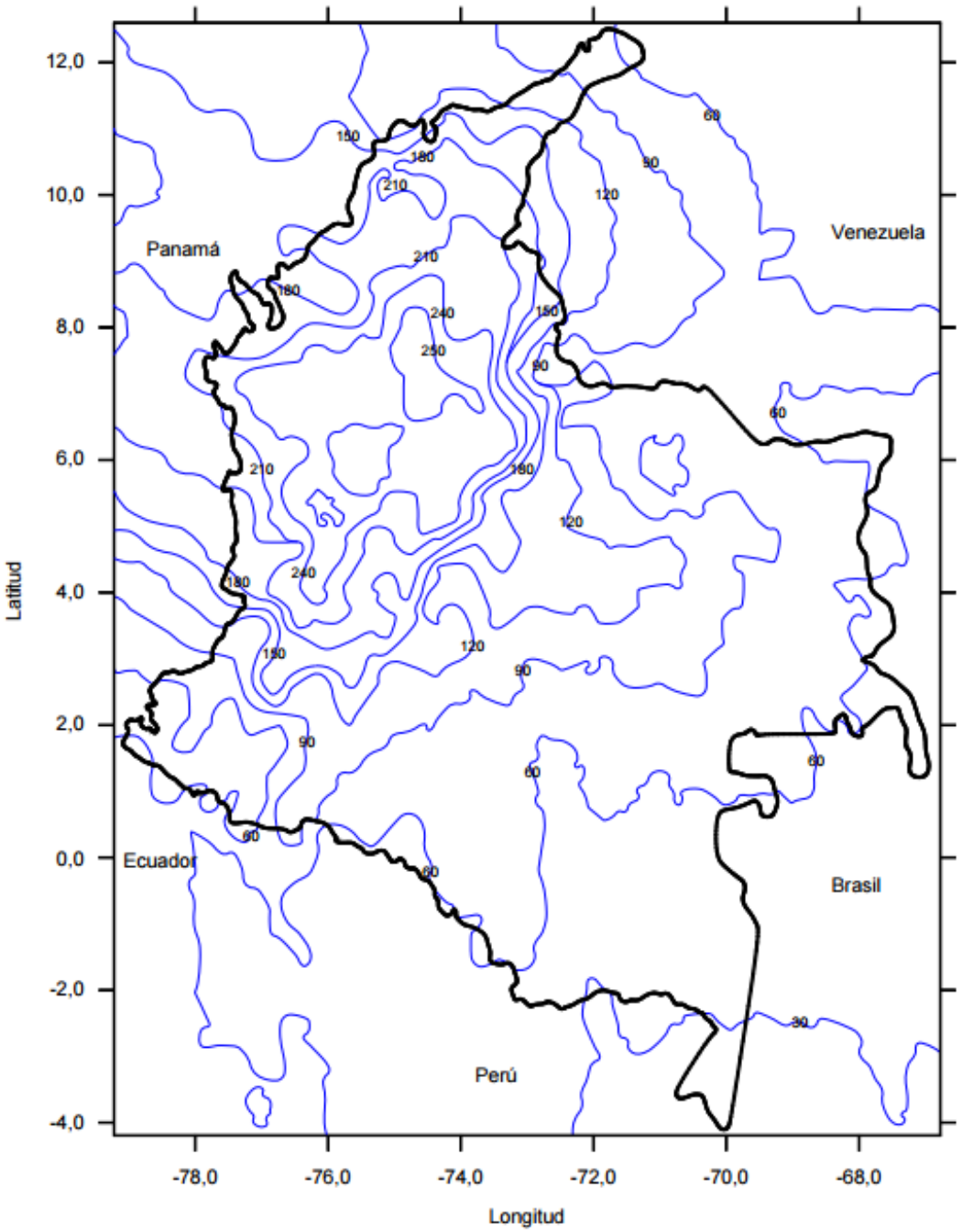



**Figura A1.** Características de los sistemas de potencia.

## 2. A.2 DATOS RELEVANTES Y CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO.

A continuación, se indican los datos y características de la estructura y sus alrededores, líneas de servicio que entran a la estructura y los sistemas internos conectados.

| Parámetro | Observación | Símbolo | Valor |
|---|---|---|---|

| | | | |
|---|---|---|---|
| Dimensiones [m] | - | L*W*H | 39.73x23.38x11.2 |
| Factor de localización | Objeto rodeado de objetos de igual altura o menor | $C_d$ | 0.5 |
| Nivel de protección contra Rayos | Ninguno | $P_B$ | 1 |
| Apantallamiento externo de la estructura | - | $K_{S1}$ | 2.8056 |
| Apantallamiento interno de la estructura | - | $K_{S2}$ | 2.8056 |
| Densidad de descargas a tierra | $1/Km^2/año$ | DDT | 4.22 |
| Personas en la estructura | | $n_t$ | 305 |

**Tabla A3.** Características de la estructura.

| Parámetro | Observación | Símbolo | Valor |
|---|---|---|---|
| Resistividad del suelo | Ωm | ρ | 500 |
| **Características de los sistemas de potencia y de las líneas de potencia conectadas** | | | |
| Longitud [m] | | $L_C$ | 40 |
| Altura [m] | Acometida Subterranea | $H_C$ | 0 |
| Transformador | Transformador con devanado primario y secundario desacoplado eléctricamente | $C_t$ | 0.2 |
| Factor de localización de la línea | Objeto rodeado de objetos de igual altura o menor | $C_d$ | 0.5 |
| Factor ambiental de la línea | Urbano (Edificaciones entre 10m y 20m de altura) | $C_e$ | 0.1 |
| Apantallamiento de la línea | | $P_{LD}$ | |
| Precaución en el cableado interno | Con precaución de evitar grandes lazos en la ruta | $K_{S3}$ | 0.2 |
| Tensión soportada del sistema interno | $U_W$ = XX | $K_{S4}$ | 0.6 |
| Protección Coordina de los dispositivos de protección contra sobretensiones | Sin sistema coordinado de protección | $P_{DPS}$ | 1 |
| Extremo “a” de la línea, dimensiones de la estructura [m] | | La*Wa*Ha | 0x0x0 |
| **Características de los sistemas de telecomunicación y de las líneas de telecomunicación conectadas** | | | |
| Longitud [m] | | $L_C$ | 40 |
| Altura [m] | Acometida Subterranea | $H_C$ | 0 |
| Factor de localización de la línea | Urbano (Edificaciones entre 10m y 20m de altura) | $C_d$ | 0.5 |
| Factor ambiental de la línea | 0 | $C_e$ | 0.1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Apantallamiento de la línea | | $P_{LD}$ | |
| Precaución en el cableado interno | 0 | $K_{S3}$ | 0.2 |
| Tensión soportada del sistema interno | $U_W$ = XX | $K_{S4}$ | 0.6 |
| Protección Coordina de los dispositivos de protección contra sobretensiones | Sin sistema coordinado de protección | $P_{DPS}$ | 1 |
| Extremo "a" de la línea, dimensiones de la estructura [m] | | La*Wa*Ha | 0x0x0 |

**Tabla A4.** Características de los sistemas de potencia.

## 3. A.3 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS ZONAS EN EL PROYECTO.

Teniendo en cuenta que el tipo de superficie del suelo es diferente en el exterior e interior, se pueden definir las siguientes zonas principales:

- ✓ Zona 1, interior del edificio.
- ✓ Zona 2, exterior del edificio

Las características de las zonas están indicadas en la tabla A5 y A6 para las zonas 1 y 2 respectivamente.

Según la evaluación de la protección considerada para el área del proyecto, se considerarán para el riesgo $R_1$ los siguientes valores medios típicos de pérdidas anuales, los cuales se extraen de la tabla 26 de la NTC 4552-2 del año 2008.

- ✓ Lt = 10-4 en el interior de la estructura.
- ✓ Lf =10-1.

Estos valores de pérdidas se reducen en cada zona, teniendo en cuenta el número potencial de personas en peligro en la zona con relación al número total de personas presentes en la estructura.

| Parámetro | Observación | Símbolo | Valor |
|---|---|---|---|
| Tipo de superficie del suelo | Agricultura, concreto | $r_a$ | 0.01 |
| Protección contra impactos | Sin medidas de Protección | $P_A$ | 1 |
| Pérdidas por tensiones de paso y de contacto | Si | $L_t$ | 0.0001 |
| Personas potencialmente en peligro en esta zona | | $n_P$ | 20 |

**Tabla A 5.** Características de la zona 1 (exterior al edificio).

| Parámetro | Observación | Símbolo | Valor |
|---|---|---|---|
| Tipo de superficie del suelo | Mármol, cerámica | $r_u$ | 0.001 |
| Riesgo de incendio | Ordinario | $r_f$ | 0.01 |
| Clase especial de riesgo | Nivel medio de pánico | $h_Z$ | 5 |
| Protección contra incendios | Sin medidas de Prevención | $r_P$ | 1 |
| Protección espacial | Existente | $K_{S2}$ | 2.8056 |
| Sistema interno de potencia | Conectado a la línea de potencia | | |
| Sistema interno de telecomunicaciones | Conectado a la línea de telecomunicaciones | | |
| Pérdidas por tensiones de paso y de contacto | Si | $L_t$ | 0.0001 |
| Perdida por daños físicos | Si | $L_f$ | 0.1 |
| Perdida por fallos de los sistemas internos | Ninguna | $L_o$ | |
| Personas potencialmente en peligro en esta zona | | $n_P$ | 20 |

**Tabla A6.** Características de la zona 2 (interior del edificio).

## 4. A.4 NÚMERO DE SUCESOS PELIGROSOS POSIBLES.

Los cálculos de las superficies de captación y el número de sucesos peligrosos posibles anuales se evalúan de acuerdo con la sección 6.5 de la NTC 4552-2 del año 2008. Los resultados se encuentran en las tablas A7 y A8.

| AREAS EFECTIVAS | | |
|---|---|---|
| Área efectiva para descargas directas en estructuras aisladas **$A_d$** | 8.72E+03 | $m^2$ |
| Área efectiva para descargas directas en estructuras adyacentes **$A_{d/a}$** | 0.00E+00 | $m^2$ |
| Área de influencia para descargas cercanas a la estructura **$A_m$** | 2.29E+05 | $m^2$ |
| Área efectiva para descargas en la acometida de servicio **$A_l$** Potencia | 8.94E+02 | $m^2$ |
| Área efectiva para descargas en la acometida de servicio **$A_l$** Teleco | 8.94E+02 | $m^2$ |
| Área efectiva para descargas proximas a la acometida de servicio **$A_i$** Potencia | 2.24E+04 | $m^2$ |
| Área efectiva para descargas proximas a la acometida de servicio **$A_i$** Teleco | 2.24E+04 | $m^2$ |

**Tabla A7.** Superficies de captación de las estructuras y de las acometidas de servicio.

| NÚMERO ANUAL N DE EVENTOS PELIGROSOS | | |
|---|---|---|
| Número Promedio Anual de descargas sobre la estructura **$N_D$** | 1.84E-02 | /año |
| Evaluación del Promedio Anual de descargas sobre estructuras adyacentes **$N_{da\ (Potencia)}$** | 0 | /año |
| Número Promedio Anual de descargas sobre estructuras adyacentes s **$N_{da\ (Telecomunicaciones)}$** | 0.00E+00 | /año |
| Número Promedio Anual de descargas cercanas a la estructuras **$N_M$** | 9.47E-01 | /año |
| Número promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicio **$N_{L\ (Potencia)}$** | 3.77E-04 | /año |
| Número promedio anual de descargas sobre las acometidas de servicio **$N_{L\ (Telecomunicaciones)}$** | 1.89E-03 | /año |
| Número promedio anual de descargas cercanas a las acometidas de servicio **$N_{i\ (Potencia)}$** | 1.89E-03 | /año |
| Número promedio anual de descargas cercanas a las acometidas de servicio **$N_{i\ (Telecomunicaciones)}$** | 9.43E-03 | /año |

**Tabla A8.** Numero de sucesos peligrosos posibles anuales.

## 5. A.5 CÁLCULO DEL RIESGO PARA LA TOMA DE DECISIÓN SOBRE LA NECESIDAD DE PROTECCIÓN.

En la tabla A9 se indican los componentes del riesgo implicados en la evaluación del riesgo total.

| COMPONENTES DE RIESGO | |
|---|---|
| $R_A$ | 1.84E-08 |
| $R_B$ | 9.19E-05 |
| $R_C$ | 0.00E+00 |
| $R_M$ | 0.00E+00 |
| $R_{U\ (Linea\ de\ Potencia)}$ | 3.77E-11 |
| $R_{U\ (Linea\ de\ telecomunicaciones)}$ | 1.89E-10 |
| $R_{V\ (Linea\ de\ Potencia)}$ | 1.89E-06 |
| $R_{V\ (Linea\ de\ telecomunicaciones)}$ | 9.43E-06 |
| $R_{W\ (Linea\ de\ Potencia)}$ | 0.00E+00 |
| $R_{W\ (Linea\ de\ telecomunicaciones)}$ | 0.00E+00 |
| $R_{Z\ (Linea\ de\ Potencia)}$ | 0.00E+00 |
| $R_{Z\ (Linea\ de\ telecomunicaciones)}$ | 0.00E+00 |

**Tabla A9.** Componentes de riesgo.

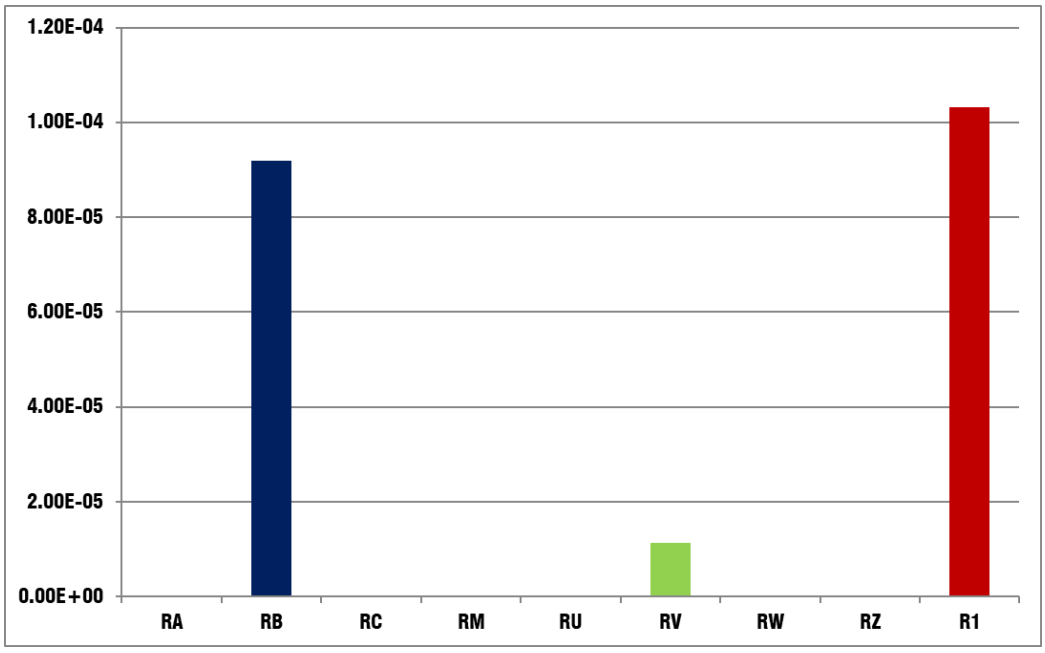



**Figura A2.** Numero de sucesos peligrosos posibles anuales.

La aplicación de los parámetros descritos (Tablas A3 a A8), a la evaluación del nivel de riesgo $R_1$, determinan que el valor de este es $\mathbf{1.03x10^{-4}}$. Este valor es mayor al límite de riesgo tolerable de $\mathbf{1x10^{-5}}$ según lo definido en la tabla A10 tomada de la NTC 4552-2 del año 2008, por consiguiente,

es necesario tomar medidas de protección para garantizar la seguridad de personas y la estructura, tales como:

- ✓ En todos los accesos a la azotea del edificio y en todas las bajantes expuestas se deberá tener, en forma visible el símbolo de riesgo eléctrico cumpliendo con el numeral 6.1.1 del reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE actualizado el 30 de agosto del 2013.
- ✓ Diseñar un sistema de protección contra rayo nivel III.
- ✓ Sistema coordinado de DPS'S nivel III-IV.
- ✓ Instalación de un sistema coordinado de DPS'S acorde con la normatividad nacional vigente para protección y reducción de fallas de sistemas internos, o en su defecto la norma IEC 62305-4 o los documentos normativos IEEE C.62.41-1 e IEEE C.62.41-2 o la normatividad UIT serie K.
- ✓ DPS's acordes a los requerimientos de Equipotencializacion de la NTC 4552-3.
- ✓ Una de las siguientes prevenciones: Una de las siguientes prevenciones: Extintores manuales; instalación de alarma manual; hidrantes, compartimientos contra fuego; ruta de evacuación.

Con las medidas tomadas, se obtiene un nivel de riesgo **R1=9.36x10$^{-6}$**, el cual está por debajo del nivel de riesgo tolerable.

| **TIPO DE PERDIDA** | RT |
|---|---|
| Pérdida de vidas o lesiones permanentes | $10^{-5}$ |
| Pérdida de servicio público | $10^{-3}$ |
| Pérdida de patrimonio cultural | $10^{-3}$ |

**Tabla A10.** Valores típicos de riesgo tolerable.

Según el artículo 5.2.1.1 de la NTC 4552-3, se establece que, dependiendo del nivel de protección de acuerdo con la NTC 4552-1, el radio de la esfera rodante se puede escoger a partir de la tabla 2 de dicha norma.

**Tabla 2. Valores máximos del radio de la esfera rodante según el nivel de protección**

| **Nivel de protección** | **Radio de la esfera ($r_{SC}$) [m]** |
|---|---|
| Nivel I | 35 |
| Nivel II | 40 |
| Nivel III | 50 |
| Nivel IV | 55 |

**Tabla A10.** Tabla 2 Radios de la esfera rodante según NTC 4552-3.

Para el presente diseño, se obtuvo un nivel II de protección acorde a los resultados del análisis de riesgo, por lo tanto, se trabaja con un radio de esfera rodante de 55m.

# e. Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos.

| RIESGO A EVALUAR | | Quemaduras<br>Evento o efecto | | por | Arco eléctrico<br>Factor de riesgo (causa) | (al) o (en) | Tableros BT<br>Fuente | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| POTENCIAL | | x | REAL | | | FRECUENCIA | | | |
| | | | | | | E | D | C | B | A |
| CONSECUENCIAS | En personas | Económicas | Ambientales | En la imagen de la empresa | | No ha ocurrido en el sector | Ha ocurrido en el sector | Ha ocurrido en la empresa | Sucede varias veces al año en la Empresa | Sucede varias veces al mes en la Empresa |
| | Una o más muertes | Daño grave en infraestructura, Interrupción regional | Contaminación irreparable | Internacional | 5 | MEDIO | ALTO | ALTO | ALTO | MUY ALTO |
| | Incapacidad parcial permanente | Daños mayores, Salida de Subestación | Contaminación mayor | Nacional | 4 | MEDIO | MEDIO | MEDIO | ALTO | ALTO |
| | Incapacidad temporal (>1 día) | Daños severos, Interrupción temporal | Contaminación localizada | Regional | 3 | BAJO | MEDIO | MEDIO | MEDIO | ALTO |
| | Lesión menor (sin incapacidad) | Daños Importantes. Interrupción breve | Efecto menor | Local | 2 | BAJO | BAJO | MEDIO | MEDIO | MEDIO |
| | Molestia funcional (afecta rendimiento laboral) | Daños leves, No interrupción | Sin efecto | Interna | 1 | BAJO | BAJO | BAJO | BAJO | MEDIO |
| Evaluador: | SANTIAGO PUERTA YARCE | | MP: | AN205-95142 | | Fecha: | 31/05/2022 | | | |

| RIESGO A EVALUAR | | Fibrilación<br>Evento o efecto | | por | Contacto Idirecto<br>Factor de riesgo (causa) | (al) o (en) | Tableros BT<br>Fuente | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| POTENCIAL | | x | REAL | | | FRECUENCIA | | | |
| | | | | | | E | D | C | B | A |
| CONSECUENCIAS | En personas | Económicas | Ambientales | En la imagen de la empresa | | No ha ocurrido en el sector | Ha ocurrido en el sector | Ha ocurrido en la empresa | Sucede varias veces al año en la Empresa | Sucede varias veces al mes en la Empresa |
| | Una o más muertes | Daño grave en infraestructura, Interrupción regional | Contaminación irreparable | Internacional | 5 | MEDIO | ALTO | ALTO | ALTO | MUY ALTO |
| | Incapacidad parcial permanente | Daños mayores, Salida de Subestación | Contaminación mayor | Nacional | 4 | MEDIO | MEDIO | MEDIO | ALTO | ALTO |
| | Incapacidad temporal (>1 día) | Daños severos, Interrupción temporal | Contminación 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 | BAJO | BAJO | BAJO | BAJO | MEDIO |
| Evaluador: | SANTIAGO PUERTA YARCE | | MP: | AN205-95142 | | Fecha: | 31/05/2022 | | | |

| RIESGO A EVALUAR | Quemaduras<br>Evento o efecto | por | Cortocircuito<br>Factor de riesgo (causa) | (al) o (en) | Tableros BT<br>Fuente |
|---|---|---|---|---|---|

| POTENCIAL | x | REAL | | | FRECUENCIA | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | E | D | C | B | A |
| CONSECUENCIAS | En personas | Económicas | Ambientales | En la imagen de la empresa | | No ha ocurrido en el sector | Ha ocurrido en el sector | Ha ocurrido en la empresa | Sucede varias veces al año en la Empresa | Sucede varias veces al mes en la Empresa |
| | Una o más muertes | Daño grave en infraestructura, Interrupción regional | Contaminación irreparable | Internacional | 5 | MEDIO | ALTO | ALTO | ALTO | MUY ALTO |
| | Incapacidad parcial permanente | Daños mayores, Salida de Subestación | Contaminación mayor | Nacional | 4 | MEDIO | MEDIO | MEDIO | ALTO | ALTO |
| | Incapacidad temporal (>1 día) | Daños severos, Interrupción temporal | Contminación 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 | BAJO | BAJO | BAJO | BAJO | MEDIO |

| Evaluador: | SANTIAGO PUERTA YARCE | MP: | AN205-95142 | Fecha: | 31/05/2022 |
|---|---|---|---|---|---|

| RIESGO A EVALUAR | Incendio<br>Evento o efecto | por | Sobrecarga<br>Factor de riesgo (causa) | (al) o (en) | Tableros BT<br>Fuente |
|---|---|---|---|---|---|

| POTENCIAL | x | REAL | | | FRECUENCIA | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | E | D | C | B | A |
| CONSECUENCIAS | En personas | Económicas | Ambientales | En la imagen de la empresa | | No ha ocurrido en el sector | Ha ocurrido en el sector | Ha ocurrido en la empresa | Sucede varias veces al año en la Empresa | Sucede varias veces al mes en la Empresa |
| | Una o más muertes | Daño grave en infraestructura, Interrupción regional | Contaminación irreparable | Internacional | 5 | MEDIO | ALTO | ALTO | ALTO | MUY ALTO |
| | Incapacidad parcial permanente | Daños mayores, Salida de Subestación | Contaminación mayor | Nacional | 4 | MEDIO | MEDIO | MEDIO | ALTO | ALTO |
| | Incapacidad temporal (>1 día) | Daños severos, Interrupción temporal | Contminación 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 | BAJO | BAJO | BAJO | BAJO | MEDIO |

| Evaluador: | SANTIAGO PUERTA YARCE | MP: | AN205-95142 | Fecha: | 31/05/2022 |
|---|---|---|---|---|---|

| COLOR | NIVEL DE RIESGO | DESCISIONES A TOMAR Y CONTROL | PARA EJECUTAR LOS TRABAJOS |
|---|---|---|---|
| | Muy alto | ***Inadmisible para trabajar***. Hay que eliminar fuentes potenciales, hacer reingenieria 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 direccion participa y aprueba el Analisis de Trabajo Seguro (ATS) y autoriza su realizacion, mediante un Permiso Especial de Trabajo (PES). |
| | Alto | ***Minimizarlo.*** Buscar alternativas que presenten menor riesgo. Demostrar como 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 area involucrada, aprueba el Analisis de Trabajo Seguro(ATS) y el Permiso de Trabajo(PT) presentados por el lider a cargo del trabajo. |
| | Medio | ***Aceptarlo.*** Aplicar los sistemas de control (minimizar, aislar, suministrar EPP, procedimientos, protocolos, lista de verificacion, usar EPP)<br><br>Requiere permiso de trabajo. | El lider del grupo de trabajo diligencia el Analisis de Trabajo Seguro (ATS) y el jefe de area 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 lider del trabajo debe verificar:<br><br>¿Qué puede salir mal y fallar?<br>¿Qué puede causar que algo salga mal?<br>¿Qué podemos hacer para evitar que algo salga mal o falle? |
| | Muy bajo | Vigilar posibles cambios | No afecta la secuencia de las actividades. |

Análisis técnico de mitigación de riesgo eléctrico

El tratamiento preventivo de la problemática del riesgo de origen eléctrico obliga a saber identificar y valorar las situaciones irregulares, antes de que suceda algún accidente.

Para el proyecto se han identificado los siguientes riesgos, para los cuales se sugieren sus respectivas medidas de protección.

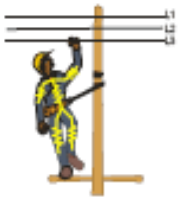
Arco Eléctrico:



Posibles Causas: Malos contactos, cortocircuitos, aperturas de interruptores con carga, apertura o cierre de seccionadores.

Medidas de protección: Utilizar materiales envolventes resistentes a los arcos, mantener una distancia de seguridad, usar gafas de protección contra rayos ultravioleta.

Contacto Directo



Posibles Causas: Negligencia de técnicos o impericia de no técnicos.

Medidas de Protección: 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.

Cortocircuito



Posibles Causas: Fallas de aislamiento, impericia de los técnicos, accidentes externos, vientos fuertes, humedades.

Medidas de Protección: Interruptores automáticos con dispositivos de disparo de máxima corriente o cortacircuitos fusibles.

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.

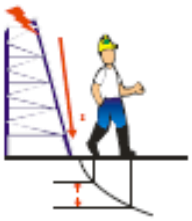
Tensión De Contacto



Posibles Causas: Rayos, fallas a tierra, fallas de aislamiento, violación de distancias de seguridad.

Medidas de Protección: Puestas a tierra de baja resistencia, restricción de accesos, alta resistividad del piso, equipotencializar.

Tensión De Paso



Posibles Causas: Rayos, fallas a tierra, fallas de aislamiento, violación de áreas restringidas.

Medidas De Protección: Puestas a tierra de baja resistencia, restricción de accesos, alta resistividad del piso, equipotencializar.

Análisis de Riesgo

De acuerdo con la matriz de riesgo evaluada (ver tablas iniciales) para los factores de riesgo potenciales dentro de la instalación del proyecto en estudio, a continuación, se valoran los probables dentro de la instalación:

Arco eléctrico

Para este factor de riesgo evaluado a partir de la matriz de riesgo analizada (Ver anexos), se determina que el nivel de riesgo es bajo, por tanto, de acuerdo con la tabla 9.4 del RETIE actualización 30 de agosto de 2013, las acciones a tomar son: Hacer control administrativo rutinario, seguir los procedimientos establecidos, y utilizar los EPP (Elementos de protección personal).

Contacto Directo

Para este factor de riesgo evaluado a partir de la matriz de riesgo analizada (Ver anexos), se determina que el nivel de riesgo es bajo, por tanto, de acuerdo con la tabla 9.4 del RETIE actualización 30 de agosto de 2013, las acciones a tomar son: Hacer control administrativo rutinario, seguir los procedimientos establecidos, y utilizar los EPP (Elementos de protección personal).

Cortocircuito

Para este factor de riesgo evaluado a partir de la matriz de riesgo analizada (Ver anexos), se determina que el nivel de riesgo es bajo, por tanto, de acuerdo a la tabla 9.4 del RETIE actualización 30 de agosto de 2013, las acciones a tomar son: Hacer control administrativo rutinario, seguir los procedimientos establecidos, y utilizar los EPP (Elementos de protección personal).

Comentarios

Como se puede observar en las matrices y factores de riesgo evaluados, no se tienen riesgos inminentes en la instalación en estudio, asimismo, estos factores no se han presentado en la empresa, sin embargo, se mantienen los protocoles de seguridad tanto para los montajes como para las acciones de mantenimiento en las instalaciones eléctricas.

## f. Análisis del nivel tensión requerido

El **Auditorio Fundación Gilberto Álzate Avendaño** cuenta con sistemas de fuerza que deben ser alimentados a 220V como son los iluminación de mecánica teatral, motores, aire acondicionado y salidas para algunos equipos de sonido, el resto del sistema se compone de salidas eléctricas normales, reguladas y de iluminación se alimentan a una tensión de 120V, por lo tanto, el nivel de tensión requerido para este proyecto es 220V/120V, no existen equipos dentro de la institución que se conecten a una tensión diferente a continuación presentamos un resumen de los equipos conectados dentro del proyecto.

| TABLERO | CONEXIÓN | TENSIÓN DE OPERACIÓN |
|---|---|---|
| TD-GN | Trifásica | 220V |
| TN-1 | Trifásica | 220V |
| TN-2 | Trifásica | 220V |
| TN-3 | Trifásica | 220V |
| TN-4 | Trifásica | 220V |
| TN-5 | Trifásica | 220V |
| TN-6 | Trifásica | 220V |
| TN-7 | Trifásica | 220V |
| TN-8 | Trifásica | 220V |
| TN-9 | Trifásica | 220V |
| TI-1 | Trifásica | 220V |
| TR-5 | Trifásica | 220V |

| EQUIPOS | CONEXIÓN | TENSIÓN DE OPERACIÓN |
|---|---|---|
| Tomacorrientes | Trifásica | 220V |
| Tomacorrientes | bifásica | 220V |
| Tomacorrientes | Monofásica | 120V |
| Iluminación mecanica teatral | bifásica | 220V |
| Iluminación | Monofásica | 220V |
| UPS | Trifásica | 220V |
| Salidas Aire acondicionado | bifásica | 220V |
| Motores mecanica teatral | Trifásica | 220V |

| Clasificación (Nivel)[1] | Nivel de tensión | Tensión nominal (V) | | Tensión máxima (% de la nominal) | Tensión mínima (% de la nominal) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Sistema trifásico de 3 o 4 conductores | Sistema monofásico de 2 o 3 conductores | | |
| Baja tensión (Nivel 1) | Hasta 1 000 V | - | 120 | | |
| | | 120/208 | - | | |
| | | - | 120/240 | | |
| | | 127/220 | - | | |
| | | 220 | - | | |
| | | 277/480 | - | | |
| | | 480 | - | | |

## g. Cálculo de campos electromagnéticos para asegurar que, en espacios destinados a actividades rutinarias de las personas, no se superen los límites de exposición definidos en la Tabla 14.1 Resol. 90708 RETIE.

El punto de conexión del **auditorio Fundación Gilberto Álzate Avendaño** es 13.2kV, según el artículo 14.1 del RETIE para este nivel de tensión no es necesario el cálculo de campos electromagnéticos, por lo tanto, No aplica para este tipo de proyecto.

## h. Cálculo de transformadores incluyendo los efectos de los armónicos y factor de potencia en la carga.

La actual estructura cuenta con un transformador ya instalado el cual está conectado directamente por el operador de red. Por lo tanto, se exime al actual diseño de este punto.

En la actualidad existe una creciente preocupación por la calidad del suministro de energía eléctrica debido a la proliferación y concentración de cargas electrónicas. Debido a la naturaleza no lineal de este tipo de cargas, la relación tensión corriente es no lineal generándose componentes sinusoidales de una onda periódica o cantidades que tiene una frecuencia múltiplo entero de la frecuencia fundamental de la señal de corriente o tensión.

Algunos efectos adversos de cargas no lineales concentradas en un sistema eléctrico son:

- Distorsión de voltaje.
- Corrientes excesivas por el conductor de neutro.

- Considerables niveles de tensión entre neutro y tierra.
- Sobrecalentamiento de los transformadores.
- Reducción en la capacidad de distribución.
- Bajo factor de potencia

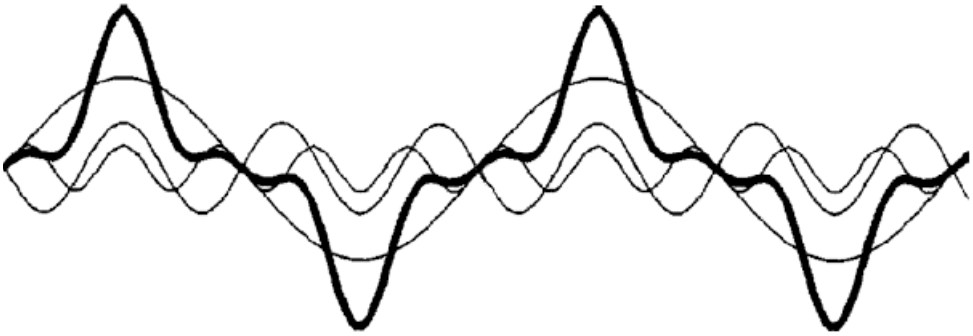


**Figura h1. Onda sinusoidal distorsionada por las componentes armónicas**

Comúnmente este tipo de cargas está presente a nivel industrial, comercial y residencial en dispositivos tales como: luminarias fluorescentes y fluorescentes compactas, variadores de velocidad, motores, electrodomésticos basados en electrónica de potencia, etc.

Por las razones expuestas, se hace necesario que a partir del diseño se estimen los impactos de las cargas no lineales sobre el sistema, más concretamente sobre el transformador, ya que este representa uno de los activos más importantes y de mayor costo en un sistema eléctrico.

**h.1 Selección de la potencia del transformador**

Las normas para transformadores cuando hablan de potencia nominal se refieren a una potencia que es el producto de la corriente por el voltaje en vacío. La potencia nominal es por lo tanto una "potencia aparente" que es la misma, ya sea que se considere el devanado primario o el devanado secundario. La razón de esta definición que es sólo convencional se debe al hecho de que se caracteriza a la máquina desde el punto de vista del dimensionamiento. Las prestaciones de una máquina eléctrica están limitadas por el calentamiento de sus componentes, las cuales están causadas por las pérdidas que tiene. En particular, en un transformador se tienen las pérdidas en el núcleo y las pérdidas en los devanados.

En general, todas las instalaciones, cada año, aumentan su producción y se amplían, ya sea por la construcción de nuevas áreas o por la utilización más racional de las existentes. Ya sea por una causa o por otra, la potencia eléctrica demandada suele crecer. Por ello es conveniente, para tomar en cuenta el crecimiento de la demanda de potencia, prever la posibilidad del incremento de potencia de las subestaciones a través del cambio de los transformadores por otros más potentes; o dimensionarlo manejando una holgura para crecimiento a futuro.

Es conveniente seleccionar la potencia de los transformadores teniendo en cuenta su capacidad de sobrecarga. El no prestar atención a la capacidad de sobrecarga del transformador, significa depender innecesariamente de la capacidad nominal. Esta capacidad de sobrecarga se determina en dependencia del gráfico de carga del transformador en cuestión.

**h.2 Selección del factor k del transformador**

Las cargas no lineales generan armónicos de corriente y tensión que son múltiplos enteros de una frecuencia fundamental a los que se les denomina harmónico u orden de armónico. Por ejemplo: 120Hz corresponden al segundo armónico que es proporcional en un factor de 2 a una frecuencia fundamental de 60Hz.

Los siguientes son algunos de los efectos que pueden tener las corrientes armónicas sobre un transformador de potencia.

- Aumento de la corriente nominal.
- Aumento de las perdidas por corrientes de EDDY.
- Envejecimiento prematuro del aislamiento de los devanados del transformador.
- Aumentos críticos de temperatura del transformador, acelerando la degradación de los materiales que lo componen. (papel, resina, aislamiento de los devanados, etc).

Con la finalidad de cuantificar los efectos de las corrientes armónicas, se han implementado las siguientes metodologías a nivel mundial:

1. Factor de Cresta.
2. Índices de distorsión Armónica Total-THD (Total Harmonic Distorsion).
3. Factor K (K- factor).

Las metodologías 1 y 2 solo toman en cuenta la magnitud de las corrientes armónicas más no su frecuencia, adicionalmente son aplicables solo a instalaciones existentes. Por tal razón estas dos metodologías no son las más apropiadas para especificar equipos en la etapa de diseño, y que por su naturaleza deban operar bajo condiciones de carga armónica.

Con la finalidad de diseñar y especificar mejores condiciones de operación para los transformadores, se implementará para este proyecto la metodología del factor k propuesta por la "Underwriters Laboratories" (UL) en la norma 1561, la cual define este factor k como "Una clasificación opcional aplicada a transformadores indicando su idoneidad para usarse con cargas no lineales". El factor k es igual a:

$$k\ factor = \sum_{h=1}^{\infty} (I_{EH})^2\ h^2$$

Esta metodología tiene en cuenta el efecto térmico que generan las corrientes armonías debido a las perdidas por corrientes de EDDY que dependen de un factor proporcional al cuadrado de la frecuencia y la corriente del armónico, lo cual tiene como efecto un aumento crítico de la temperatura que finalmente terminará afectando el aislamiento.

Para aplicar la metodología propuesta, se usará la clasificación de factores K para cada tipo de carga según la UL 1561 y se seguirán los siguientes pasos:

1. Una vez aplicados los factores de demanda a la instalación eléctrica, se identifica el tipo de carga y se clasifica según la tabla a continuación, asignándole el respectivo valor para el factor K.
2. Se calcula la corriente armónica equivalente para cada tipo de carga por medio de la expresión:

$$I_{EH} = \sqrt{\frac{1-k}{k-h^2}}$$

Dónde:

k: es el factor tomado la tabla, para cada tipo de carga.

h: Representa el orden del armónico.

| TIPO DE CARGA | FACTOR-K |
|---|---|
| Iluminación incandescente (sin atenuadores de estado sólido) | K-1 |
| Calefacción por resistencia eléctrica (sin controles de temperatura de estado sólido) | |
| Motores (sin controles de estado sólido) | |
| Transformadores de control / dispositivos de control electromagnéticos | |
| Motores-generadores (sin controles de estado sólido) | |
| Iluminación de descarga eléctrica | k-4 |
| UPS con entrada opcional de filtrado | |
| Equipos de calentamiento por inducción | |
| Soldadores | |
| PLCs y controles de estado sólido (que no sean unidades de velocidad variable) | |
| Equipos de telecomunicaciones | k-13 |
| UPS sin filtrado de entrada | |
| Tomas en las áreas de cuidados generales de salud, instalaciones y salones escolares (colegios) | |
| Circuitos alimentadores de inspección o pruebas de equipos en una cadena de montaje o producción | |

| | |
|---|---|
| Servidores | k-20 |
| Variadores de velocidad-unidades de estado solido | |
| Tomas en áreas de cuidados críticos y en salas de operación / recuperación de hospitales | |
| Tomas en laboratorios industriales, médicos y educativos. | k-30 |
| Tomas en oficinas comerciales y pequeños servidores | |
| Otras cargas identificadas como generadoras de gran cantidad de armónicos (especialmente de altos ordenes de armonios) | k-40 |

**Tabla h1. Factores k para tipos de carga, según la clasificación de la UL1561**

Para efectuar una suma ponderada y hallar un equivalente del impacto de todas las cargas no lineales conectadas al sistema, de modo tal que solo un armónico represente el efecto térmico que tendrían todas las cargas combinadas, se asume un valor de 7 para h. Este valor de h permite que la expresión usada en el paso 2 tenga una tendencia lineal, permitiendo efectuar directamente una suma ponderada.

1. Calcular la suma ponderada de las corrientes.
2. Se divide el resultado obtenido el paso 3, con respecto a la capacidad nominal del transformador especificado para la instalación. Esto es la corriente armónica equivalente total. IEH.
3. Usando el resultado anterior y aplicando la siguiente expresión encontramos el factor k equivalente.

$$k - Factor = \sum_{h=1}^{\infty} (I_{EH})^2 \, h^2$$

Una vez obtenido el factor K equivalente, se aproxima este valor a un factor K comercial, en base al cual se especifica el trasformador.

# i. Cálculo del sistema de puesta a tierra.

El proyecto **Fundación Gilberto Álzate Avendaño,** cuenta con sistema de puesta a tierra y equipotencialización ya existente, se hará una medida y se presentará un informe en el cual se garantice que la medida de resistencia de puesta a tierra este por debajo de los 10 ohm, por lo tanto, se exime el diseño de este punto.

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

La función de un cable de potencia es conducir la energía eléctrica de la forma más eficiente posible desde la fuente hasta el punto de utilización. Sin embargo, debido a su resistencia eléctrica, el cable disipa, en forma de calor (perdida por efecto Joule), una parte de la energía transportada, haciendo que ocurra una caída de tensión en el tramo, de modo que una eficiencia del 100% no es obtenida en este proceso. La forma más adecuada de disminuir las pérdidas por efecto Joule en los alambres y cables seria aumentando la sección nominal de los conductores eléctricos.

Sin embargo, como esto significa aumentar el costo inicial del cable, sus accesorios, líneas eléctricas y mano de obra de instalación, se tiende a anular la economía conseguida por el avance de la eficiencia en la distribución, donde es necesario encontrar entonces un compromiso entre estas dos variables (reducción de las pérdidas y caída de tensión por aumento del costo inicial de la instalación).

### 1. Cálculo técnico de los conductores

La selección del calibre de conductor eléctrico debe cumplir simultáneamente y sin excepción con cinco (5) condiciones técnicas a saber:

Ampacidad, Corriente de Sobrecarga, Caída de tensión, Corrección por Temperatura y Agrupamiento y Capacidad de Corto Circuito.

**a) AMPACIDAD:** La Ampacidad, se define como la corriente en Amperios, que un conductor puede transportar de manera continua bajo condiciones de uso, características ambientales y de operación, sin exceder su temperatura nominal. Se conoce también como Capacidad Portadora de Corriente del Conductor.

La capacidad de corriente de los conductores mediante la siguiente fórmula general.

$$I = \sqrt{\frac{TC - (TA + \Delta TD)}{RCC(1 + YC)RCA}} \qquad (1)$$

Dónde:

TC = Temperatura del conductor en °C

TA = Temperatura ambiente en °C

ΔTD = Aumento de temperatura por pérdidas del dieléctrico

RCC = Resistencia de corriente continua del conductor a la temperatura TC

YC = Resistencia de corriente alterna del conductor resultante de los efectos de piel y proximidad.

RCA = Resistencia térmica efectiva entre el conductor y el aire que le rodea.

**Nota.** Procedimiento detallado véase el documento Standard Power Cable Ampacity Tables, IEEE std 835-1994.

El tipo de conductor a utilizar será del tipo 750V PE HF FR LS CT de cobre a 80°C.

Los valores de capacidad de corriente de los conductores son tomados como referencia de la Tabla 310-16 de la Norma ICONTEC NTC 2050, con temperatura nominal del conductor a 60°C si la corriente nominal del circuito es inferior a 100 A o 75°C si esta es superior.

Las condiciones nominales del cálculo corresponden a: Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2000V nominales y 75°C. No más de 3 conductores portadores de corriente en un ducto y temperatura ambiente de 23°C (**Ciudad Bogotá, Cundinamarca**).

**b) CORRIENTE DE SOBRECARGA**: La norma técnica colombiana NTC 2050, sección 210-22 literal c establece que la capacidad de corriente de los circuitos ramales no debe ser menor a la carga continua más el 125% de la carga continua. Para el caso de oficinas, la iluminación, motores de condensadores y salidas de tomacorrientes en zonas de atención al cliente se consideran cargas continuas, de esta manera, la capacidad de corriente de los circuitos ramales y alimentadores se dimensionará al 125% de la corriente nominal registrada en el cuadro de cargas.

**c) CAÍDA DE TENSIÓN (PORCENTAJE DE REGULACIÓN)**: La circulación de corriente a través de los cables, ocasiona una pérdida de potencia y una diferencia entre las tensiones en el origen del alimentador y en el extremo o ubicación del equipo, a esta diferencia se le conoce como Caída de Tensión, y se establece una relación porcentual de las tensiones que se denomina Porcentaje de Regulación.

Para un sistema monofásico y trifásico, se considera el cálculo de la regulación como sigue:

$$\%\Delta V_{1\emptyset} = \frac{2 * Z * In * L * 100}{V * 1000} \quad (1)$$

$$\%\Delta V_{3\emptyset} = \frac{\sqrt{3} * Z * In * L * 100}{V * 1000} \quad (2)$$

Donde,

%ΔV: Es el valor en porcentaje de la caída de tensión desde la fuente a una carga a una longitud L

Z: Impedancia del conductor. Se toma de referencia los valores consignados en la tabla 9 del NEC (National Electric Code) [Ω*km]

L: Es la longitud del conductor hasta la carga más lejana del circuito ramal [m]

V: Es el voltaje entre conductores activos del circuito ramal [V]

De acuerdo con el NEC (National Electric Code) se puede obtener una eficiencia razonable si la caída de tensión de un alimentador o un circuito ramal se limita a no más del 3%. Se establece una restricción del porcentaje máximo de regulación en circuitos ramales del 3% dando una caída de tensión máxima desde el alimentador hasta el circuito ramal, del 5%.

| Calibre AWG o kcmil | Material del ducto | Reactancia (Xl) para conductres de Al o Cu | Resistencia c.a. para conductores de cobre | Resistencia c.a. para conductores de aluminio | Z Efectiva con FP 0,85 | | Z Efectiva con FP 0,9 | | Z Efectiva con FP 1,0 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Conductores de cobre Z | Conductores de aluminio Z | Conductores de cobre Z | Conductores de aluminio Z | Conductores de cobre Z | Conductores de aluminio Z |
| 14 | PVC | 0,1903 | 10,1706 | - | 8,75 | - | 9,24 | - | 10,2 | - |
| | Alum | 0,1903 | 10,1706 | - | 8,75 | - | 9,24 | - | 10,2 | - |
| | Acero | 0,2395 | 10,1706 | - | 8,75 | - | 9,26 | - | 10,2 | - |
| 12 | PVC | 0,1772 | 6,5617 | 10,4987 | 5,67 | 9,02 | 5,98 | 9,53 | 6,56 | 10,5 |
| | Alum | 0,1772 | 6,5617 | 10,4987 | 5,67 | 9,02 | 5,98 | 9,53 | 6,56 | 10,5 |
| | Acero | 0,2231 | 6,5617 | 10,4987 | 5,69 | 9,04 | 6,00 | 9,55 | 6,56 | 10,5 |
| 10 | PVC | 0,1640 | 3,9370 | 6,5617 | 3,43 | 5,66 | 3,61 | 5,98 | 3,94 | 6,56 |
| | Alum | 0,1640 | 3,9370 | 6,5617 | 3,43 | 5,66 | 3,61 | 5,98 | 3,94 | 6,56 |
| | Acero | 0,2067 | 3,9370 | 6,5617 | 3,46 | 5,69 | 3,63 | 6,00 | 3,94 | 6,56 |
| 8 | PVC | 0,1706 | 2,5591 | 4,2651 | 2,27 | 3,72 | 2,38 | 3,91 | 2,56 | 4,27 |
| | Alum | 0,1706 | 2,5591 | 4,2651 | 2,27 | 3,72 | 2,38 | 3,91 | 2,56 | 4,27 |
| | Acero | 0,2133 | 2,5591 | 4,2651 | 2,29 | 3,74 | 2,40 | 3,93 | 2,56 | 4,27 |
| 6 | PVC | 0,1673 | 1,6076 | 2,6575 | 1,45 | 2,35 | 1,52 | 2,46 | 1,61 | 2,66 |
| | Alum | 0,1673 | 1,6076 | 2,6575 | 1,45 | 2,35 | 1,52 | 2,46 | 1,61 | 2,66 |
| | Acero | 0,2100 | 1,6076 | 2,6575 | 1,48 | 2,37 | 1,54 | 2,48 | 1,61 | 2,66 |
| 4 | PVC | 0,1575 | 1,0171 | 1,6732 | 0,947 | 1,51 | 0,984 | 1,57 | 1,02 | 1,67 |
| | Alum | 0,1575 | 1,0171 | 1,6732 | 0,947 | 1,51 | 0,984 | 1,57 | 1,02 | 1,67 |
| | Acero | 0,1969 | 1,0171 | 1,6732 | 0,968 | 1,53 | 1,00 | 1,59 | 1,02 | 1,67 |
| 2 | PVC | 0,1476 | 0,6234 | 1,0499 | 0,608 | 0,970 | 0,625 | 1,01 | 0,62 | 1,05 |
| | Alum | 0,1476 | 0,6562 | 1,0499 | 0,636 | 0,970 | 0,655 | 1,01 | 0,66 | 1,05 |
| | Acero | 0,1870 | 0,6562 | 1,0499 | 0,656 | 0,991 | 0,672 | 1,03 | 0,66 | 1,05 |
| 1 | PVC | 0,1509 | 0,5052 | 0,8202 | 0,509 | 0,777 | 0,521 | 0,804 | 0,505 | 0,820 |
| | Alum | 0,1509 | 0,5249 | 0,8530 | 0,526 | 0,805 | 0,538 | 0,834 | 0,525 | 0,853 |
| | Acero | 0,1870 | 0,5085 | 0,8202 | 0,531 | 0,796 | 0,539 | 0,820 | 0,509 | 0,820 |
| 1/0 | PVC | 0,1444 | 0,3937 | 0,6562 | 0,411 | 0,634 | 0,417 | 0,653 | 0,394 | 0,656 |
| | Alum | 0,1444 | 0,4265 | 0,6890 | 0,439 | 0,662 | 0,447 | 0,683 | 0,427 | 0,689 |
| | Acero | 0,1804 | 0,3987 | 0,6562 | 0,430 | 0,653 | 0,433 | 0,669 | 0,394 | 0,656 |
| 2/0 | PVC | 0,1411 | 0,3281 | 0,5249 | 0,353 | 0,521 | 0,357 | 0,534 | 0,328 | 0,525 |
| | Alum | 0,1411 | 0,3281 | 0,5249 | 0,353 | 0,521 | 0,357 | 0,534 | 0,328 | 0,525 |
| | Acero | 0,1772 | 0,3281 | 0,5249 | 0,372 | 0,540 | 0,373 | 0,550 | 0,328 | 0,525 |
| 3/0 | PVC | 0,1378 | 0,2526 | 0,4265 | 0,287 | 0,435 | 0,287 | 0,444 | 0,253 | 0,427 |
| | Alum | 0,1378 | 0,2690 | 0,4265 | 0,301 | 0,435 | 0,302 | 0,444 | 0,269 | 0,427 |
| | Acero | 0,1706 | 0,2270 | 0,4265 | 0,283 | 0,452 | 0,279 | 0,458 | 0,227 | 0,427 |
| 4/0 | PVC | 0,1345 | 0,2034 | 0,3281 | 0,244 | 0,350 | 0,242 | 0,354 | 0,203 | 0,328 |
| | Alum | 0,1345 | 0,2198 | 0,3609 | 0,258 | 0,378 | 0,256 | 0,383 | 0,220 | 0,361 |
| | Acero | 0,1673 | 0,2067 | 0,3281 | 0,264 | 0,367 | 0,259 | 0,368 | 0,207 | 0,328 |
| 250 | PVC | 0,1345 | 0,1706 | 0,2789 | 0,216 | 0,308 | 0,212 | 0,310 | 0,171 | 0,279 |
| | Alum | 0,1345 | 0,1870 | 0,2953 | 0,230 | 0,322 | 0,227 | 0,324 | 0,187 | 0,295 |
| | Acero | 0,1706 | 0,1772 | 0,2822 | 0,240 | 0,330 | 0,234 | 0,328 | 0,177 | 0,282 |
| 300 | PVC | 0,1345 | 0,1444 | 0,2329 | 0,194 | 0,269 | 0,189 | 0,268 | 0,144 | 0,233 |
| | Alum | 0,1345 | 0,1608 | 0,2493 | 0,208 | 0,283 | 0,203 | 0,283 | 0,161 | 0,249 |
| | Acero | 0,1673 | 0,1476 | 0,2362 | 0,214 | 0,289 | 0,206 | 0,286 | 0,148 | 0,236 |
| 350 | PVC | 0,1312 | 0,1247 | 0,2001 | 0,175 | 0,239 | 0,169 | 0,237 | 0,125 | 0,200 |
| | Alum | 0,1312 | 0,1411 | 0,2165 | 0,189 | 0,253 | 0,184 | 0,252 | 0,141 | 0,217 |
| | Acero | 0,1640 | 0,1280 | 0,2067 | 0,195 | 0,262 | 0,187 | 0,258 | 0,128 | 0,207 |
| 400 | PVC | 0,1312 | 0,1083 | 0,1772 | 0,161 | 0,220 | 0,155 | 0,217 | 0,108 | 0,177 |
| | Alum | 0,1312 | 0,1247 | 0,1936 | 0,175 | 0,234 | 0,169 | 0,231 | 0,125 | 0,194 |
| | Acero | 0,1608 | 0,1148 | 0,1804 | 0,182 | 0,238 | 0,173 | 0,232 | 0,115 | 0,180 |
| 500 | PVC | 0,1280 | 0,0886 | 0,1411 | 0,143 | 0,187 | 0,135 | 0,183 | 0,089 | 0,141 |
| | Alum | 0,1280 | 0,1050 | 0,1575 | 0,157 | 0,201 | 0,150 | 0,198 | 0,105 | 0,157 |
| | Acero | 0,1575 | 0,0951 | 0,1476 | 0,164 | 0,208 | 0,154 | 0,202 | 0,095 | 0,148 |
| 600 | PVC | 0,1280 | 0,0755 | 0,1181 | 0,132 | 0,168 | 0,124 | 0,162 | 0,075 | 0,118 |
| | Alum | 0,1280 | 0,0919 | 0,1345 | 0,145 | 0,182 | 0,138 | 0,177 | 0,092 | 0,135 |
| | Acero | 0,1575 | 0,0820 | 0,1247 | 0,153 | 0,189 | 0,142 | 0,181 | 0,082 | 0,125 |
| 750 | PVC | 0,1247 | 0,0623 | 0,0951 | 0,119 | 0,147 | 0,110 | 0,140 | 0,062 | 0,095 |
| | Alum | 0,1247 | 0,0787 | 0,1115 | 0,133 | 0,160 | 0,125 | 0,155 | 0,079 | 0,112 |
| | Acero | 0,1575 | 0,0689 | 0,1017 | 0,142 | 0,169 | 0,131 | 0,160 | 0,069 | 0,102 |
| 1000 | PVC | 0,1214 | 0,0492 | 0,0755 | 0,106 | 0,128 | 0,097 | 0,121 | 0,049 | 0,075 |
| | Alum | 0,1214 | 0,0623 | 0,0886 | 0,117 | 0,139 | 0,109 | 0,133 | 0,062 | 0,089 |
| | Acero | 0,15092 | 0,0591 | 0,0820 | 0,130 | 0,149 | 0,119 | 0,140 | 0,059 | 0,082 |

**Tabla j1. Valores de Impedancia en conductores de aluminio y cobre. Tomada del capítulo 9 del**

**NEC (National Electric Code).**

Para los conductores de circuitos ramales y alimentadores a tableros se empleó como material el cobre y para el alimentador principal se hará un análisis para determinar el material más apropiado para el proyecto entre el cobre y el aluminio.

**d) FACTORES DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA Y AGRUPAMIENTO**: Para el funcionamiento del sistema eléctrico en la ciudad de SANTA MARTA - MAGDALENA, se considera una temperatura promedio de 32°C, acorde a los datos estadísticos del IDEAM.

La temperatura ambiente es un factor que incide en la capacidad de corriente de los conductores, en consecuencia, los fabricantes han proporcionado los factores de corrección por temperatura para ciertos rangos de temperatura ambiente. La información proporcionada por los fabricantes se ha estandarizado en las normas internacionales y se ha condensado en la siguiente tabla:

| Temperatura ambiente °C | Temperatura máxima de operación del conductor | | |
|---|---|---|---|
| | 60°C | 75°C | 90°C |
| 30 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 31-35 | 0,91 | 0,94 | 0,96 |
| 36-40 | 0,82 | 0,88 | 0,91 |
| 41-45 | 0,71 | 0,82 | 0,87 |
| 46-50 | 0,58 | 0,75 | 0,82 |
| 51-55 | 0,41 | 0,67 | 0,76 |

Los circuitos ramales son conducidos hasta las respectivas salidas eléctricas por medio de bandejas portacables y finalmente por tuberías hasta la salida final. Las tuberías que alimentan las cargas alojan entre 1 y 3 conductores portadores de corriente, que bajo estas condiciones no se aplica ningún factor de ajuste conservando la capacidad nominal de corriente.

Para los casos donde se prevean más de 3 conductores portadores de corriente se debe aplicar un factor de ajuste en función del número de conductores activos dentro de la canalización. Dichos factores se relacionan en la siguiente tabla tomada de la sección 310-15 de la NTC 2050 literal 8:

| Número de conductores portadores de corriente | Porcentaje del valor de las Tablas, ajustado para la temperatura ambiente si fuera necesario |
|---|---|
| De 4 a 6 | 80 |
| De 7 a 9 | 70 |
| De 10 a 20 | 50 |
| De 21 a 30 | 45 |
| De 31 a 40 | 40 |
| 41 y más | 35 |

**Tabla j2. Factores de ajuste para ductos con varios conductores portadores de corriente.**

**e) CAPACIDAD DE CORTOCIRCUITO**: Una vez determinado el tamaño del conductor por los criterios de capacidad de corriente y de regulación de tensión, es necesario verificar dicho tamaño

o designación con base en las condiciones de cortocircuito del sistema (magnitud y tiempo). Existen normas como las ICEA que definen como calcular esta capacidad de corriente para los diferentes aislamientos utilizados en los aislamientos de los cables. El siguiente es un cálculo más simplificado, donde se determina el área del conductor requerida para soportar las condiciones de corto circuito:

$$I = A * K * \sqrt{\frac{\log\left(\frac{T_2 + \lambda}{T_1 + \lambda}\right)}{t}} \qquad (3)$$

Dónde:

$\boldsymbol{A}$ = Área del conductor en $mm^2$

$\boldsymbol{I}$ = Corriente de cortocircuito (A).

$\boldsymbol{t}$ = Duración del corto circuito, en segundos.

$\boldsymbol{T_1}$= Máxima temperatura de operación, THW: 75°C.

$\boldsymbol{T_2}$ = Máxima temperatura permisible de cortocircuito.

λ = 234 para cobre y 228 para aluminio.

$\boldsymbol{K}$ = 341 para cobre y 224 para aluminio.

*Para cables PE o PVC (aplica también el sintox) **Cobre o Aluminio**:

$\boldsymbol{T_2}$=150°C

$\boldsymbol{T_1}$=75°C

*Para cables XLPE **Cobre o Aluminio**:

$\boldsymbol{T_2}$=250°C

$\boldsymbol{T_1}$= 90°C ó 105°C

Se consideran tiempos de despeje de falla de 50 ms para el tablero principal con la protección totalizadora de la instalación, de 30 ms para tableros secundarios de fabricación especial con protección de más de 100 A y finalmente para tableros de distribución secundarios con protección totalizadora menor a 100 A se utiliza un tiempo de despeje de falla de 20 ms. Las corrientes de cortocircuito serán las calculadas en el apartado C. Análisis de corrientes de cortocircuito y falla a tierra.

**Grupos alimentadores**

Teniendo presentes todos los criterios anteriores, se consolida la siguiente tabla con el conductor seleccionado según cada criterio, para luego seleccionar el conductor que cumpla simultáneamente todos los requisitos.

| Criterio / Alimentador | Ampacidad | Sobrecarga | Regulación | Agrupamiento | Cortocircuito | Conductor Técnico |
|---|---|---|---|---|---|---|
| TD-GN | 6x4/0 AWG | 9x4/0 AWG | 9x4/0 AWG | 9x4/0 AWG | 2/0 AWG | 9x4/0 AWG |
| TN-1 | 3x6 AWG | 3x6 AWG | 3x4 AWG | 3x4 AWG | 8 AWG | 3x4 AWG |
| TN-2 | 3x10 AWG | 3x10 AWG | 3x8 AWG | 3x8 AWG | 8 AWG | 3x8 AWG |
| TN-3 | 3x8 AWG | 3x8 AWG | 3x6 AWG | 3x6 AWG | 8 AWG | 3x6 AWG |
| TN-4 | 6x2/0 AWG | 6x2/0 AWG | 6x4/0 AWG | 6x4/0 AWG | 4 AWG | 6x4/0 AWG |
| TN-5 | 3x1/0 AWG | 3x2 AWG | 3x1/0 AWG | 3x1/0 AWG | 6 AWG | 3x1/0 AWG |
| TN-6 | 3x8 AWG | 3x8 AWG | 3x6 AWG | 3x6 AWG | 10 AWG | 3x6 AWG |
| TN-7 | 3x6 AWG | 3x6 AWG | 3x4 AWG | 3x4 AWG | 8 AWG | 3x4 AWG |
| TN-8 | 3x2 AWG | 3x2 AWG | 3x1/0 AWG | 3x1/0 AWG | 8 AWG | 3x1/0 AWG |
| TN-9 | 3x4 AWG | 3x4 AWG | 3x2 AWG | 3x2 AWG | 8 AWG | 3x2 AWG |
| TI-1 | 3x10 AWG | 3x10 AWG | 3x8 AWG | 3x8 AWG | 10 AWG | 3x8 AWG |
| TR-5 | 3x6 AWG | 3x6 AWG | 3x4 AWG | 3x4 AWG | 10 AWG | 3x4 AWG |

## 2. Selección económica

Debido a que la energía que se disipa en forma de calor en el conductor tiene un costo que de igual forma debe ser pagado, es necesario considerar los costos operativos de los alimentadores durante la vida útil del proyecto, para seleccionar de la manera óptima posible y no incurrir en gastos innecesarios.

La metodología para determinar el conductor económico se basa en la norma IEC 60287-3-2. Dicha metodología considera en como aspectos primordiales de referencia los siguientes:

- Expresar en valor presente tanto costos de instalación como costos de pérdidas.
- No se considerará la inflación, puesto que afecta por igual a los costos de energía como los costos del dinero.
- El enfoque para el cálculo de sección económica consiste en calcular el área de sección transversal óptima para la carga y elegir la sección nominal del conductor más próxima.

La sección económica puede ser determinada mediante la expresión (1) que utiliza los parámetros calculados por las expresiones (2) a (5):

$$S_{ec} = 1000 * \left[\frac{I_{Max}^2 * F * \rho_{20} * B * [1 + \alpha_{20} * (\theta_m - 20)]}{A}\right]^{0.5} \quad (1)$$

$$F = N_P \cdot N_C \cdot (T \cdot P + D) \cdot \frac{Q}{(1 + i/100)} \quad (2)$$

$$B = (1 + y_P + y_S) \cdot (1 + \lambda_1 + \lambda_2) \quad (3)$$

$$Q = \sum_{n=1}^{N} (r^{n-1}) = \frac{1 - r^N}{1 - r} \quad (4)$$

$$r = \frac{(1 + a/100)^2 \cdot (1 + b/100)}{(1 + i/100)} \quad (5)$$

Donde,

$\boldsymbol{S_{ec}}$: Sección económica del conductor [$mm^2$]
$\boldsymbol{I_{max}}$: Corriente del proyecto máxima prevista para el circuito en el primer año [A]
$\boldsymbol{F}$: Cantidad auxiliar
$\boldsymbol{\rho_{20}}$: Resistividad eléctrica del material conductor a 20°C [Ωm]
$\boldsymbol{B}$: Cantidad auxiliar
$\boldsymbol{\alpha_{20}}$: Coeficiente de temperatura para la resistencia del conductor a 20°C[$K^{-1}$]
$\boldsymbol{\theta_m}$: Temperatura promedio de operación del conductor[°C]
$\boldsymbol{A}$: Componente variable del costo por unidad de longitud conforme a la sección del conductor [$ /m. $mm^2$]
$\boldsymbol{N_P}$: Número de conductores de fase por circuito
$\boldsymbol{N_C}$: Número de circuitos que llevan el mismo tipo y valor de carga
$\boldsymbol{T}$: Tiempo de operación con pérdida por calentamientomáxima [h/año]
$\boldsymbol{P}$: Costo de un Watt − hora en el nivel de la tensión pertinente [$/W. h]
$\boldsymbol{D}$: Variación anual de la demanda [$/W. año]
$\boldsymbol{Q}$: Cantidad auxiliar
$\boldsymbol{i}$: Tasa de capitalización para el cálculo del valor presente [%]
$\boldsymbol{y_P}$: Factor de proximidad, conforme IEC 60287 − 1 − 1
$\boldsymbol{y_S}$: Factor debido al efecto pelicular, conforme IEC 60287 − 1 − 1
$\boldsymbol{\lambda_1}$: Factor de pérdida de la cobertura, conforme IEC 60287 − 1 − 1
$\boldsymbol{\lambda_2}$: Factor de pérdida del armazón, conforme IEC 60287 − 1 − 1
$\boldsymbol{r}$: Cantidad auxiliar
$\boldsymbol{N}$: Periodo cubierto por el cálculo financiero, también referido
$\boldsymbol{a}$: Aumento anual de la carga ($I_{max}$)[%]
$\boldsymbol{b}$: Aumento aual costo de energía, sin incluir los efectos de la inflación [%]

**CANTIDAD AUXILIAR r.**

Para el factor establecido por la ecuación (5) se utilizan los siguientes parámetros que corresponden a variables financieras típicas:

a = 1% (Aumento anual de carga)

b = 3% (Aumento anual del costo de energía)

i = 6% (Tasa de capitalización)

Al aplicar la ecuación (5) se tiene r=0.991.

**CANTIDAD AUXILIAR Q.**

De acuerdo a la ecuación (4) y considerando un periodo de vida útil de 20 años y el parámetro r obtenido en el numeral anterior, se tiene Q=18.418.

**CANTIDAD AUXILIAR B.**

De acuerdo a la ecuación (3) y considerando conductor de baja tensión, se desprecian los factores de efecto de proximidad y pelicular, así como también las pérdidas por cobertura y armazón, dando como resultado un factor B=1.0.

**CANTIDAD AUXILIAR F.**

De acuerdo con el alimentador en análisis, se tiene:

Np = 3 (Número de conductores de fase por circuito)
Nc = 1 (Número de circuitos que llevan el mismo tipo y valor de carga)
T = 4000 h/año (Tiempo de operación con pérdida Joule Máxima)
P = 400 $/kWh = 0.4 $/Wh (Costo de 1 Watt/hora en el nivel de tensión pertinente)
D = 0 (Variación anual de la demanda.

Aplicándose la ecuación (5) se tiene F=83.402

Finalmente, para la sección económica utilizando la ecuación (4) se emplean los siguientes parámetros:

A = 1221.95 $/m*mm² (Componente variable del costo por unidad de longitud conforme a la sección del conductor)

F=83.4

De acuerdo con IEC 60287-3-2:

$\rho_{20}$ =18.35x10-$^{9}$ Ω/m (Resistividad eléctrica del cobre a 20°C)

$\alpha_{20}$ = 0.0068 K$^{-1}$ (Coeficiente de temperatura para la resistencia del cobre a 20°C)

De acuerdo con el numeral 3.3, B=1.0

De acuerdo con la selección técnica y la temperatura ambiente se tiene:

θ = 60°C o 75°C según corriente de diseño (temperatura máxima nominal del conductor para el cable seleccionado)

$\theta_a$ = 32°C (Temperatura ambiente promedio)

Se tiene entonces que:

$$\theta_m = \frac{\theta - \theta_a}{3} + \theta_a \qquad (9)$$

La sección económica obtenida empleando la ecuación (4) da como resultado un valor que no corresponde a una sección nominal de conductor, se selecciona entonces los valores nominales por encima y por debajo del valor calculado.

**1. Aspecto económico**

Para escoger la sección económica entre los dos conductores nominales, deben ser utilizadas las ecuaciones (7) y (8).

$$COSTO\ TOTAL = CT = CI + CJ \qquad (7)$$

$$CT = CI + I_{max}^2 * R * l * F \qquad (8)$$

Donde,

CI: Es el costo inicial para una longitud de cable instalado ($)
CJ: Es el costo operativo en valor presente de las pérdidas por calentamiento durante la vida considerada ($)

$$R(S) = \frac{\rho_{20} * B[1 + \alpha_{20} * (\theta_m - 20)]}{S} * 10^6 \qquad (9)$$

El menor de los dos precios será el correspondiente al conductor económico.

Para evaluar la favorabilidad de escoger el conductor económico, se debe evaluar el tiempo para el cual se ha recuperado la inversión inicial, ya que el tiempo de vida útil de los conductores es limitado. El retorno de inversión está dado por la diferencia entre costos iniciales para ambos criterios dividido entre la diferencia entre los costos operativos por años, según la siguiente ecuación:

$$Retorno = \frac{CI_{eco} - CI_{tec}}{CJ_{tec} - CJ_{eco}}$$

## 2. Resultados

La selección económica es ventajosa aplicarla para conductores de sección transversal mayores o iguales a 25mm² (A partir de conductor No 2 AWG obtenidos por el dimensionamiento técnico) o para circuitos que funcionan muchas horas por año sin que la corriente presente variaciones significativas. También es ventajosa la selección económica mientras la corriente del alimentador sea menor a 500A, ya que el cálculo económico para corrientes superiores daría como resultado secciones exageradas, que no son comerciales o se hacen a pedido, cuya manipulación es muy compleja y se hacen inviables frente a otras alternativas como los sistemas de electrobarras.

Siendo consecuente con los criterios expuestos, se presenta la siguiente tabla comparativa para conductores dimensionados mediante los criterios técnico y económico, y el periodo de retorno para cada conjunto alimentador.

| TABLA RESUMEN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Alimentador** | **Criterio** | **Sección Nominal (mm²)** | **Costo Inicial ($)** | **Costo Operativo ($) en 20 años** | **Costo Total ($) en 20 años** | **Retorno (Años)** |
| **TD-GN** | Económico | 633,38 | $ 29.485.741 | $ 26.357.056 | $ 55.842.797 | 1 |
| | Técnico | 107,21 x 3 | $ 14.390.160 | $ 467.140.152 | $ 481.530.312 | |

**Tabla j3**. Comparativo entre selección técnica y económica de los conductores.

Para los datos consignados en la tabla, se tienen el alimentador con un periodo de retorno muy bajo, lo que los hace convenientes para implementar el conductor económico. Se acepta un periodo de retorno máximo de la mitad de la vida útil del conductor para considerar viable la inversión, sin embargo, la decisión será a juicio del propietario del proyecto. Para los casos donde el periodo de retorno no dio ningún valor, significa que el dimensionamiento técnico del conductor es igual o superior a la sección económica, y dado que la sección del conductor no debe ser inferior a lo que se especifique por los criterios técnicos, no hay punto de comparación posible.

La decisión de optar por el conductor económico será a juicio del propietario del proyecto o de quien haga la inversión, ya que existen otras consideraciones que pueden descartar el uso de sección económica. Ejemplo de ello son las dimensiones de conductores con secciones muy grandes, pues se hacen incompatibles con las dimensiones de los accesorios de la infraestructura y equipos a conectar. Sumado a esto, comercialmente los conductores de calibres superiores a 4/0 AWG se hacen bajo pedido especial, en cantidades mínimas de 500 o 1000 metros y los tiempos de entrega de los proveedores son más prolongados. En general el cálculo presentado se realizó para los alimentadores de tableros principales del proyecto, siendo la opción técnica la más favorable para el proyecto teniendo en cuenta disponibilidad según fabricantes y a que su costo inicial se ajusta al presupuesto del proyecto.

# k. Verificación 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, IEEEE 242, capitulo 9 o equivalente.

Debido a que todo circuito ramal está provisto de una protección contra sobrecorriente, se debe dimensionar el conductor de tal manera que, ante una condición por encima de las condiciones normales de operación del conductor, la protección actúe despejando la falla.

El objetivo de esta memoria es dimensionar los conductores teniendo en cuenta las características de operación de las protecciones según la curva de operación tiempo Vs Corriente. Se tomará como referencia la metodología de cálculo de corrientes de cortocircuito y protección de los conductores descrita en la norma IEC 60909 y IEEE Std 242 capítulo 9, según requisito del artículo 10.1 literal k del RETIE.

**Cálculo técnico de conductores**

En la memoria de cálculo económico de los conductores, del apartado anterior se dedicó un capítulo al cálculo técnico según los criterios de Ampacidad, sobrecarga, caída de tensión, corrección por temperatura y agrupamiento y capacidad de cortocircuito. Los resultados de estos criterios son consignados en la Tabla. Se incluye una columna adicional con la protección contra sobrecorriente seleccionada para posteriormente verificar la correcta selección del conductor de acuerdo con la protección.

El tipo de conductor empleado será del tipo PE-HF-FR-LS-CT además de ser del tipo cableado.

| **Criterio** / **Alimentador** | Ampacidad | Sobrecarga | Regulación | Agrupamiento | Cortocircuito | Conductor Técnico |
|---|---|---|---|---|---|---|
| TD-GN | 6x4/0 AWG | 6x4/0 AWG | 9x4/0 AWG | 9x4/0 AWG | 2/0 AWG | 9x4/0 AWG |
| TN-1 | 3x6 AWG | 3x6 AWG | 3x4 AWG | 3x4 AWG | 8 AWG | 3x4 AWG |
| TN-2 | 3x10 AWG | 3x10 AWG | 3x8 AWG | 3x8 AWG | 8 AWG | 3x8 AWG |
| TN-3 | 3x8 AWG | 3x8 AWG | 3x6 AWG | 3x6 AWG | 8 AWG | 3x6 AWG |
| TN-4 | 6x2/0 AWG | 6x2/0 AWG | 6x4/0 AWG | 6x4/0 AWG | 4 AWG | 6x4/0 AWG |
| TN-5 | 3x1/0 AWG | 3x2 AWG | 3x1/0 AWG | 3x1/0 AWG | 6 AWG | 3x1/0 AWG |
| TN-6 | 3x8 AWG | 3x8 AWG | 3x6 AWG | 3x6 AWG | 10 AWG | 3x6 AWG |
| TN-7 | 3x6 AWG | 3x6 AWG | 3x4 AWG | 3x4 AWG | 8 AWG | 3x4 AWG |
| TN-8 | 3x2 AWG | 3x2 AWG | 3x1/0 AWG | 3x1/0 AWG | 8 AWG | 3x1/0 AWG |
| TN-9 | 3x4 AWG | 3x4 AWG | 3x2 AWG | 3x2 AWG | 8 AWG | 3x2 AWG |
| TI-1 | 3x10 AWG | 3x10 AWG | 3x8 AWG | 3x8 AWG | 10 AWG | 3x8 AWG |
| TR-5 | 3x6 AWG | 3x6 AWG | 3x4 AWG | 3x4 AWG | 10 AWG | 3x4 AWG |

**Comportamiento termomagnético de las protecciones**

En el apartado **m** se presenta el comportamiento termomagnético de las protecciones más representativas y su coordinación con las demás protecciones aguas arriba y aguas abajo.

Se emplean 3 tipos de protecciones en la instalación de acuerdo a los elementos a proteger:

- Interruptor termomagnético en caja moldeada de tipo fijo (EZC): usado como totalizadores parciales a cada circuito alimentador a tableros de distribución secundarios, con tiempo de falla de 30 ms.
- Interruptor termomagnético miniatura tipo riel (MCB): Usado como protección de circuitos ramales de cargas finales, con tiempo de despeje de falla de 20 ms.

**Verificación de los conductores**

La metodología descrita en la norma IEEE Std 242 capítulo 9 para protección de conductores comprende la protección contra cortocircuito y protección contra sobrecargas. Mediante la verificación que se realiza, se debe asegurar que la capacidad de corriente de los conductores sea superior a la corriente de disparo del correspondiente interruptor.

**Protección contra sobrecargas**

Para proteger los conductores contra sobrecargas, se debe verificar que la corriente nominal del conductor seleccionado por el criterio técnico consignado en tabla del punto anterior sea superior a la del dispositivo de protección seleccionado. Para ello se verifica la capacidad de corriente del conductor con base en la tabla 310-16 de la NTC 2050.

| **Criterio** / **Alimentador** | Conductor Técnico | Corriente nominal | Protección |
|---|---|---|---|
| TD-GN | 9x4/0 AWG | 540A | 3x350A 50 ms |
| TN-1 | 3x4 AWG | 70A | 3x60A 50 ms |
| TN-2 | 3x8 AWG | 40A | 3x40A 50 ms |
| TN-3 | 3x6 AWG | 55A | 3x40A 50 ms |
| TN-4 | 6x4/0 AWG | 360A | 3x200A 50 ms |
| TN-5 | 3x1/0 AWG | 125A | 3x125A 30 ms |
| TN-6 | 3x6 AWG | 55A | 3x40A 30 ms |
| TN-7 | 3x4 AWG | 70A | 3x50A 30 ms |
| TN-8 | 3x1/0 AWG | 125A | 3x100A 30 ms |

| | | | |
|---|---|---|---|
| TN-9 | 2x2 AWG | 95A | 3x80A<br>30 ms |
| TI-1 | 2x8 AWG | 40A | 3x40A<br>30 ms |
| TR-5 | 2x4 AWG | 70A | 3x60A<br>30 ms |

**Tabla k1. Verificación de conductores.**

En la Tabla6 quedan consignados los valores de capacidad de corriente para el conductor técnico seleccionado. Como se puede apreciar, ningún conductor es inferior en capacidad de corriente a la capacidad nominal del dispositivo de protección.

**Capacidad de cortocircuito**

Una vez determinado el calibre del conductor por el criterio de capacidad de corriente, se debe verificar que dicha sección cumpla con las condiciones de cortocircuito del sistema en magnitud de corriente y tiempo en que será despejada la falla por el dispositivo de protección.

De acuerdo con la norma IEEE Std 242, sección 9.4, las curvas que representan la relación de temperatura-corriente-tiempo y que permiten el dimensionamiento de la sección del conductor están definidas por la fórmula de incremento de temperatura según los límites de temperatura desde operación continua a condición de cortocircuito. Dicha fórmula, según lo dispuesto en la sección 9.4.2.2 de la IEEE Std 242, tomada de la norma ICEA P-45-482-1999 permite determinar la capacidad de corriente de cortocircuito para diferentes aislamientos y está dada por la ecuación (1):

$$I = A * K * \sqrt{\frac{\log\left(\frac{T_2 + \lambda}{T_1 + \lambda}\right)}{t}} \qquad (14)$$

Dónde:

$\boldsymbol{A}$ = Área del conductor en mm$^2$

$\boldsymbol{I}$ = Corriente de cortocircuito (A).

$\boldsymbol{t}$ = Duración del corto circuito, en segundos.

$\boldsymbol{T_1}$= Máxima temperatura de operación, THW: 60°C o 75°C.

$\boldsymbol{T_2}$ = Máxima temperatura permisible de cortocircuito.

λ = 234 para cobre y 228 para aluminio.

$\boldsymbol{K}$ = 341 para cobre y 224 para aluminio.

*Para cables PE o PVC (aplica también el sintox) **Cobre o Aluminio**:

$T_2$=150°C

$T_1$=60°C o 75°C

*Para cables XLPE **Cobre o Aluminio**:

$T_2$=250°C

$T_1$= 90°C ó 105°C

La corriente de cortocircuito es un dato conocido que se analizó en el apartado C de la presente memoria. Siendo la máxima corriente de cortocircuito de 18.5 kA.

Conociendo los niveles de cortocircuito y los tiempos de despeje de falla de las protecciones (30ms para interruptores en caja moldeada usados como protecciones parciales de tableros secundarios se procede a aplicar la ecuación (14) para determinar la sección transversal del conductor A en mm². Con este criterio de dimensionamiento se garantiza que el conductor seleccionado no sufra ningún deterioro en el tiempo en que tarde en operar la protección.
Una vez satisfechos los requisitos dispuestos en el capítulo 9 de la IEEE Std 242 se puede verificar que el conductor seleccionado cumple los criterios de sobrecarga y cortocircuito necesarios para una adecuada selección.

# l. Cálculo mecánico de estructuras y elementos de sujeción de equipos.

**Soporte de tuberías**

Para las tuberías eléctricas plegables no metálicas se seguirán los siguientes lineamientos como lo establece el artículo 341-11 de la NTC 2050. Las tuberías eléctricas no metálicas se deben instalar como un sistema completo, como establece la Sección 300, y se deben sujetar bien a menos de 0,9 m de cada caja de salida, de dispositivos, de conexiones, de cada armario o accesorio. Las tuberías eléctricas no metálicas se deben sujetar como mínimo cada 0,9 m.

Para las tuberías eléctricas rígidas no metálicas se seguirán los siguientes lineamientos como lo establece el artículo 347-8 de la NTC 2050. Los tubos conduit rígidos no metálicos se deben instalar como sistema completo, como establece el Artículo 300-18 y se deben apoyar como exige la Tabla 347-8. Además, los tubos deben ir bien sujetos a menos de 0,9 m de cada caja de salida, caja de corte, caja de dispositivos, conduleta u otra terminación del tubo. Los tubos conduit rígidos no metálicos se deben sujetar de modo que se deje holgura para los movimientos de dilatación o contracción térmica. Los tubos conduit rígidos no metálicos certificados para poderlos sujetar a distancias distintas de 0,9 m y a distancias distintas de las especificadas en la Tabla 347-8, se pueden utilizar de acuerdo con su certificado.

Para las tuberías eléctricas metálicas tipo IMC se seguirán los siguientes lineamientos como lo establece el artículo 342-12 de la NTC 2050. Los tubos metálicos intermedios se deben instalar

como un sistema completo, como establece la Sección 300, y deben ir bien sujetos. Los tubos se deben apoyar como mínimo cada 3,0 m. Además el tubo se debe sujetar bien a menos de 0,9 m de cada caja de salida, caja de corte, caja de dispositivos, armario, conduleta u otra terminación cualquiera. Cuando los miembros de la estructura no permitan sujetar fácilmente los tubos cada 0,9 m, se permite aumentar la distancia hasta 1,50 m.

Para las tuberías eléctricas metálicas tipo EMT se seguirán los siguientes lineamientos como lo establece el artículo 348-12 de la NTC 2050. Las tuberías eléctricas metálicas se deben instalar como sistema completo, como establece la Sección 300, y sujetarlas bien. Las tuberías se deben apoyar como mínimo cada 3,0 m. Además, el tubo se debe sujetar bien a menos de 0,9 m de cada caja de salida, caja de corte, caja de dispositivos, armario, conduleta u otra terminación cualquiera. Se permiten tramos horizontales de tubos rígidos no metálicos apoyados en aberturas a través de miembros de la estructura, a intervalos no superiores a 3,0 m y bien sujetos a menos de 0,9 m de los puntos de terminación.

Para las tuberías eléctricas metálicas flexibles se seguirán los siguientes lineamientos como lo establece el artículo 350-18 de la NTC 2050. Los tubos de metal flexibles se deben sujetar bien, mediante medios aprobados, a menos de 30 cm de cada caja, armario, conduleta u otra terminación del tubo y deben ir apoyados y sujetos a intervalos no superiores a 1,4 m. Se permiten tramos horizontales de tubos rígidos no metálicos apoyados en aberturas a través de miembros de la estructura, a intervalos no superiores a 1,4 m y bien sujetos a menos de 0,9 m de los puntos de terminación. Más el tubo se debe sujetar bien a menos de 0,9 m de cada caja de salida, caja de corte, caja de dispositivos, armario, conduleta u otra terminación cualquiera. Cuando los miembros de la estructura no permitan sujetar fácilmente los tubos cada 0,9 m, se permite aumentar la distancia hasta 1,50 m.

**Tabla 347-8 Soportes de los tubos rígidos no metálicos**

| Tamaño comercial del tubo | | Separación máxima entre soportes |
|---|---|---|
| mm | pulgadas | m |
| 21-33 | ½-1 | 0,9 |
| 42-60 | 1 ¼ - 2 | 1,5 |
| 73-88 | 2 ½ -3 | 1,8 |
| 101 -141 | 3½-5 | 2,1 |
| 168 | 6 | 2,4 |

**Tabla i1. Soportes de los tubos rígidos no metálicos**

**Soporte de los conductores en tuberías verticales**

Artículo 300-19 de la NTC 2050. Los conductores en canalizaciones verticales se deben sujetar si el ducto vertical supera los valores de la Tabla 300-19a). Debe haber un soporte para cables en la parte superior de la canalización vertical o lo más cerca posible de ella. Los soportes sucesivos deben ser los necesarios para que la longitud de los tramos del conductor no supere los valores establecidos en la Tabla 300-19.a).

Tabla 300-19.a) Distancia máxima entre los soportes de los conductores para canalizaciones verticales

| Sección transversal | | Conductores | |
|---|---|---|---|
| $mm^2$ | AWG - kcmils | Aluminio o aluminio recubierto de cobre (m) | Cobre (m) |
| 0,82 hasta 8,36 | 18 hasta 8 | 30 | 30 |
| 13,29 hasta 53,50 | 6 hasta 1/0 | 60 | 30 |
| 67,44 hasta 107,21 | 2/0 hasta 4/0 | 55 | 24 |
| 126,67 hasta 177,34 | 250 hasta 350 400 | 41 | 18 |
| 202,68 hasta 253,35 | hasta 500 | 36 | 15 |
| 278,68 hasta 380,02 | 550 hasta 750 | 29 | 12 |
| 405,36 y superiores | 800 y superiores | 26 | 11 |

**Tabla i2. Distancia máxima entre soportes de los conductores para canalizaciones verticales.**

Se debe utilizar uno de los siguientes métodos de soporte:

1) Mediante mecanismos de sujeción construidos o mediante cuñas aislantes introducidas en los extremos de las canalizaciones. Cuando una cuña aislante no sujete bien el cable, se debe sujetar también el conductor.

2) Intercalando cajas a intervalos necesarios, en las que se hayan instalado soportes aislantes que se sujeten de una manera satisfactoria para soportar el peso de los conductores unidos a los mismos. Las cajas deben tener tapa.

3) En las cajas de conexiones, doblando los cables no más de 90° y llevándolos horizontalmente hasta una distancia no inferior al doble de su diámetro, sobre dos o más soportes aislantes a los que se sujetan además mediante alambres de unión, si se desea. Cuando se utilice este método, los cables se deben sujetar a intervalos no superiores al 20 % de los establecidos en la Tabla 300-1. 19.a).

4) Mediante otro método igualmente eficaz.

## m. Cálculo y coordinación de protecciones contra sobrecorrientes. En baja tensión se permite la coordinación contra las características de limitación de corriente de los dispositivos según IEC 60947- 2 Anexo A.

El Estudio de Coordinación de Protecciones consiste en realizar el esquema de protecciones contra sobrecorrientes del Sistema Eléctrico. En éste se representa gráficamente el comportamiento de la corriente de operación de las protecciones en función del tiempo. Cada dispositivo tiene una gráfica de tiempo corriente que en algunos casos puede ser fija y en otras ajustable, con esto se busca lograr la máxima protección sin que se traslapen las curvas de operación de las protecciones, en otras palabras, que las fallas de sobrecorrientes sean aisladas por la protección inmediata y no se pierda continuidad en todo el sistema.
El Estudio de Coordinación de Protecciones tiene un impacto directo sobre la Seguridad Eléctrica y el funcionamiento continúo del proyecto ***Auditorio Fundación Gilberto Álzate Avendaño***, en caso

de presentarse una falla por sobrecorrientes, la protección deberá operar inmediatamente antes de que los cables o los equipos se dañen y se provoque un incendio. El dispositivo que protege al circuito fallado deberá aislar la falla sin que las otras protecciones tengan que dispararse.

De conformidad con lo exigido en RETIE, en el artículo 28.3.2 literal d) "Se debe efectuar una adecuada coordinación de las protecciones eléctricas para garantizar la selectividad necesaria, conservando así al máximo la continuidad del servicio."

En el siguiente informe se presentan los cálculos y curvas obtenidas como resultado de las simulaciones, además del estudio de coordinación de protecciones donde se evidencia de forma gráfica el comportamiento termomagnético de las curvas asociadas a los diferentes tipos de Interruptores ACB, MCCB y MCB de la marca Schneider Electric mediante el software en línea de este fabricante; el cual se ha seleccionado como referencia para este informe.

El cálculo y coordinación de protecciones se encuentra dentro de las exigencias establecidas por RETIE 2013 en el artículo 10.1 literal m, como se evidencia a continuación:

**10.1 DISEÑO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS**

Toda instalación eléctrica a la que le aplique el RETIE, debe contar con un diseño realizado por un profesional o profesionales legalmente competentes para desarrollar esa actividad. El diseño podrá ser detallado o simplificado según el tipo de instalación.

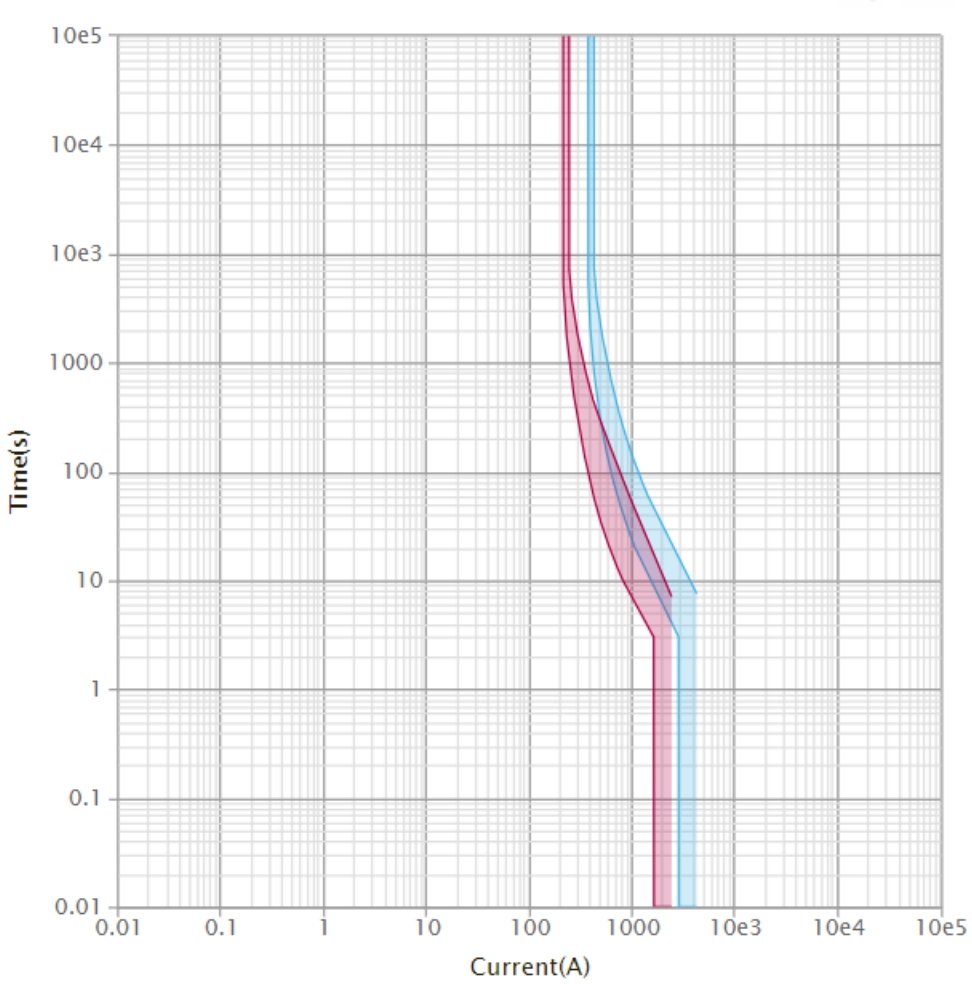
m. Cálculo y coordinación de protecciones contra sobrecorrientes. En baja tensión se permite la coordinación con las características de limitación de corriente de los dispositivos según **IEC 60947-2** Anexo A.

**Comportamiento Termomagnético de las referencias de Interruptores marca Schneider Electric.**

Los Interruptores que se muestran a continuación cumplen los niveles de Icu e Ics calculados mediante el software en línea https://secureidentity.schneider-electric.com/identity/setup/secur/ y se han escogido como referencia para la coordinación de protecciones exigida por el RETIE 2013 en el artículo 10.1 literal m.

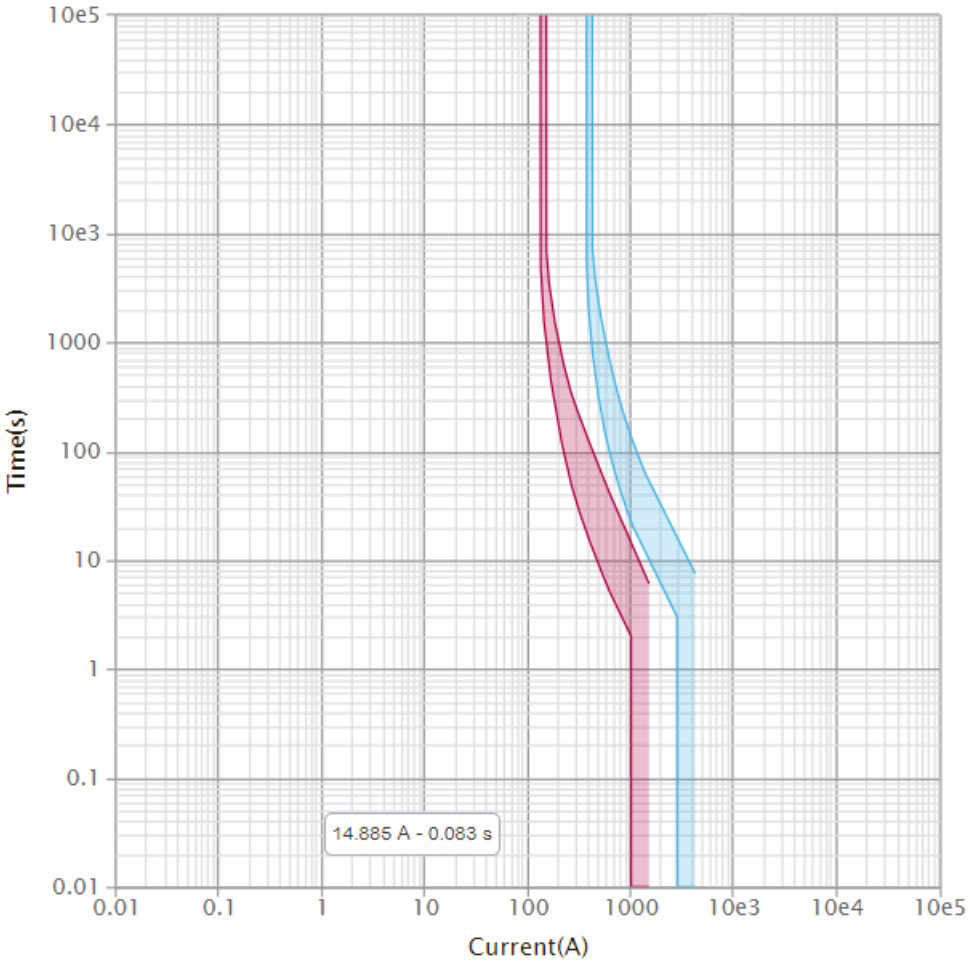
A continuación, se muestran las simulaciones de los ramales más representativos del proyecto; superponiendo las curvas termomagnéticas de todos los Interruptores presentes en dichos ramales.

Para ramales de TD-GN 220V.




| EZC400N TM Fixed - 350 A | |
|---|---|
| Ir (A) | 350 |
| Isd (A) | 3500 |

| EZCV250N TM Fixed - 200 A | |
|---|---|
| Ir (A) | 200 |
| Isd (A) | 2000 |

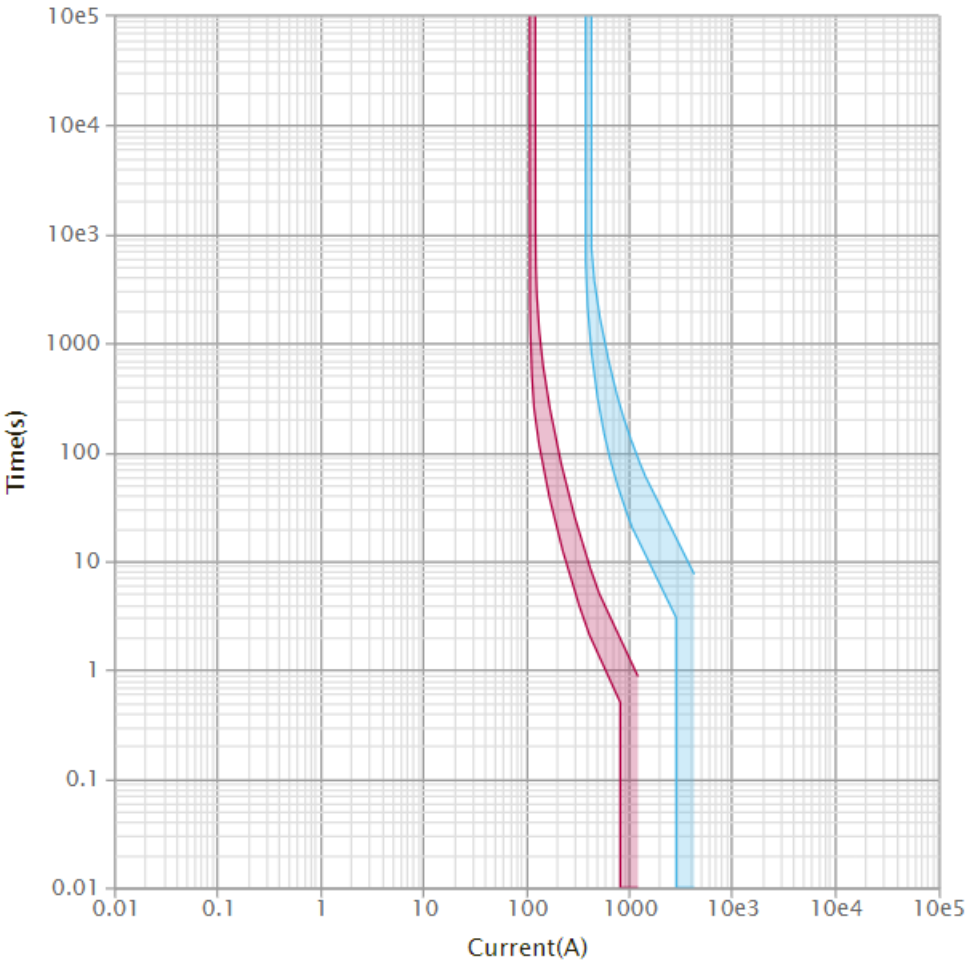



| EZC400N TM Fixed - 350 A | | |
|---|---|---|
| Ir (A) | | 350 |
| Isd (A) | | 3500 |

| EZCV250N TM Fixed - 125 A | | |
|---|---|---|
| Ir (A) | | 125 |
| Isd (A) | | 1250 |

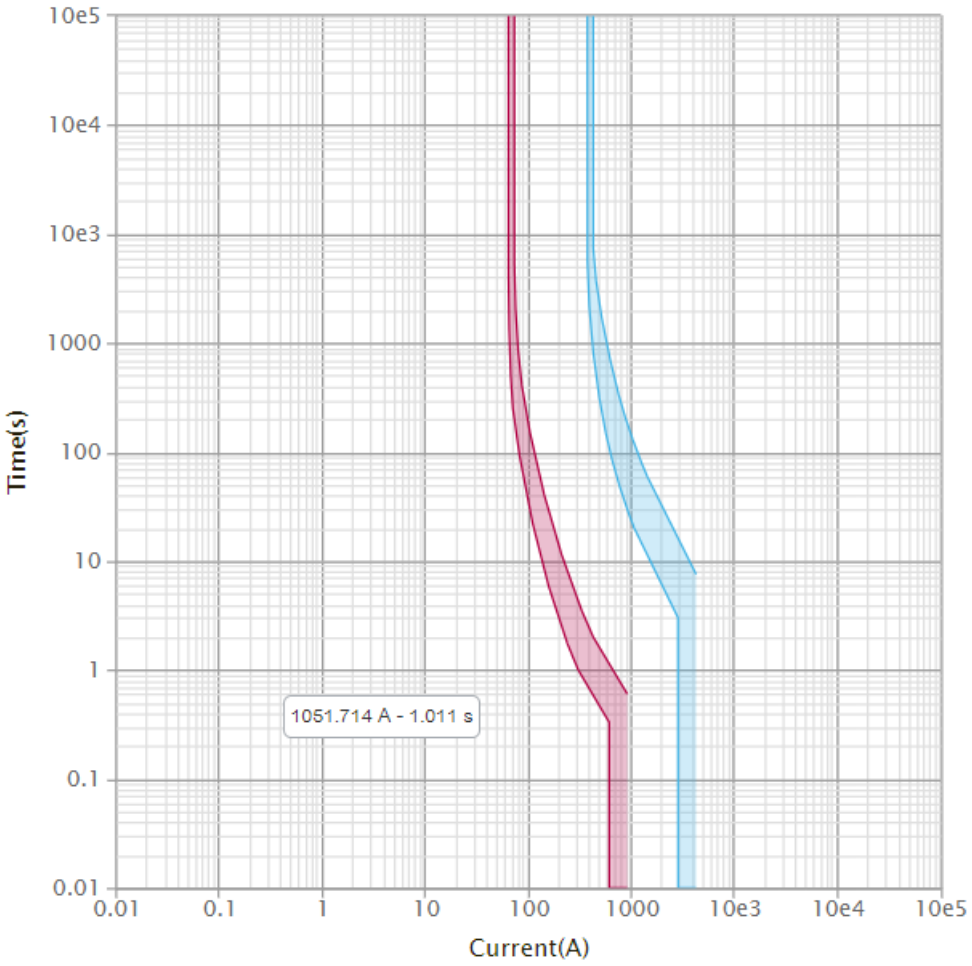
| EZC630N TM Fixed - 600 A | | |
|---|---|---|
| Ir (A) | | 600 |
| Isd (A) | | 6000 |

| CVS100N TM-D - 100 A | | |
|---|---|---|
| Ir (A) | | 100 |
| Isd (A) | | 800 |



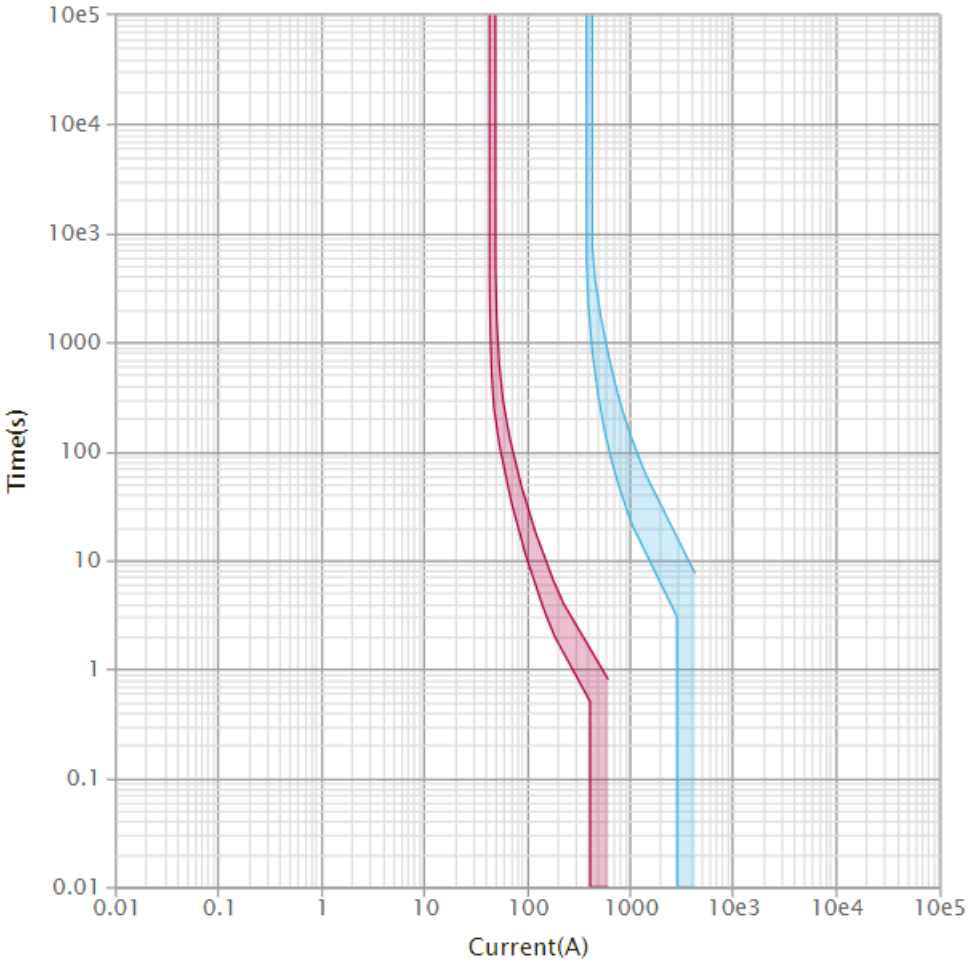

| EZC400N TM Fixed - 350 A | | |
|---|---|---|
| Ir (A) | | 350 |
| Isd (A) | | 3500 |

| EZC100N TM Fixed - 100 A | | |
|---|---|---|
| Ir (A) | | 100 |
| Isd (A) | | 1000 |




| EZC400N TM Fixed - 350 A | |
|---|---|
| Ir (A) | 350 |
| Isd (A) | 3500 |

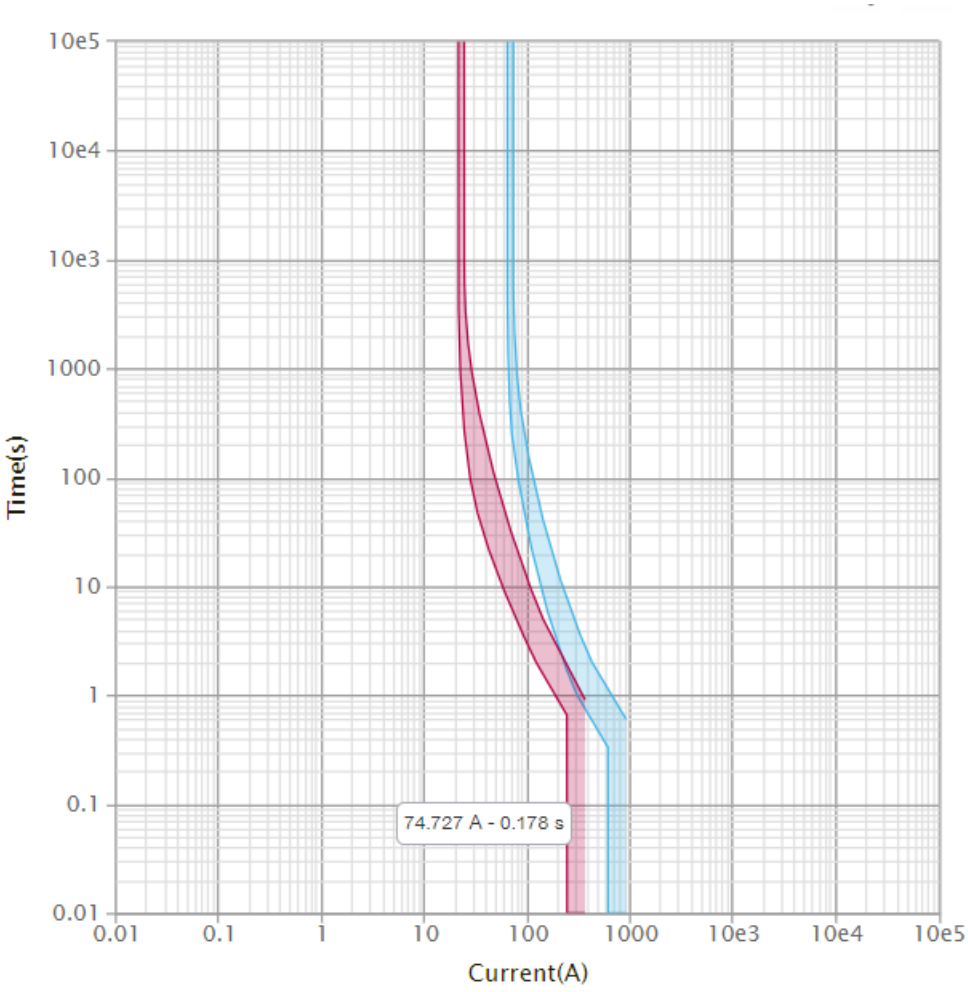
| EZC100N TM Fixed - 60 A | |
|---|---|
| Ir (A) | 60 |
| Isd (A) | 750 |




| EZC400N TM Fixed - 350 A | |
|---|---|
| Ir (A) | 350 |
| Isd (A) | 3500 |

| EZC100N TM Fixed - 40 A | |
|---|---|
| Ir (A) | 40 |
| Isd (A) | 500 |

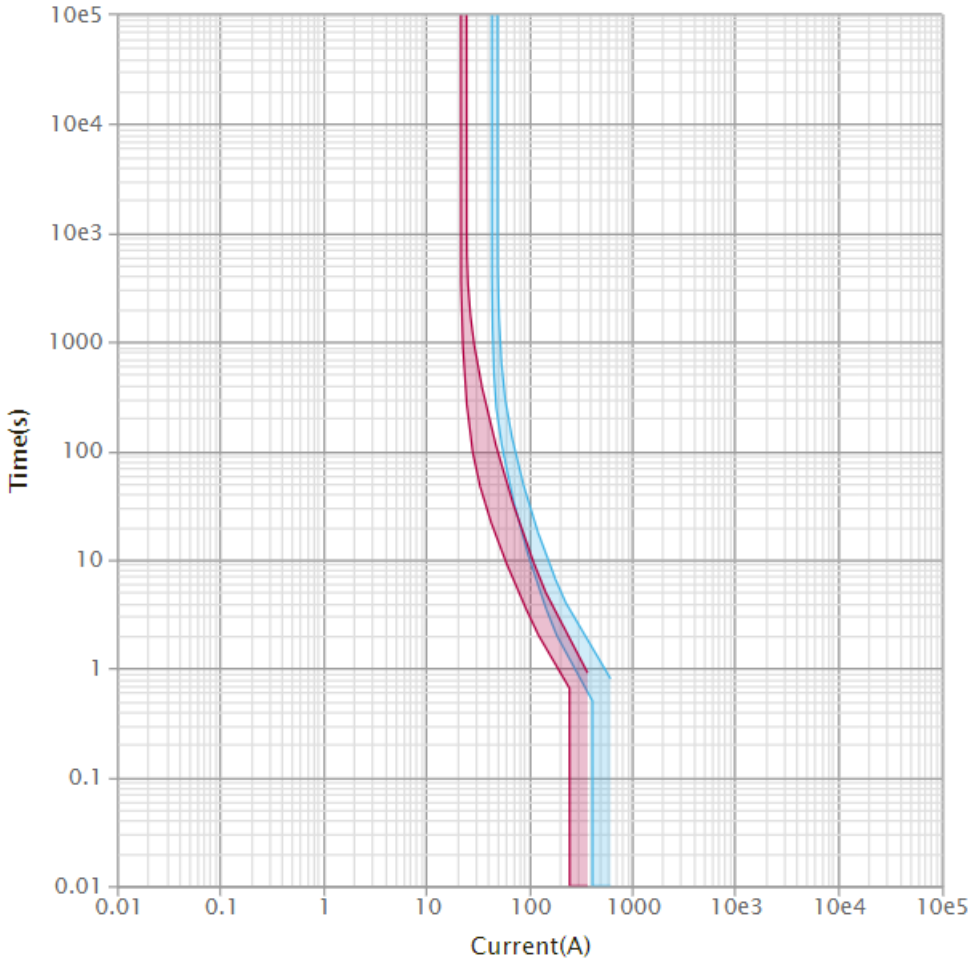
TN-1




| EZC100N TM Fixed - 60 A | |
|---|---|
| Ir (A) | 60 |
| Isd (A) | 750 |

| EZC100N TM Fixed - 20 A | |
|---|---|
| Ir (A) | 20 |
| Isd (A) | 300 |

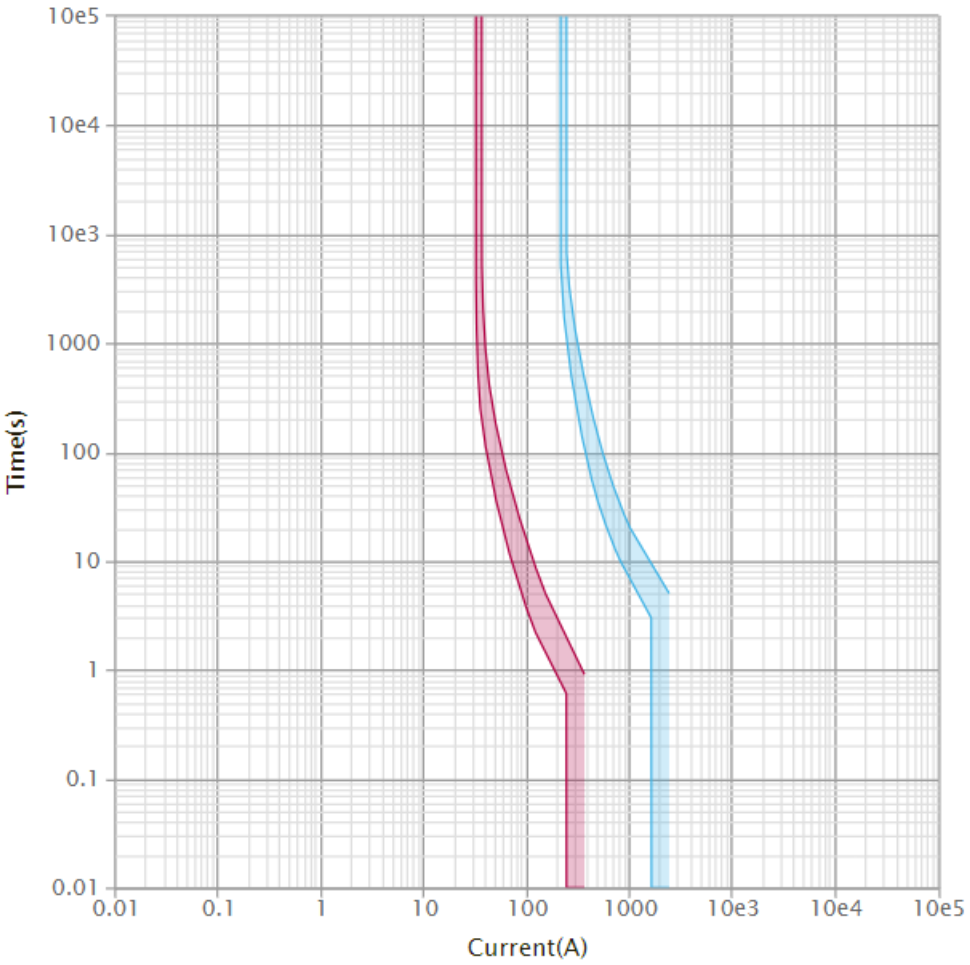
TN-2




| EZC100N TM Fixed - 40 A | |
|---|---|
| Ir (A) | 40 |
| Isd (A) | 500 |

| EZC100N TM Fixed - 20 A | |
|---|---|
| Ir (A) | 20 |
| Isd (A) | 300 |

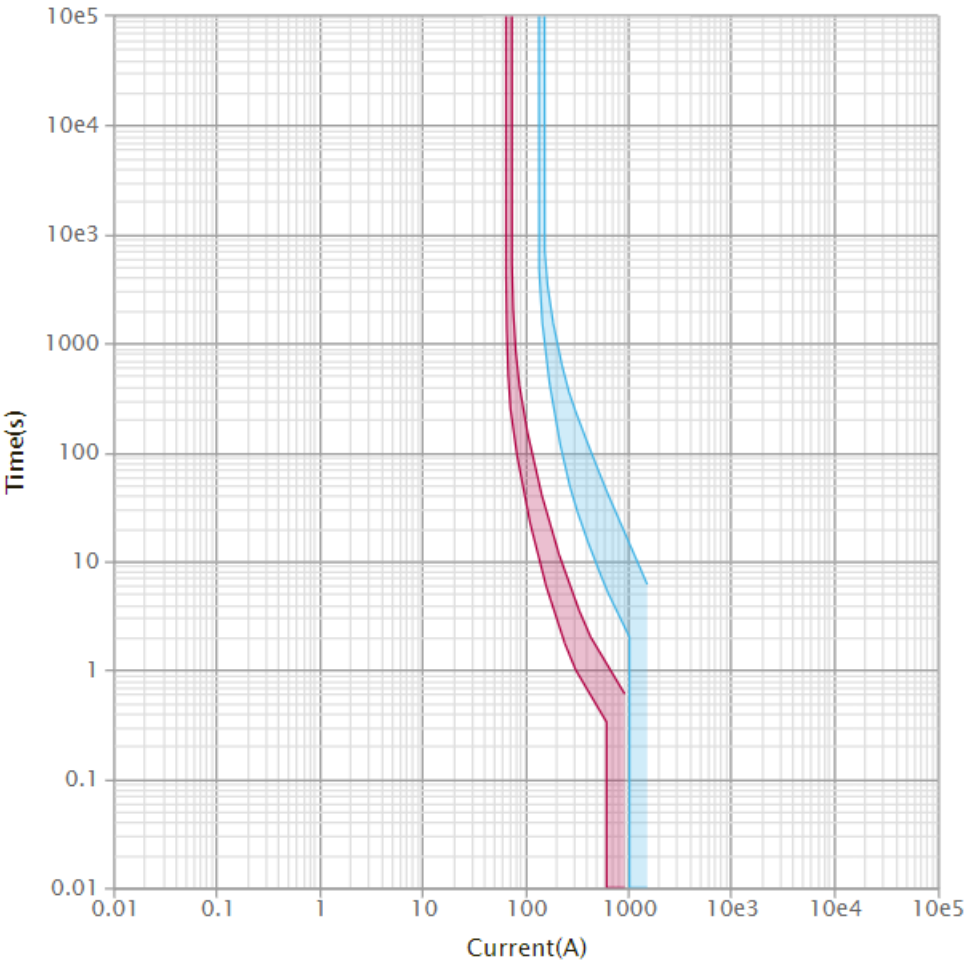
TN-4




| EZC250N TM Fixed - 200 A | |
|---|---|
| Ir (A) | 200 |
| Isd (A) | 2000 |

| EZC100N TM Fixed - 30 A | |
|---|---|
| Ir (A) | 30 |
| Isd (A) | 300 |

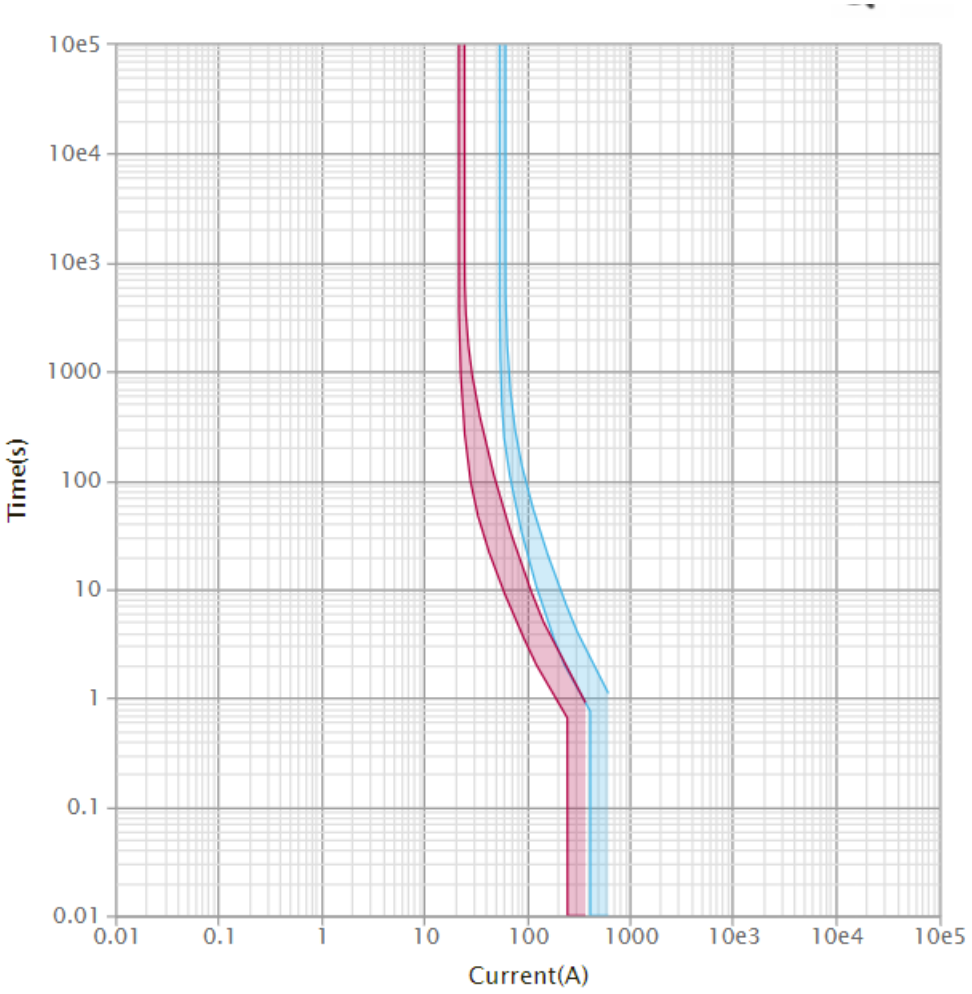
TN-5




| EZC250N TM Fixed - 125 A | |
|---|---|
| Ir (A) | 125 |
| Isd (A) | 1250 |

| EZC100N TM Fixed - 60 A | |
|---|---|
| Ir (A) | 60 |
| Isd (A) | 750 |

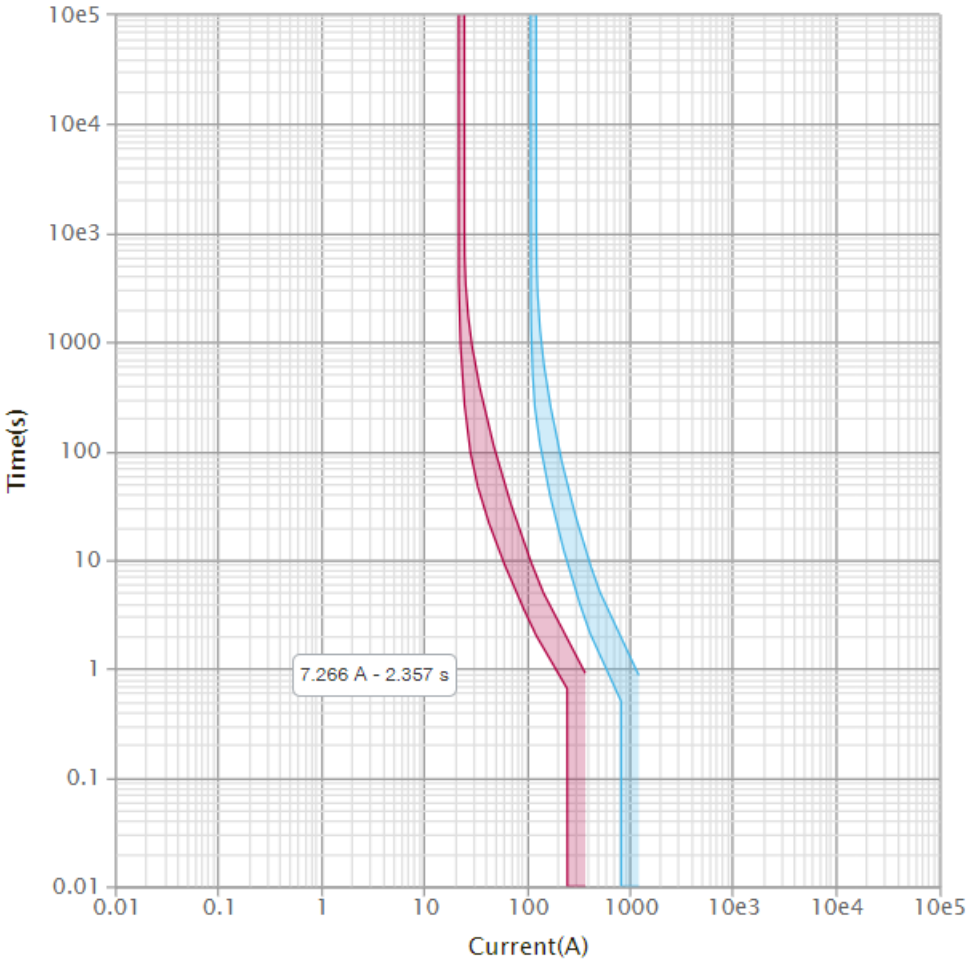
TN-7

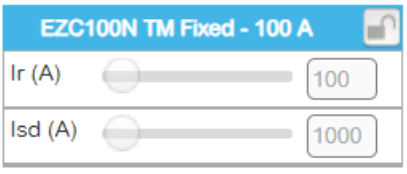


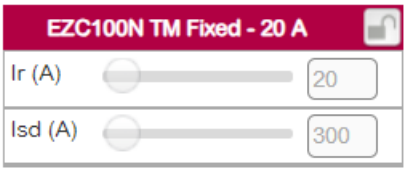

| EZC100N TM Fixed - 50 A | | |
|---|---|---|
| Ir (A) | | 50 |
| Isd (A) | | 500 |

| EZC100N TM Fixed - 20 A | | |
|---|---|---|
| Ir (A) | | 20 |
| Isd (A) | | 300 |

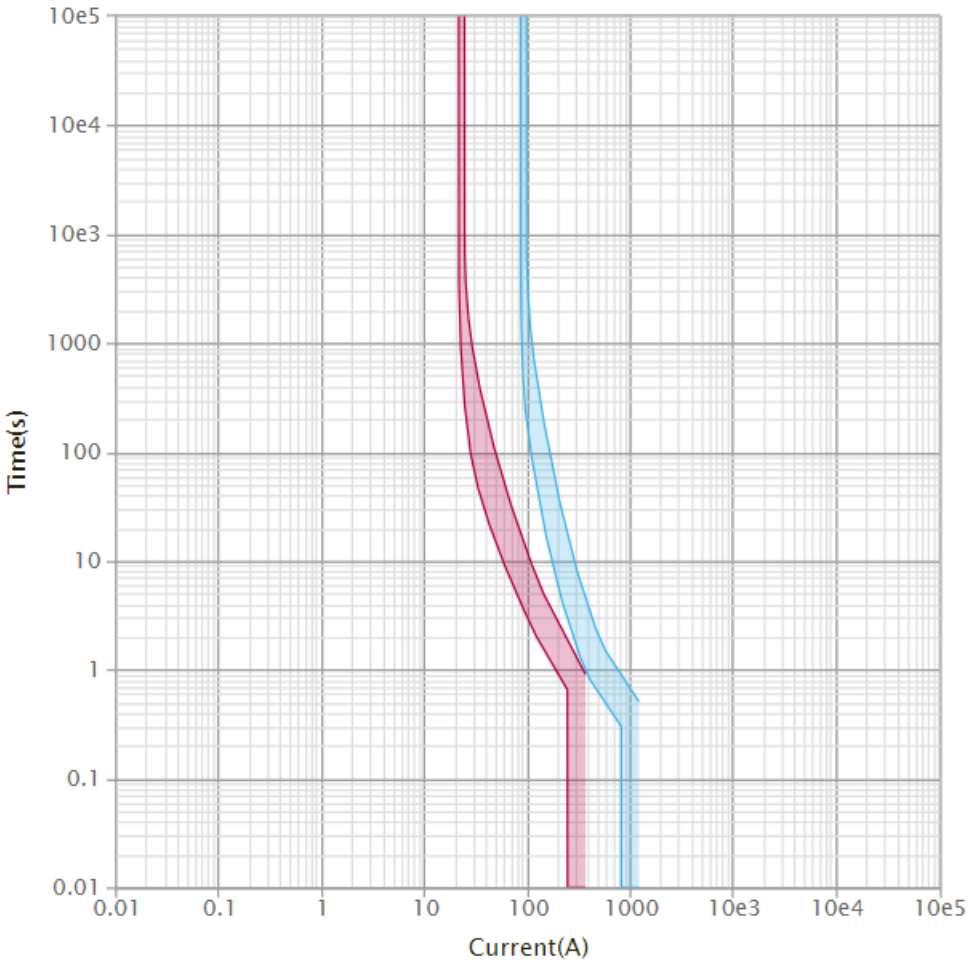
TN-8

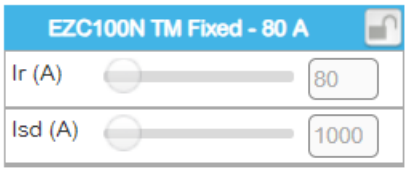

10e5
10e4
10e3
1000
100
10
1
0.1
0.01
Time(s)
7.266 A - 2.357 s
0.01
0.1
1
10
100
1000
10e3
10e4
10e5
Current(A)

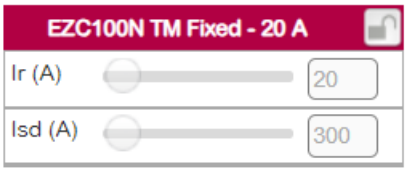

EZC100N TM Fixed - 100 A
Ir (A)
100
Isd (A)
1000


EZC100N TM Fixed - 20 A
Ir (A)
20
Isd (A)
300

TN-9




Selección de la marca de Interruptores y especificaciones técnicas.

Como se evidenció en los numerales anteriores; la marca que se seleccionó como referencia desde el diseño para la coordinación de protecciones es EZC de Schneider Electric; sin embargo, en caso de que se utilice otra marca diferente; esta debe presentar características técnicas iguales o superiores y tener un precio en el mercado igual o inferior dicha marca seleccionada para estos cálculos.

Además, debe contar con software de coordinación de protecciones para la adecuada selección de referencias y sus respectivas curvas termo magnéticas; con el fin evidenciar de forma gráfica la

asertiva selectividad entre las protecciones de los diferentes ramales del sistema; ya que las curvas y especificaciones técnicas varían entre los diferentes fabricantes.

Aclaración importante: Para efectos de garantizar Alta Confiabilidad y Robustez Técnica de los interruptores seleccionados en el proyecto ante eventuales sobrecargas o cortocircuitos reiterativos en el sistema; todos los Interruptores MCCB fijos hasta 800 Amperios, deben garantizar cumplir con las condiciones técnicas que indiquen:

Ics = 100Icu, Ue>= 750Voltios e Uimp>= 8KV ; donde bajo Norma IEC60947-2 indican lo siguiente:

Ics (Corriente de corte en servicio) -Icu (Capacidad de Ruptura última)
Ue (Tensión de Aislamiento) -Uimp (Tensión de Impulso)

**INTERRUPTORES TIPO CAJA MOLDEADA (MCCB) HASTA 800A.**

| Interruptores Caja Moldeada MCCB Fijos hasta 800 Amperios | |
|---|---|
| *Característica técnica* | *Solicitado* |
| Tensión de Aislamiento Ui (Voltios) | 750 |
| Tensión Nominal Ue (Voltios) | 690 |
| Máxima Tensión de Pico Uimp (KV) | 8 |
| Poder de Corte en Servicio Ics (KA) bajo IEC 60947-2 | 100% de Icu |
| Certificaciones y Homologaciones | KS / KEMA / IEC / CE |

| MiniBreakers Riel Din MCB - hasta 63 Amperios | |
|---|---|
| *Característica técnica* | *Solicitado* |
| Tensión Nominal Ue (Voltios) | 400VAC @50/60HZ |
| Temperatura ambiente de conformidad a IEC 60898 | -5°C to +40°C |
| Poder de Corte último Icu (KA Sym) @230/400VAC bajo IEC 60898 | 10KA |
| Curva característica | Curva B, Curva C, Curva D |
| Tipo de disparo | Magnético-Térmico |
| Tipo de terminal | Tipo dual (Túnel & Bornes) |
| Sección del cable | Cable hasta 25mm2 |
| Instalación | Montaje en riel DIN de 35mm |
| Ancho | 17.8mm por polo |
| Durabilidad en operaciones | 8000 |

**INTERRUPTORES TIPO ENCHUFABLES HASTA 50A.**

| Interruptor Enchfable - hasta 50 Amperios | |
|---|---|
| *Característica técnica* | *Solicitado* |
| Tensión Nominal Ue (Voltios) | 1polo 230VAC / 2,3polos 400VAC |
| Poder de Corte último Icu (KA Sym) @230/400VAC bajo IEC 60947-2 | 10KA |
| Curva característica | Curva B, Curva C, Curva D |
| Tipo de disparo | Magnético-Térmico |
| Tipo de terminal | Túnel (14 - 6 AWG) |
| Sección del cable | Cable hasta 25mm2 |
| Ranura | 60mm |
| Ancho | 56mm |
| Durabilidad en operaciones | 10000 |

# n. Cálculo de canalizaciones (tubo, ductos, canaletas y electroductos) y volumen de encerramientos (cajas, tableros, conduletas, etc.).

Ocupación de tuberías

Para un dimensionamiento correcto de la ocupación de conductores por tubería, el punto de partida es la tabla 1 del capítulo 9 de la NTC 2050.

| Número de conductores | 1 | 2 | Más de 2 |
|---|---|---|---|
| Todos los tipos de conductores | 53% | 31% | 40% |

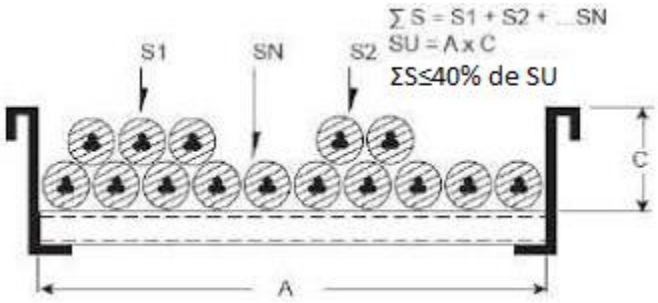
El porcentaje de ocupación que se tomará como límite será del 40%, ya que por lo general por cada circuito existen al menos 3 conductores en un mismo tubo. Con base en esta premisa, tomando las dimensiones comerciales de ductos en Colombia y los calibres de conductores más usados, se crea la tabla C11 del anexo C de la NTC 2050 donde se define el número de conductores que se pueden usar por cada tubería respetando el porcentaje de ocupación definido en la tabla.

| | | Basado en la tabla 3A de la NTC 2050<br>Número de conductores en tuberías de tamaños comerciales<br>Según tabla No 1 del capitulo 9 | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CALIBRE | MCM | AMPERIOS | DIAMETRO mm | SECCIÓN mm | 1/2" | 3/4" | 1" | 1 1/4" | 1 1/2" | 2" | 2 1/2" | 3" | 3 1/2" | 4" |
| 18 | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 4110 | 20+ | 4,11 | 13,27 | 6 | 10 | 16 | 29 | 40 | 66 | 93 | 143 | 192 | |
| 12 | 6530 | 25+ | 4,55 | 16,26 | 4 | 8 | 13 | 24 | 32 | 53 | 76 | 117 | 157 | |
| 10 | 10380 | 35+ | 5,05 | 20,03 | 4 | 6 | 11 | 19 | 26 | 43 | 61 | 95 | 127 | 163 |
| 8 | 16510 | 50+ | 7,01 | 38,59 | 1 | 3 | 5 | 10 | 13 | 22 | 32 | 49 | 66 | 85 |
| 6 | 26240 | 65 | 8,2 | 52,81 | 1 | 2 | 4 | 7 | 10 | 16 | 23 | 36 | 48 | 62 |
| 4 | 41740 | 80 | 9,45 | 70,14 | 1 | 1 | 3 | 5 | 7 | 12 | 17 | 27 | 36 | 47 |
| 2 | 56360 | 115 | 11 | 95,03 | 1 | 1 | 2 | 4 | 5 | 9 | 13 | 20 | 27 | 34 |
| 0 | 105600 | 150 | 13,94 | 152,62 | | 1 | 1 | 2 | 3 | 6 | 8 | 12 | 16 | 21 |
| 00 | 133100 | 175 | 15,11 | 179,32 | | 1 | 1 | 1 | 3 | 6 | 7 | 10 | 14 | 18 |
| 0000 | 211600 | 230 | 17,9 | 251,65 | | | 1 | 1 | 1 | 3 | 5 | 7 | 10 | 13 |
| | 250 | 255 | 20 | 314,16 | | | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| | 300 | 295 | 21,4 | 359,68 | | | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 5 | 7 | 9 |
| | 350 | 310 | 22,7 | 404,71 | | | | 1 | 1 | 1 | 3 | 4 | 6 | 8 |
| | 400 | 335 | 23,9 | 448,63 | | | | 1 | 1 | 1 | 3 | 5 | 6 | 8 |
| | 500 | 380 | 26,1 | 535,02 | | | | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 5 | 7 |

* el regimen nominal de corriente y la protección contra sobrecorriente para estos conductores no debe exceder a 15 A para el calibre No 14, 20 A para el No 12 y 30 A para el No 10 (cobre).
COLUMNA AMPERIOS basada en la tabla 310-16 de la NTC 2050 "Capacidades de corriente (A) permisibles para conductores aislados para tensiones de 0-2000V, 60 a 90ºC No mas de tres conductores en canalización o cable directamente enterrados, tomando como base una temperatura ambiente de 30ºC.

Ocupación de Bandejas portacables

Todos los conductores eléctricos alojados en bandejas portacables se deben instalar de tal forma que la suma de las secciones transversales de todos los conductores no supere el 40% del área transversal de la bandeja o la sección de la bandeja destinada a alojar los conductores eléctricos en caso de que se comparta con otros servicios debidamente separados físicamente dentro de la bandeja.




Ocupación de conductores en bandejas portacables.

El cálculo indicado en la figura solo puede ser aplicado a bandejas que alojen en su interior conductores de calibre inferior a 1/0 AWG. No aplica para conductores de sección transversal a partir del calibre No 1/0 AWG, esto debido a que tienen una restricción en su instalación y se deben agrupar en una sola capa. Para esta condición se debe cumplir que la suma de todos los diámetros de conductores sea menor que el ancho de la bandeja o sección de la bandeja destinada a alojar los conductores.

Los cálculos de ocupación y dimensionamiento de las bandejas se presentan a continuación en la tabla siguiente.

**BANDEJA PORTACABLES CERRADA**

**ENERGÍA NORMAL Y REGULADA**

**AUDITORIO BOGOTÁ**

| | |
|---|---|
| **Tipo de bandeja** | Ducto Cerrado con tapa |
| **Celda salida** | ML Principal |
| **Destino** | ML auditorio |

| **CONDUCTORES DENTRO DE BANDEJA-POTENCIA** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Conductor** | **KCM** | **4/0** | **2/0** | **8** | **6** | **4** | **2** | **1/0** |
| **Diámetro conductor** | mm | 16,70 | 13,90 | 5,70 | 6,70 | 8,50 | 10,10 | 12,70 |
| **Área conductor** | mm² | 107,20 | 67,43 | 8,37 | 13,30 | 21,15 | 33,62 | 53,48 |
| **Nro Conductores** | un | 11 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Diámetro total** | mm | 183,70 | 41,70 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| **Área total** | mm² | 1.179,20 | 202,29 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

| **CALCULO BANDEJA (Conductores < 1/0 AWG)** | |
|---|---|
| Área Ocupada [cm²] | 13,81 |
| División? | NO |
| Posición División [%] | 100% |
| Área Requerida [cm²] | 69,07 |
| Bandeja Mínima Comercial [cm] | 40x5 |
| % Ocupación Eléctrica | 4,32% |

| | |
|---|---|
| **Bandeja Comercial [cm]** | 40x5cm |

**BANDEJA PORTACABLES CERRADA**

**ENERGÍA NORMAL Y REGULADA**

**AUDITORIO BOGOTA**

| | |
|---|---|
| **Tipo de bandeja** | Ducto Cerrado con tapa |
| **Celda salida** | ML Principal |
| **Destino** | Tableros cuarto técnico |

| **CONDUCTORES DENTRO DE BANDEJA-POTENCIA** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Conductor** | **KCM** | **4/0** | **1/0** | **2** | **4** | **6** | **8** | **10** |
| **Diámetro conductor** | mm | 16,70 | 12,70 | 10,10 | 8,50 | 6,70 | 5,70 | 4,30 |
| **Área conductor** | mm² | 107,20 | 53,48 | 33,62 | 21,15 | 13,30 | 8,37 | 5,26 |
| **Nro Conductores** | un | 8 | 8 | 8 | 5 | 9 | 17 | 2 |
| **Diámetro total** | mm | 133,60 | 101,60 | 80,80 | 42,50 | 60,30 | 96,90 | 8,60 |
| **Área total** | mm² | 857,60 | 427,84 | 268,96 | 105,75 | 119,70 | 142,24 | 10,52 |

| **CALCULO BANDEJA (Conductores < 1/0 AWG)** | |
|---|---|
| Área Ocupada [cm²] | 19,33 |
| División? | NO |
| Posición División [%] | 100% |
| Área Requerida [cm²] | 96,63 |
| Bandeja Mínima Comercial [cm] | 40x5 |
| % Ocupación Eléctrica | 6,04% |
| **Bandeja Comercial [cm]** | 40x5cm |

**BANDEJA PORTACABLES CERRADA**

**ENERGÍA NORMAL Y REGULADA**

**AUDITORIO BOGOTÁ**

| | |
|---|---|
| **Tipo de bandeja** | Ducto Cerrado con tapa |
| **Celda salida** | ML Principal |
| **Destino** | Salidas eléctricas de iluminación, tomacorrientes |

| **CONDUCTORES DENTRO DE BANDEJA-POTENCIA** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Conductor** | **KCM** | **500** | **2/0** | **8** | **6** | **4** | **2** | **1/0** |
| **Diámetro conductor** | mm | 24,70 | 13,90 | 5,70 | 6,70 | 8,50 | 10,10 | 12,70 |
| **Área conductor** | mm² | 253,40 | 67,43 | 8,37 | 13,30 | 21,15 | 33,62 | 53,48 |
| **Nro Conductores** | un | 12 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Diámetro total** | mm | 296,40 | 41,70 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| **Área total** | mm² | 3.040,80 | 202,29 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

| **CALCULO BANDEJA (Conductores < 1/0 AWG)** | |
|---|---|
| Área Ocupada [cm²] | 32,43 |
| División? | NO |
| Posición División [%] | 100% |
| Área Requerida [cm²] | 162,15 |
| Bandeja Mínima Comercial [cm] | 40x5 |
| % Ocupación Eléctrica | 10,13% |
| **Bandeja Comercial [cm]** | 40x5cm |

# o. Cálculos de pérdidas de energía, teniendo en cuenta los efectos de armónicos y factor de potencia.

Corriente nominal demandada

La potencia instalada para el proyecto **Auditorio Fundación Gilberto Álzate Avendaño** es 120 kVA trifasico, por tanto, mediante la siguiente ecuación se obtiene la corriente

$$I = \frac{S}{V} = \frac{120000}{220\sqrt{3}} = 314.9\ A$$

La caída de tensión en el alimentador principal está dada por la siguiente ecuación:

$$\%\Delta V = \frac{\sqrt{3} * I_c * Z_c * L}{V * 1000} * 100$$

Donde,

Zc: Es la impedancia eficaz del conductor en Ω*km
L: Es la longitud del conductor en m
Ic: Es la corriente nominal de carga en A.
V: Es el voltaje de línea en V.

El alimentador al tablero principal del **Auditorio Fundación Gilberto Álzate Avendaño** es en cableado de aluminio libre de halógenos de sección 9No 4/0 (F) + 3No 4/0 (N) + 2No 2/0 (T) Kcmil en arreglos de 3 conductores en paralelo por fase.

Para este arreglo de conductores, la impedancia eficaz, según la tabla 9 del capítulo 9 del NEC de conductores de aluminio será:

Zc = 0.368/3 Ω*km

Ic = 314.9 A

L = 40m

V = 220V

Se obtiene un porcentaje de caída de tensión de:

$$\%\Delta V = \frac{\sqrt{3} * 314.9 * \left(\frac{0.368}{3}\right) * 40}{220 * 1000} * 100 = 1.21\%$$

Que corresponde a una caída de tensión de 2.66 V

La potencia perdida debido a esta caída de tensión será:

$$P = I * \Delta V * cos\ (ø)$$

$$P = (314.9A) * (2.66V) * (0.8)$$
$$P = 670.1\ W$$

Lo cual corresponde al 0.55% de la capacidad total en pérdidas.

# p. Cálculos de regulación.

Uno de los aspectos primordiales al dimensionar los conductores que forman parte de una instalación eléctrica, luego del cumplimiento de la capacidad de conducción de corriente, es el Porcentaje de Caída de Tensión, denominado también en el ámbito técnico, Porcentaje de Regulación.

La caída de tensión en el conductor se origina debido a la resistencia eléctrica al paso de la corriente. Esta resistencia depende de la longitud del circuito, el material, el calibre y la temperatura de operación del conductor. El calibre seleccionado debe verificarse por la caída de tensión en la línea.

- **Criterios a considerar**

Al suministrar corriente a una carga por medio de un conductor, se experimenta una caída en la tensión y una disipación de energía en forma de calor.

❖ Caída de tensión en circuitos de corriente continúa

En circuitos de corriente continua (DC) la caída de tensión se determina por medio de la siguiente fórmula, conocida como la Ley de Ohm:

$$V = I \cdot R$$

Dónde:

*V* es la caída de tensión.

*I* es la corriente de carga que fluye por el conductor.

*R* es la resistencia a c.c. del conductor por unidad de longitud.

❖ Caídas de tensión en circuitos de corriente alterna

Para circuitos de corriente alterna (AC) la caída de tensión depende de la corriente de carga, del factor de potencia y de la impedancia de los conductores (en estos circuitos es común la combinación de resistencias, capacitancias e inductancias). Por lo anterior, la caída de tensión se expresa:

$$V = I \cdot Z$$

Siendo Z la impedancia.

❖ Impedancia

Es la resistencia que opone un conductor al paso de la corriente eléctrica, su valor se da en Ohmios (Ω). La impedancia está compuesta por: resistencia eléctrica, reactancia inductiva $X_L$ y reactancia capacitiva Xc.

En el cálculo de la impedancia de los conductores de un circuito, no se tiene en cuenta la reactancia capacitiva porque su valor es muy pequeño comparado con la resistencia y reactancia inductiva.

La ***Norma NTC 2050*** *en la nota 2 de la tabla 9 del capítulo 9*, establece que *"multiplicando la corriente por la impedancia eficaz se obtiene un valor bastante aproximado de la caída de tensión entre fase y neutro*".
Adicionalmente define la impedancia efectiva así:

$$Z_{EF} = R\,Cos\,\theta + X\,Sen\,\theta$$

Dónde:
***θ*** Es el ángulo del factor de potencia del circuito.
***R*** es la resistencia a corriente alterna de conductor.
***X*** es la reactancia del conductor.

En **la tabla 9 del capítulo 9 del NEC** se muestra la impedancia efectiva ZEF, para calcular la caída de tensión de circuitos, de tres conductores en conductos. Los valores de resistencia y reactancia son válidos para cables 600 V, 75 °C, 60 Hz.

**3. Máxima caída de tensión permisible**

La circulación de corriente a través de los cables, ocasiona una pérdida de potencia y una diferencia entre las tensiones en el origen del alimentador y en el extremo o ubicación del equipo, a esta diferencia se le conoce como Caída de Tensión, y se establece una relación porcentual de las tensiones que se denomina Porcentaje de Regulación.

Para un sistema trifásico, se considera el cálculo de la regulación como sigue:

$$\%Regulación_{3\emptyset} = \frac{\sqrt{3} * Z_{EF} * amperios * longitud\ (m) * 100}{Voltios\ fase\ a\ fase * 1000\ (m)}$$

$$\%Regulación_{1\emptyset,2\emptyset} = \frac{2 * Z_{EF} * amperios * longitud\ (m) * 100}{Voltios_{1\emptyset,2\emptyset} * 1000\ (m)}$$

$Z_{EF}$ : Impedancia tomada de la **tabla j1.**

El resultado obtenido en el cálculo del Porcentaje de Regulación debe compararse con los valores establecidos por la norma NTC 2050, donde al respecto se indica lo siguiente:

*Sección 210-19, Inciso a), Nota 4: "Los conductores de circuitos ramales como están definidos en la sección 100, con una sección que evite una caída de tensión superior al 3% en las salidas más lejanas de fuerza, calefacción, alumbrado o cualquier combinación de ellas y en los que la caída*

*máxima de tensión de los circuitos alimentador y ramal hasta la salida más lejana no supere al 5%, ofrecen una eficacia razonable de funcionamiento. Para la caída de tensión en los conductores del alimentador, véase el artículo 215-2" Sección 215-2, Inciso b), Nota 2: "Los conductores de alimentadores tal como están definidos en la sección 100, con un calibre que evite una caída de tensión superior al 3% en las salidas más lejanas para potencia, calefacción, alumbrado o cualquier combinación de ellas y en los que la caída máxima de tensión de los circuitos alimentador y ramales hasta la salida más lejana no supere el 5%, ofrecen una eficacia de funcionamiento razonable. Nota 3: Véase el artículo 210-19. a), para la caída de tensión de los conductores de los circuitos ramales"*

**4. Resultados obtenidos**

En los cuadros de carga presentados como ANEXO A se incluye cálculo de regulación. A continuación, se resumen en la Tabla la regulación en los barrajes de cada tablero y la regulación acumulada que corresponde al caso más crítico de las salidas de uso final por cada tablero.

| TABLERO | % Regulación Barraje | % Regulación Acumulada |
|---|---|---|
| TD-GN | 1,22% | 4.84% |
| TN-1 | 2,54% | 4,42% |
| TN-2 | 1,49% | 4,75% |
| TN-3 | 1,89% | 2,85% |
| TN-4 | 1,95% | 3,95% |
| TN-5 | 1,22% | 0,21% |
| TN-6 | 1,73% | 2,18% |
| TN-7 | 1,74% | 2,50% |
| TN-8 | 1,65% | 2,52% |
| TN-9 | 1,79% | 3,17% |
| TI-1 | 1,78% | 4,84% |
| TR-5 | 0,31% | 2,50% |

**Tabla p1. Resumen de cálculo de regulación.**

# q. Clasificación de áreas. NO APLICA PARA ESTE TIPO DE PROYECTO

De acuerdo a las definiciones del RETIE, un lugar clasificado es aquella zona donde están o pueden estar presentes gases o vapores inflamables, polvos combustibles o partículas volátiles de fácil inflamación. El **Auditorio Fundación Gilberto Álzate Avendaño** es un lugar dedicado a la recreación de persona y no almacena elementos combustibles. Este tipo de instalaciones no dispone de zonas con presencia de materiales inflamables o lugares como los expuestos en el capítulo 5 de la NTC 2050: Ambientes especiales

Debido a la inexistencia de áreas clasificadas como peligrosas, se exime el desarrollo del presente apartado.

## r. Elaboración de diagramas unifilares. Se presenta los planos anexos.

La planimetría anexa con el proyecto contiene todos los esquemas eléctricos en planos y diagramas de conexión. Dentro de este compendio se incluye el diagrama unifilar nombrado Diagrama Unifilar General. 04-ELE_AUDITORIO_BOGOTA-R1-DIAGRAMA UNIFILAR Y CUADRO DE CARGAS

## s. Elaboración de planos y esquemas eléctricos para construcción. Se presenta los planos anexos.

La planimetría anexa comprende los siguientes planos:

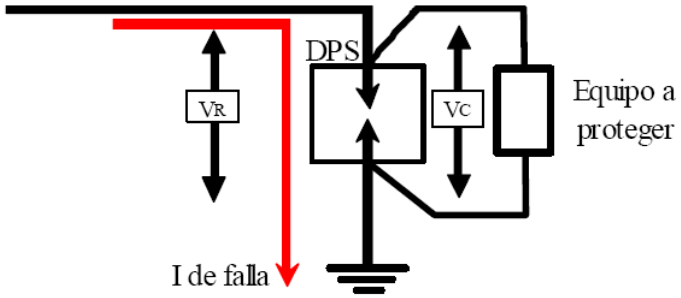
- 01-ELE_AUDITORIO_BOGOTA-R1-SALIDAS ELÉCTRICAS DE TOMACORRIENTE PISO 1
- 02-ELE_AUDITORIO_BOGOTA-R1-SALIDAS ELÉCTRICAS DE TOMACORRIENTE PISO 2
- 03-ELE_AUDITORIO_BOGOTA-R1-SALIDAS ELÉCTRICAS DE TOMACORRIENTE PISO 3
- 05-ILU_AUDITORIO_BOGOTA-R1-SALIDAS ELECTRICAS DE ILUMINACIÓN PISO 1
- 06-ILU_AUDITORIO_BOGOTA-R1-SALIDAS ELECTRICAS DE ILUMINACIÓN PISO 2
- 07-ILU_AUDITORIO_BOGOTA-R1-SALIDAS ELECTRICAS DE ILUMINACIÓN PISO 3
- 08-ILU_ARTISTICA_AUDITORIO_BOGOTA-R1-PLANTA PRIMER PISO SISTEMA DE ILUMINACIÓN ARTISTICA
- 09-ILU_ARTISTICA_AUDITORIO_BOGOTA-R1-PLANTA SEGUNDO PISO SISTEMA DE ILUMINACIÓN ARTISTICA
- 10-ILU_ARTISTICA_AUDITORIO_BOGOTA-R1-PLANTA TERCER PISO, PLANTA CIELO RASO, SISTEMA DE ILUMINACIÓN ARTISTICA, DETALLES
- 11-ILU_ARTISTICA_AUDITORIO_BOGOTA-R1-CORTE LONGITUDINAL SISTEMA DE ILUMINACIÓN ARTISTICA
- 12-MOTORES_MECANICA_AUDITORIO_BOGOTA-R1-SALIDAS ELÉCTRICAS MOTOR MECÁNICO PISO 2
- 13-MOTORES_MECANICA_AUDITORIO_BOGOTA-R1-SALIDAS ELÉCTRICAS MOTOR MECÁNICO PISO 3
- 14-ELE-AIRE_ACOND_AUDITORIO_BOGOTA-R1-SALIDAS ELÉCTRICAS PARA AIRE ACONDICIONADO PISO 2 Y 3
- 15-ELE-AIRE_ACOND_AUDITORIO_BOGOTA-R1-SALIDAS ELÉCTRICAS PARA AIRE ACONDICIONADO CUBIERTA

## t. Especificaciones de construcción complementarias a los planos, incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales y sus condiciones particulares. Se presenta en documento anexo.

**Dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS)**

Los DPS deberán cumplir los requisitos de producto dispuestos por el artículo 20.14.1 del RETIE y demostrarlo mediante certificado de producto. En cuanto a su instalación se deben respetar los requisitos dispuestos en el artículo 20.14.2 del RETIE:

- La coordinación contra sobretensiones debe estar acorde al régimen de conexión a tierra (TN-C-S, TN-S, IT)
- Los DPS que actúen como protección básica deben instalarse en modo común.
- En la instalación se debe tener como objetivo que la tensión residual del DPS sea casi igual a la aplicada al equipo, para lo cual, la distancia no debe ser mayor a 50 cm del DPS al equipo a proteger.




**Instalación de los DPS.**

**Tableros eléctricos de baja tensión**

Todo tablero de baja tensión debe cumplir con los requisitos de producto señalados en el artículo 20.23.1.1 y 20.23.1.2 del RETIE y demostrarlo mediante certificado de conformidad.

❖ Terminales de alambrado.

- Cada conductor que se instale en el tablero, debe conectarse mediante terminal que puede ser a presión o de sujeción por tornillo.
- El tablero debe proveerse con barrajes aislados para los conductores de neutro y puesta a tierra aislada, tanto del circuito alimentador como de los circuitos derivados y solo en el tablero principal, se debe instalar el puente equipotencial principal.
- El tablero debe tener un barraje para conexión a tierra del alimentador, con suficientes terminales de salida para los circuitos derivados.
- Se debe respetar el código de colores para identificación del alambrado

| SISTEMA | 1Φ | 1Φ | 3ΦY | 3ΦΔ | 3ΦΔ- | 3ΦY | 3ΦY | 3ΦΔ | 3ΦΔ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TENSIONES NOMINALES (Voltios) | 120 | 240/120 | 208/120 | 240 | 240/208/ 120 | 380/220 | 480/440 | 480 /440 | Mas de 1000 V |
| CONDUCTORES ACTIVOS | 1 fase 2 hilos | 2 fases 3 hilos | 3 fases 4 hilos | 3 fases 3 hilos | 3 fases 4 hilos | 3 fases 4 hilos | 3 fases 4 hilos | 3 fases 3 hilos | 3 fases |
| FASES | Negro trifásico | Negro Rojo/ | Amarillo Azul Rojo | Negro Azul Rojo | Negro Naranja Azul | Café Negro Amarillo | Café Naranja Amarillo | Café Naranja Amarillo | Violeta Café Rojo |
| NEUTRO | Blanco | Blanco | Blanco | No aplica | Blanco | Blanco | Gris | No aplica | No aplica |
| TIERRA DE PROTECCIÓN | Desnudo o verde | Desnudo o verde | Desnudo o verde | Desnudo o verde | Desnudo o verde | Desnudo o verde | Desnudo o verde | Desnudo o verde | Desnudo o verde |
| TIERRA AISLADA | Verde o Verde/ amarillo | Verde o Verde/ amarillo | Verde o Verde/ amarillo | No aplica | Verde o Verde/ amarillo | Verde o Verde/ amarillo | No aplica | No aplica | No aplica |

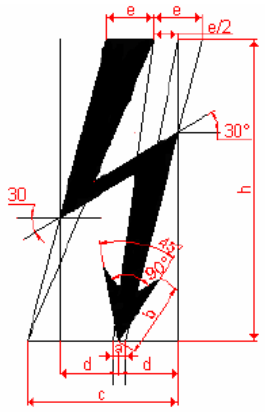
**Código de colores de conductores.**

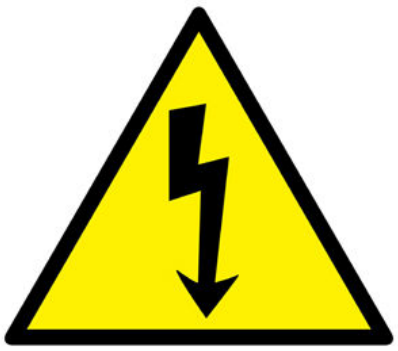
- ❖ Rotulado e instructivos

Un tablero debe tener adherida de manera clara, permanente y visible, mínimo la siguiente información:

a) Tensión(es) nominal(es) de operación.
b) Corriente nominal de alimentación.
c) Número de fases.
d) Número de hilos (incluyendo tierras y neutros).
e) Razón social o marca registrada del productor, comercializador o importador.
f) El símbolo de riesgo eléctrico.
g) Cuadro para identificar los circuitos.
h) Indicar, de forma visible, la posición que deben tener las palancas de accionamiento de los interruptores, al cerrar o abrir el circuito.
i) Todo tablero debe tener su respectivo diagrama unifilar actualizado.

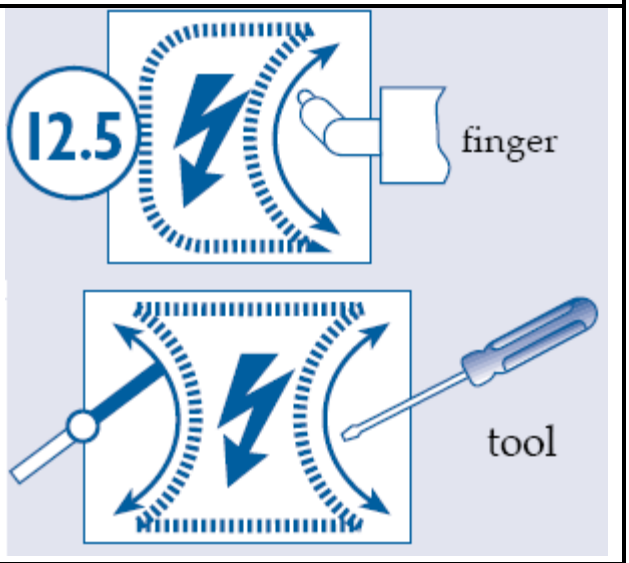
| h | a | b | c | d | e |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 0,6 | 3,7 | 7,6 | 3 | 2,4 |
| 30 | 1,2 | 7,5 | 15,3 | 6 | 4,8 |
| 40 | 1,6 | 10 | 20 | 8 | 6,4 |
| 50 | 2 | 12 | 26 | 10 | 8 |
| 64 | 2,5 | 16 | 33 | 13 | 10 |
| 80 | 3 | 20 | 41 | 16 | 12,8 |
| 100 | 4 | 25 | 51 | 20 | 16 |
| 125 | 5 | 32 | 64 | 25 | 20 |
| 160 | 6 | 40 | 82 | 32 | 26 |
| 200 | 8 | 50 | 102 | 40 | 32 |



**Símbolo de riesgo eléctrico.**

Los tableros deben ser resistentes al impacto contra choques mecánicos mínimo grado IK 05 y tener un grado de protección contra sólidos no mayores de 12,5 mm, líquidos de acuerdo al lugar de operación y contacto directo, mínimo IP 2XC o su equivalente NEMA.

| **Código IP** | **Ejemplo** |
|---|---|
| Primer Numeral:<br>**2** |  |
| Letra adicional:<br>**C** |  |

**Grado de protección IP.**

**Alambres y cables**

El cableado de las instalaciones eléctricas debe cumplir los requisitos de producto dispuestos en el artículo 20.2.1 del RETIE y demostrarlo mediante certificado de producto. Para uso residencial se deben usar conductores de muy bajo contenido de halógenos, no propagadores de llama y baja emisión de humos opacos. Para el alcance del proyecto se especificó conductor rotulado en su chaqueta aislante como Conductor Cu AWG HF FR LS CT 750V 80°C que cumple con las especificaciones solicitadas.
Este tipo de conductores debe ser del tipo cableado, no se aceptan conductores sólidos.
Deben instalarse respetando el radio de curvatura que recomienda el fabricante.

| Espesor del aislamiento del conductor | | Diámetro total del cable | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | mm | Pulgadas | mm | Pulgadas | mm | Pulgadas |
| | | 25,4 y menores | 1,000 y menores | 25,4 – 50,8 | 1,001 – 2,000 | 50,8 y mayores | 2,001 y mayores |
| mm | Pulgadas | Radio de curvatura mínimo como múltiplo del diámetro del cable | | | | | |
| 4,31 y menores | 0,169 y menores | 4 | | 5 | | 6 | |
| 4,32 y mayores | 0,170 y mayores | 5 | | 6 | | 7 | |

**Mínimo radio de curvatura.**

**Tubos o tuberías**

Deben cumplir los requisitos de producto definidos por el artículo 20.6.1.1 del RETIE y las condiciones de instalación del artículo 20.6.1.2. Se deben tener presente los siguientes requisitos para la instalación según el material y las condiciones de instalación:

a) En ambientes corrosivos, con humedad permanente o bajo tierra, no se aceptan elementos metálicos para alojamiento de conductores, que no estén apropiadamente protegidos contra la corrosión y que no cumplan con la resistencia al impacto y al aplastamiento requeridas.
b) Los espacios entre elementos que soporten tuberías no metálicas, no podrán ser mayores a 1,2 m para tubería hasta de 19 mm de diámetro; 1,5 m para tuberías entre 25 y 51 mm; 1,8 m para tuberías entre 63 y 76 mm y 2,1 m para tuberías entre 89 y 102 mm.
c) No se podrán usar tuberías no metálicas, en espacios donde por efectos de la carga eléctrica en los conductores, se tengan temperaturas por encima de las tolerables por la tubería.
d) No deben instalarse tuberías no metálicas en lugares expuestos a daños físicos o a la luz solar directa, si no están certificadas para ser utilizadas en tales condiciones.

**Clavijas y tomacorrientes**

Los tomacorrientes instalados en lugares húmedos deben tener un grado de encerramiento IP (o su equivalente NEMA), adecuado para la aplicación y condiciones ambientales que se esperan y deben identificar este uso.
Cuando los tomacorrientes se instalen de forma horizontal, el contacto superior debe corresponder al neutro. Cuando exista un arreglo de varios tomacorrientes en un mismo producto, el contacto superior debe ser el neutro.

En lugares sometidos a inundaciones frecuentes, la altura del tomacorriente debe ser tal que supere el nivel histórico de inundación.

## u. Establecer las distancias de seguridad requeridas.

Para el alcance de la instalación se aplicaron las distancias de seguridad requeridas alrededor de equipos eléctricos que dicta el artículo 10.4 del RETIE, las secciones 110-16 y 110-34 de la NTC2050.

**Tabla 110-16.a). Espacio de trabajo**

| Tensión nominal a tierra | Distancia mínima en (m) según la condición | | |
|---|---|---|---|
| | Condición 1 | Condición 2 | Condición 3 |
| 0-150 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| 151-600 | 0,9 | 1,1 | 1,2 |

**Las "Condiciones" son las siguientes:**

1 **Partes energizadas expuestas en un lado y ninguna parte energizada o puesta a tierra en el otro lado del espacio de trabajo, o partes energizadas expuestas a ambos lados protegidas eficazmente por madera u otros materiales aislantes adecuados. No se consideraran partes energizadas los cables o barras aislados que funcionen a menos de 300 V.**

2 **Partes energizadas expuestas a un lado y puestas a tierra en el otro. Las paredes de hormigón, ladrillo o baldosa se deben considerar como puestas a tierra.**

3 **Partes energizadas expuestas en ambos lados del espacio de trabajo (no protegidas como está previsto en la Condición 1), con el operador entre ambas.**

Teniendo en cuenta lo anterior se establecen las siguientes distancias de trabajo en el proyecto:

Cuarto eléctrico principal taquilla 0.9m frente al tablero eléctrico. TD-GN y TN-2. En escenario 09m frente a tablero TN-1. En cuarto técnico piso 3 se establece 0.9m frente a tablero TN-3, TN-4, TN-5, TN-6, TN-7, TN-8, TN-9, TI-1, TR-5, para cumplir con condición 1.

## v. 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 diseño ejecutado en el proyecto no se incurrió en ninguna desviación técnica a la norma. Cada apartado de diseño sigue las indicaciones aplicables tanto del Reglamento Técnico De Instalaciones Eléctricas - RETIE como de la NTC 2050.

## w. 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 del proyecto, no se desarrollarán estudios adicionales a los contemplados en los apartados anteriores.

Santiago Puerta

Santiago Puerta Yarce.
M.P: AN205-95142