

**ELABORACIÓN DE DIAGNÓSTICOS, ESTUDIOS TÉCNICOS, AJUSTES  
A DISEÑOS O DISEÑOS INTEGRALES, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN  
FUNCIONAMIENTO DE LAS OBRAS DE INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA –  
UBICADAS EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO – GRUPO 09**

**Contrato No. PAF-JU09-G09DC-2015**



**INFORME MEMORIAS DE CÁLCULO  
DISEÑO ELÉCTRICO I.E.M LUIS DELFÍN INSUASTY  
RODRIGUEZ INEM DE PASTO SEDE CENTRAL**

**BOGOTÁ  
2017**

**CONTROL DE REVISIONES**

REVISIÓN	FECHA	OBSERVACIONES
1	30/12/16	Primera Redacción

**Elaborado por:**

Construcciones RUBAU

**Revisado por:**ING. ANTONIO JOSÉ  
OROZCO  
T.P CN 205-27518  
Fecha: febrero 2017

Firma:

**Aprobado por:**

Director de Interventoría

Fecha:

Firma:

## Contenido

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>8</b>
<b>1 OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>9</b>
1.1 Objetivos específicos .....	9
<b>2 METODOLOGÍA, NORMAS, CÓDIGOS Y PROTOCOLOS DE PROCEDIMIENTOS</b> <b>10</b>	
<b>3 INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO</b> .....	<b>11</b>
3.1 Localización del proyecto .....	11
3.2 Disponibilidad de energía .....	12
<b>4 ANÁLISIS DE CARGA</b> .....	<b>12</b>
4.1 Carga normal y regulada .....	12
4.2 Sistema de iluminación .....	12
4.3 Cargas especiales.....	13
4.3.1 Bombas para agua potable.....	13
<b>5 ANÁLISIS DE NIVEL DE TENSIÓN REQUERIDO</b> .....	<b>14</b>
<b>6 CÁLCULO DE LA CARGA TOTAL</b> .....	<b>14</b>
<b>7 CÁLCULO DE LA PLANTA DE EMERGENCIA</b> .....	<b>15</b>
7.1 Planta de circuitos esenciales .....	15
7.2 Planta de red contra incendios .....	16
<b>8 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE CONDUCTORES</b> .....	<b>18</b>
8.1 Corriente en circuitos ramales, alimentadores, acometidas y capacidad de corriente admisible para los conductores seleccionados.....	18
8.2 Factores de corrección por temperatura ambiente y número de conductores activos por canalización .....	19
8.3 Cálculos de regulación .....	20
8.4 Análisis de armónicos (THD).....	21
8.5 Selección económica de conductores .....	23
<b>9 CÁLCULO DE CANALIZACIONES</b> .....	<b>26</b>
9.1 Tuberías.....	26
9.2 Bandejas portacables.....	26
<b>10 SELECCIÓN Y COORDINACIÓN DE PROTECCIONES</b> .....	<b>29</b>
10.1 Análisis de flujo de carga.....	29
10.2 Cálculos de corto circuito .....	31

10.3	Coordinación de las protecciones.....	33
10.3.1	Coordinación en baja tensión .....	33
<b>11</b>	<b>DISTANCIAS DE SEGURIDAD.....</b>	<b>36</b>
11.1	Distancias mínimas en zonas con construcciones.....	37
11.2	Distancias mínimas para trabajos en o cerca de partes energizadas .....	39
<b>12</b>	<b>DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA (SPT).....</b>	<b>40</b>
<b>13</b>	<b>CLASIFICACIÓN DE ÁREAS .....</b>	<b>47</b>
<b>14</b>	<b>ANÁLISIS DE RIESGO POR RAYOS .....</b>	<b>47</b>
<b>15</b>	<b>ESTUDIOS DE COORDINACIÓN DE AISLAMIENTOS.....</b>	<b>49</b>
<b>16</b>	<b>EVALUACIÓN DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS.....</b>	<b>50</b>
<b>17</b>	<b>DISEÑO DE ILUMINACIÓN .....</b>	<b>50</b>
17.1	Descripción del área a iluminar .....	51
17.2	Iluminación interior .....	51
17.3	Selección de luminarias .....	52
17.4	Cálculo del factor de mantenimiento .....	53
17.5	Esquema funcional del sistema de iluminación .....	55
17.6	Esquema y programa de mantenimiento .....	56
17.7	Alumbrado de emergencia .....	57
17.8	Simulación de iluminación áreas .....	57
<b>18</b>	<b>ANÁLISIS DE RIESGOS ELÉCTRICOS .....</b>	<b>58</b>
18.1	Medidas para minimizar los riesgos de origen eléctrico.....	59
<b>19</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>62</b>
<b>20</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>63</b>
<b>21</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>64</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del proyecto.....	11
Figura 2 Hoja de especificaciones Sylvania .....	22
Figura 3 Análisis de flujo de carga en NEPLAN .....	30
Figura 4 Parámetros de equivalencia de red.....	31
Figura 5 Análisis de corto circuito en NEPLAN .....	32
Figura 6 Distancia de seguridad en zonas con construcciones .....	38
Figura 7 Corte de subestación para evidenciar distancia de seguridad.....	38
Figura 8 Límites de aproximación .....	40
Figura 9 Método de Wenner para análisis de resistividad en suelo.....	41
Figura 10 Sistemas de puesta a tierras dedicadas e interconectadas.....	43
Figura 11 Puesta a tierra configuración triangular de 5x5 m interconectada con la red de protección contra rayos.....	44
Figura 12 Resultados de resistencia de puesta a tierra y tensiones de paso y de contacto .....	45
Figura 13 Configuración de puesta a tierra tipo B .....	46
Figura 14 Longitud de electrodos según el tipo de Puesto a tierra y la resistividad del terreno .....	46
Figura 15 Parámetros de iluminación.....	52

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Descripción de luminarias usadas.....	13
Tabla 2 Características bombas de agua potable .....	13
Tabla 3 Resumen de cargas .....	15
Tabla 4 Carga demandada planta de emergencia de red contra incendios.....	17
Tabla 5 Planta de emergencia seleccionada de red contra incendios .....	18
Tabla 6 Factores de corrección por temperatura ambiente .....	20
Tabla 7 Factores de corrección por número de conductores portadores de corriente .....	20
Tabla 8 Factores de corrección para cables que transportan corriente triple-N.....	23
Tabla 9 Tabla de Calculo Económico de Cables.....	25
Tabla 10 Tabla de Número Máximo de Conductores por Ducto.....	26
Tabla 11 Tabla de Cálculo de Bandeja Portacables.....	27
Tabla 12 Tabla de valores para las dimensiones de la bandeja portacables.....	29
Tabla 13 Tabla de resumen de análisis de corto circuito.....	33
Tabla 14 Distancias mínimas de seguridad en zonas con construcciones .....	37
Tabla 15 Nivel de protección térmica según NFPA 70 E.....	39
Tabla 16 Resultados análisis de riesgos contra rayos .....	48
Tabla 17 Características de Luminarias.....	53
Tabla 18 Plan de Mantenimiento de la instalación de Iluminación. ....	56
Tabla 19 Matriz de análisis de riesgos eléctricos .....	59

---

## LISTA DE GRÁFICAS

Grafica 1 Par y corriente de arranque en motores mediante arrancador estrella-triangulo	16
Grafica 2 Coordinación de la protección del tablero normal y protección de red normal de transferencia.....	34
Grafica 3 Coordinación de la protección de bombas de agua potable y protección de red normal de transferencia .....	35
Grafica 4 Coordinación de la protección en interruptor de transferencia y la curva de daño de la acometida principal. ....	36
Grafica 5 Resultados de análisis de resistividad del terreno .....	42
Grafica 6 Curva de categoría de mantenimiento de luminarias .....	54

## INTRODUCCIÓN

“Colombia la más Educada”, es uno de los tres pilares del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 “Todos por Un Nuevo País”, cuya visión para el año 2025 es ser el país más educado de América Latina. En el marco de esta gran apuesta, se destaca el plan de infraestructura educativa como una prioridad orientada a la consecución de mayor calidad y equidad en la educación básica y media, como una de las principales medidas para alcanzar la meta de implementación del programa de jornada única. Para lograrlo Colombia debe incrementar en forma significativa su infraestructura en educación, especialmente en aquellos lugares del país que no se encuentran ubicados en las ciudades principales.

La infraestructura que se necesita para llevar a cabo las labores de enseñanza y educación de los niños y jóvenes, debe estar dotada de instalaciones confortables que tengan adecuados niveles de iluminación, que sean seguras para las personas que desarrollan sus actividades durante el día y que permitan el acceso a las tecnologías de la información y la comunicación (TIC).

En este documento se presenta un informe de diseño eléctrico de la infraestructura que se adecuará para el funcionamiento del Colegio **I.E.M LUIS DELFÍN INSUASTY RODRIGUEZ INEM SEDE CENTRAL** ubicado en la ciudad de **PASTO-NARIÑO**. Se atienden los aspectos de infraestructura eléctrica, sistemas de cableado estructurado, sistemas de puesta a tierra entre otros aspectos necesarios para el correcto y seguro funcionamiento de la institución, todo basado en normativa aplicable y correctas prácticas de diseño.

Para tener un fácil manejo y acceso a la información referente al diseño eléctrico de éste proyecto, el mismo se ha organizado en carpetas que se adjuntan con este documento como archivos anexos. En dichas carpetas se encontrará toda la información pertinente respecto a cuadros de carga, reportes de diseño de iluminación, diseño del sistema de puesta a tierra (SPT) y demás información de interés tanto para los organismos de inspección y control, constructores e ingenieros de obra y propietarios del proyecto.



# 1 OBJETIVO GENERAL

Elaboración de diseños detallados, especificaciones técnicas, cantidades de obra y presupuesto del colegio **I.E.M LUIS DELFÍN INSUASTY RODRIGUEZ INEM SEDE CENTRAL** ubicado en la ciudad de **PASTO-NARIÑO**.

## 1.1 Objetivos específicos

- o Análisis de carga
- o Cálculo de transformador.
- o Análisis del nivel tensión requerido.
- o Distancias de seguridad.
- o Cálculos de regulación.
- o Cálculos de pérdidas de energía.
- o Análisis de cortocircuito y falla a tierra.
- o Cálculo y coordinación de protecciones.
- o Cálculo económico de conductores
- o Cálculos de ductos, (tuberías, canalizaciones, canaletas).
- o Cálculo del sistema de puestas a tierra.
- o Análisis de protección contra rayos.
- o Análisis de coordinación de aislamiento.
- o Análisis de riesgos eléctricos y medidas para mitigarlos.
- o Cálculo de campos electromagnéticos en áreas o espacios cercanos a elementos con altas tensiones o altas corrientes donde desarrollen actividades rutinarias las personas.
- o Cálculo de iluminación.
- o Diagrama unifilar.
- o Planos eléctricos de construcción

## 2 METODOLOGÍA, NORMAS, CÓDIGOS Y PROTOCOLOS DE PROCEDIMIENTOS

Las normas, códigos y reglamentos que se tendrán en cuenta para llevar a cabo el diseño, son aplicables a este tipo de proyectos y se indican a continuación:

- Norma Técnica Colombiana (NTC 2050)
- Resolución No. 90708 de agosto 30 de 2013. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE.
- Resolución 180540 de 10 marzo de 2010. Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP.
- Norma Técnica Colombiana NTC 4552. Protección contra Descargas Eléctricas Atmosféricas (Rayos).
- Normas del operador de red de la región CEDENAR y a modo de referencia la base de datos LIKINORMAS del operador de red CODENSA

Todos los materiales y equipos a instalar deben estar certificados por la autoridad competente conforme a sus fichas técnicas y certificados de conformidad. Para efectos de diseño también es válido el uso de normas internacionales reconocidas como las normas ANSI, IEE, IEC, NFPA 70, NEC, etc. con el fin de mejorar el proceso de diseño y resolver cualquier tipo de inquietud.

Una vez definida la normativa aplicable al proyecto, como primer paso se realiza un diseño de iluminación y se propone una distribución y ubicación de luminarias y tomas, todo esto bajo consideración de la norma NTC 2050. Posteriormente se efectúa el estudio de balance de estas cargas, para luego realizar el cálculo de alimentadores, acometidas y el dimensionamiento de transformadores, plantas y red eléctrica.

Los protocolos de procedimiento para pruebas, ensayos y aprobación de salidas en obra, deberán cumplir con las normas establecidas por RETIE, RETILAP Y NTC, como también las recomendaciones establecidas por el fabricante; todo esto debe ser avalado entre la interventoría y constructor en obra.

### 3 INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

#### 3.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

Área del proyecto:	1245.17 m <sup>2</sup>
Nombre del Proyecto	I.E.M LUIS DELFÍN INSUASTY RODRIGUEZ INEM SEDE CENTRAL
Altitud (metros sobre el nivel del mar):	2600 m.s.n.m.
Ubicación:	Latitud (1°12'24.08"N), Longitud (77° 17'23.46"O)
Temperatura media:	18° C

**Figura 1 Ubicación del proyecto**



*Fuente: Google Earth*

### 3.2 DISPONIBILIDAD DE ENERGÍA

El servicio de energía eléctrica en la ciudad de **PASTO-NARIÑO** es prestado por el operador de Red (OR) **CEDENAR**, y por lo tanto se presentará ante este operador la información necesaria para realizar los estudios de factibilidad. Dentro de la información relevante que se entregará al OR, se incluye el dimensionamiento de la carga requerida y a modo de referencia una subestación tipo si la misma llegase a ser necesaria para la implementación del proyecto.

## 4 ANÁLISIS DE CARGA

Teniendo en cuenta el diseño eléctrico de las diferentes áreas contractuales, se realizó un resumen de la carga eléctrica que se encuentra en los planos eléctricos y cuadros de carga como se muestra en los siguientes numerales. Para mayor detalle se puede consultar esta información en los anexos 1 y 2 del presente proyecto.

### 4.1 CARGA NORMAL Y REGULADA

Para las cargas correspondientes a tomas normales de uso general, se dispondrá de tableros de distribución trifásicos, bifásicos, o monofásicos según la necesidad. De éstos mismos tableros se alimentan las UPS's las cuales a su vez alimentan los tableros regulados y estos finalmente alimentan las tomas reguladas.

De acuerdo con la norma NTC 2050, en los artículos **220-3-c) y 220-16** se establece que para las salidas de tomacorrientes sencillos o dobles se debe considerar una carga no inferior a **180 VA** por salida. Dado que para las tomas reguladas no se establece ningún valor de referencia en la NTC 2050, se tomará como criterio de diseño un valor de **250 VA** por cada salida regulada; esto corresponde a la potencia promedio de un computador. Otros equipos que necesitan alimentación de salidas reguladas son los Access-Point y el rack de comunicaciones y para estos equipos en particular se tomará un criterio de diseño de **50 VA** (Access-Point) y **800 VA** (RACK DE COMUNICACIONES).

### 4.2 SISTEMA DE ILUMINACIÓN

El sistema de iluminación fue concebido de tal forma que se diera cumplimiento a todo lo establecido en la norma RETILAP y por lo tanto en el capítulo 17 del presente

informe (Diseño de iluminación) se detalla sobre los criterios utilizados para realizar el diseño, por lo pronto en el presente capítulo se muestra la referencia de luminarias utilizadas con su respectiva potencia para efecto de dimensionamiento de la carga como se muestra a continuación:

**Tabla 1 Descripción de luminarias usadas**

DESCRIPCIÓN DE LA LUMINARIA	SISTEMA	TENSIÓN (V)	POTENCIA (W)
ELECTROCONTROL FLUORESCENTE IMPERIO 2*28 W	1F	120	56
ELECTROCONTROL FLUORESCENTE IMPERIO 2*54 W	1F	120	108
SYLVANIA PANEL LED DE 18 W	1F	120	18
SAGELUX EVOLUTION EVO-400 3W	1F	120	3
HIGH LIGHTS REFLECTOR JOLLY 150w	2F	240	150

*Fuente: Unelca SAS*

Para las cargas correspondientes a salidas de iluminación, se dispondrá de tableros de distribución trifásicos, bifásicos, o monofásicos según la necesidad. La carga de iluminación vendrá proporcionada por los mismos tableros de distribución de la carga de tomas, sin embargo, tanto los circuitos ramales de tomas como de iluminación se manejarán de forma independiente.

### 4.3 CARGAS ESPECIALES

#### 4.3.1 Bombas para agua potable

De acuerdo a las especificaciones técnicas suministradas por los diseñadores hidráulicos, se instalarán dos bombas en paralelo, cada una con una potencia para el 100% del caudal total y cada bomba tendrá una potencia de 1.5 HP. A continuación se presenta un resumen de parámetros para la bomba de agua potable:

**Tabla 2 Características bombas de agua potable**

CARACTERÍSTICAS BOMBA DE AGUA POTABLE	
# de fases ( $\emptyset$ )	1

VL (V)	120
Potencia (HP)	1.5
Potencia (KW)	1.12
FP	0.85
Potencia (KVA)	1.31
IL (A)	11
Corriente al 125 %	14

*Fuente: Unelca SAS*

## 5 ANÁLISIS DE NIVEL DE TENSIÓN REQUERIDO

El voltaje actual en Media Tensión suministrado por el Operador de Red CEDENAR empresa autorizada por el Ministerio de Minas y Energía como comercializadora y distribuidora del suministro de Energía en la ciudad de **PASTO-NARIÑO** es de 13200 V. De otra parte el sistema de tomas normales e iluminación requiere una tensión de 120 V que es la tensión normalizada y adicionalmente pueden existir algunas cargas bifásicas y trifásicas que funcionan con una tensión de línea de 208 V.

En consideración a lo mencionado anteriormente, se requiere un sistema trifásico en baja tensión (BT) de 208 V entre fases y de 120 V respecto al neutro y por lo tanto se necesitará de un transformador trifásico con un nivel de tensión de 13200 V en el lado de alta tensión (AT) y 208/120 V en el lado de BT. En la actualidad la institución educativa **INEM-DE PASTO** ya cuenta con una subestación propia con las características mencionadas anteriormente.

## 6 CÁLCULO DE LA CARGA TOTAL

De acuerdo a los análisis realizados en las secciones anteriores, las cantidades plasmadas en los planos y la elaboración de los cuadros de carga, se conoce la totalidad de las cargas y el nivel de tensión requerido y por lo tanto se procede a calcular la carga total demanda de la siguiente manera:

**Tabla 3 Resumen de cargas**

RESUMEN DE CARGAS POR SALIDAS TABLERO DE TRANSFERENCIA (TRANSF) 3F; 208-120 V; 60 Hz I.E.M LUIS DELFÍN INSUASTY RODRIGUEZ INEM DE PASTO					
TIPO DE CARGA	CANTIDADES [UND]	CARGA EN [VA]	CARGA DIVERSIFICADA [VA]	TIPO DE SISTEMA	TENSIÓN [V]
TOMAS NORMALES	74	13320	13320	1F	120
ELECTROCONTROL FLUORESCENTE T5 IMPERIO 2X28 W/120 V	110	6484	6484	1F	120
ELECTROCONTROL FLUORESCENTE T5 IMPERIO 2X54 W/120 V	22	2501	2501	1F	120
SYLVANIA PANEL LED DE 18 W	71	1304	1304	1F	120
REFLECTOR JOLLY HIGH LIGHTS	4	612	612	2F	208
LAMPARA DE EMERGENCIA SAGELUX EVO 400	18	54	54	1F	120
BOMBAS DE AGUA POTABLE	2	1316	1316	1F	120
UPS DE 10 KVA	1	10000	10000	1F	120
<b>TOTAL</b>		35592	35592		

**NOTA:** LOS FACTORES DE DEMANDA APLICADOS HAN SIDO TOMADOS DE LA NORMA NTC-2050 EN LOS ARTÍCULOS 220-10 AL 220-41 Y 430-24 AL 430-26

*Fuente: Unelca SAS*

En la anterior tabla se muestra el resumen de la carga instalada en el tablero y al sumar esta carga junto con las bombas de agua potable, se obtiene la totalidad de la carga para la nueva implantación del colegio que es de **35.5 KVA**.

Puesto que para este proyecto en particular se cuenta con una subestación propia existente de **500 KVA**, la cual cuenta con la reserva suficiente para la necesidad del proyecto, se plantea que la acometida para el nuevo proyecto sea en baja tensión y derivando de esta subestación. Adicionalmente la subestación de **500 KVA** existente se encuentra a una distancia cercana del proyecto y por lo tanto es la mejor opción.

## 7 CÁLCULO DE LA PLANTA DE EMERGENCIA

### 7.1 PLANTA DE CIRCUITOS ESENCIALES

Por las características propias y requerimientos del proyecto, se instalará una planta de emergencia para alimentar algunas cargas esenciales de acuerdo con lo estipulado en el documento **requisitos mínimos de construcción, numeral 16.7.9**, donde se especifica que se debe instalar una planta de emergencia para dar suplencia al equipo hidroneumático, los circuitos de neveras, un circuito en el aula múltiple y zonas administrativas. De acuerdo con la implantación arquitectónica y la información suministrada, este proyecto cuenta con equipo hidroneumático para para los sistemas de agua potable.

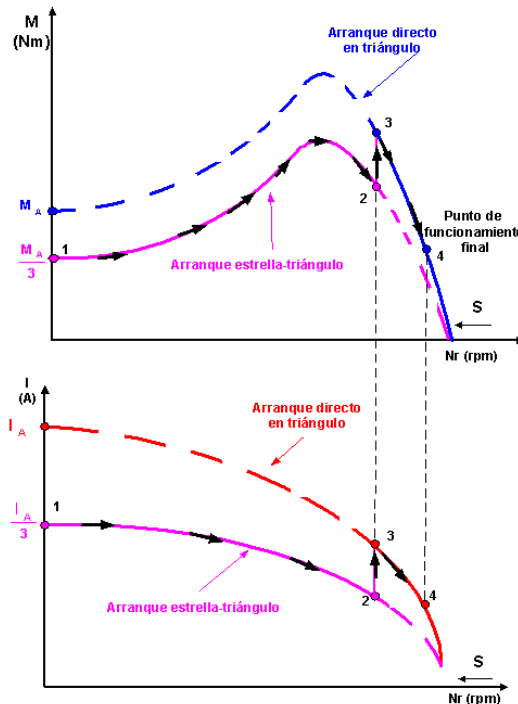
Finalmente, dado que la nueva implantación del **INEM** no necesita cocinas, área administrativa y aulas múltiples, las únicas cargas a las que se requiere dar suplencia por planta serán las dos bombas de agua potable que en conjunto suman **1.32 KVA**.

## 7.2 PLANTA DE RED CONTRA INCENDIOS

Por las características propias y requerimientos del proyecto, se instalará una planta de emergencia para alimentar la red contra incendios. Para el cálculo de la planta se tuvo en cuenta el arranque de la bomba principal, ya que tiene una carga significativa y por lo tanto en el proceso de arranque del motor, demanda un consumo mayor para la planta.

La red contra incendios demanda una carga de **8.4 KVA** y asumiendo que el método de arranque para esta bomba sea mediante un arrancador estrella-triángulo, la corriente puede llegar a incrementarse hasta **2.3 veces** la corriente nominal aproximadamente como se demuestra a continuación.

Grafica 1 Par y corriente de arranque en motores mediante arrancador estrella-triángulo



Fuente: Unelca SAS



De acuerdo con a la teoría de máquinas eléctricas, la corriente de arranque de un motor puede llegar a ser entre 7 y 8 veces la corriente nominal del motor y como lo muestra la gráfica anterior, usando un método de arranque estrella-triángulo, la corriente de arranque puede reducirse a una tercera parte de la corriente de arranque directo y por lo tanto se puede deducir lo siguiente:

CORRIENTE DE ARRANQUE DIRECTO  $I_{a\_directo} = 7I_n$

CORRIENTE DE ARRANQUE EN ESTRELLA-TRIANGULO

$$I_{a\_Y\Delta} = \frac{I_{a\_directo}}{3} = \frac{7I_n}{3} = 2.3I_n$$

Por lo tanto, durante el proceso de arranque y suponiendo que se implementará un arrancador estrella triángulo, el motor demandará una corriente de arranque de **54 A** que equivale a una potencia de **19.3 KVA** para un sistema trifásico y por lo tanto la planta deberá ser capaz de asumir esta carga.

Finalmente se aplica un factor de corrección por altitud para la selección de la planta puesto que su eficiencia se ve afectada de acuerdo a la altura del sitio de instalación. Según las recomendaciones dadas por los fabricantes de plantas eléctricas, por cada 100 m sobre el nivel del mar, la planta pierde el 0.38 % de su carga o potencia nominal, y por lo tanto como el proyecto se encuentra a una altitud de 2600 m, la planta pierde un 10 % de su capacidad. Adicionalmente si la planta se propone encabinada, perderá un 3% adicional y así el cálculo de la planta eléctrica queda de la siguiente forma:

**Tabla 4 Carga demandada planta de emergencia de red contra incendios**

CARGA TOTAL DEMANDADA POR LA PLANTA DE EMERGENCIA	
RED CONTRA INCENDIOS (RCI)	19.3 KVA
CARGA REAL DEMANDA PARA LA PLANTA	19.3 KVA
CORRECCIÓN POR ENCABINADO DE LA PLANTA	3%
CORRECCIÓN POR ALTITUD (2527m)	10%

TOTAL	21.81 KVA
-------	-----------

Fuente: Unelca SAS

Para suplir la carga demanda se buscó en catálogos de fabricantes una planta de emergencia con las especificaciones técnicas requeridas. En el Anexo Fichas técnicas se encuentran las especificaciones detalladas de la planta seleccionada y a continuación se resumen las principales características.

Tabla 5 Planta de emergencia seleccionada de red contra incendios

PLANTA DE EMERGENCIA SELECCIONADA	
Potencia activa (KW)	25
Potencia aparente (KVA)	30
Factor de potencia	0.8
Tensión nominal (V)	220/440 Acorde a la necesidad del cliente
Tipo de sistema	Trifásico de 4 hilos

Fuente: Unelca SAS

**NOTA:** Se debe resaltar el hecho de que el contratista puede consultar y seleccionar la planta de cualquier otro fabricante siempre y cuando tenga características similares o superiores a las especificadas.

## 8 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE CONDUCTORES

### 8.1 CORRIENTE EN CIRCUITOS RAMALES, ALIMENTADORES, ACOMETIDAS Y CAPACIDAD DE CORRIENTE ADMISIBLE PARA LOS CONDUCTORES SELECCIONADOS

Como criterio fundamental para la selección de conductores se debe establecer claramente la carga en cada circuito ramal, alimentador y acometida con sus parámetros básicos como lo son el factor de potencia y el número de fases

(monofásica, bifásica o trifásica). A continuación, se muestran las fórmulas básicas para el cálculo de corriente en los diferentes sistemas.

- Circuito monofásico y bifásico:  $I_0 = \frac{P}{V_L \cdot FP}$
- Circuito trifásico:  $I_0 = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot FP}$

Donde

lo: Corriente que circula por el circuito

$V_L$ : Tensión de línea del sistema

P: Potencia activa de la carga

FP: Factor de potencia de la carga

De acuerdo a lo establecido en la norma NTC 2050, los circuitos ramales, alimentadores o acometidas deben tener una capacidad nominal del 100% de la carga no continua más un 125% de la carga continua, de tal forma que la corriente nominal del circuito se calcula así:

$$I_n = I_0 \cdot 1.25$$

Donde

lo: Corriente que circula por el circuito

$I_n$ : Corriente nominal del circuito

Por lo tanto, los conductores deben tener una capacidad de corriente sin aplicar ningún factor de ajuste igual o mayor a la corriente nominal del circuito ( $I_n$ ) y así establecer el calibre mínimo de los conductores. A continuación, se explicarán los ajustes realizados por regulación, pérdidas de energía y distorsión armónica.

**NOTA:** Para ver detalles de los cálculos en los diferentes circuitos ramales, alimentadores y acometidas del proyecto, ver el Anexo 2-Cuadros de carga.

## 8.2 FACTORES DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA AMBIENTE Y NÚMERO DE CONDUCTORES ACTIVOS POR CANALIZACIÓN

En general cuando la temperatura ambiente aumenta o el número de conductores que transportan corriente en una canalización es mayor a 3, la capacidad de corriente del conductor seleccionado disminuye y se deberán aplicar los factores de corrección

establecidos en las tablas de la sección 310-15 de la norma NTC 2050 como se muestra a continuación.

**Tabla 6 Factores de corrección por temperatura ambiente**

FACTORES DE CORRECCION							
Temperatura ambiente en °C	Para temperaturas ambientes distintas de 30°C (86°F), multiplicar las anteriores intensidades por el correspondiente factor de los siguientes						Temperatura ambiente en °F
21-25	1,08	1,05	1,04	1,08	1,05	1,04	70- 77
26-30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	78- 86
31-35	0,91	0,94	0,96	0,91	0,94	0,96	87- 95
36-40	0,82	0,88	0,91	0,82	0,88	0,91	96-104
41-45	0,71	0,82	0,87	0,71	0,82	0,87	105-113
46-50	0,58	0,75	0,82	0,58	0,75	0,82	114-122
51-55	0,41	0,67	0,76	0,41	0,67	0,76	123-131
56-60	....	0,58	0,71	....	0,58	0,71	132-140
61-70	....	0,33	0,58	....	0,33	0,58	141-158
71-80	....	....	0,41	....	....	0,41	159-176

Fuente: NTC 2050

**Tabla 7 Factores de corrección por número de conductores portadores de corriente**

#### 8. Factores de ajuste.

**a) Más de tres conductores portadores de corriente en un cable o canalización.** Cuando el número de conductores portadores de corriente en un cable o canalización pase de tres, la capacidad de corriente se debe reducir como se indica en la siguiente tabla.

Número de conductores en tensión	Porcentaje del valor de los Cuadros, 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

Fuente: NTC 2050

**NOTA:** Para ver detalles de los cálculos en los diferentes circuitos ramales, alimentadores y acometidas del proyecto, ver el Anexo 2-Cuadros de carga.

### 8.3 CÁLCULOS DE REGULACIÓN

Las siguientes fórmulas para cálculos de regulación fueron tomadas de catálogos de fabricantes de cables como Centelsa y Procables.

- Sistema monofásico y bifásico

$$\Delta V(\%) = \frac{2 \cdot I_L \cdot Z \cdot l \cdot}{1000 \cdot V_L \cdot n} * 100$$

- Sistema trifásico

$$\Delta V(\%) = \frac{\sqrt{3} \cdot I_L \cdot Z \cdot l \cdot}{1000 \cdot V_L \cdot n} * 100$$

Donde

$I_L$ : Corriente de línea que circula por el circuito

$V_L$ : Tensión de línea

Z: Impedancia por kilómetro del cable ( $\Omega$ /Km)

l: Longitud del conductor (m)

n: Número de conductores por fase

En las secciones 210-19, inciso a), Nota 4 y 215-2, inciso b), Nota 2 de la norma NTC 2050, se establece que la caída de tensión desde la salida más alejada de un circuito ramal debe ser igual o inferior al 3% y la caída de tensión combinada de los circuitos alimentador y la salida más alejada de un circuito ramal, no debe exceder el 5%. Cuando un conductor supere estos valores, se debe aumentar un número más su calibre hasta encontrar el calibre apropiado que cumpla los criterios de regulación.

**NOTA:** Para ver detalles de los cálculos en los diferentes circuitos ramales, alimentadores y acometidas del proyecto, ver el Anexo 2-Cuadros de carga.

## 8.4 ANÁLISIS DE ARMÓNICOS (THD)

Es importante tener en cuenta el contenido de corriente de frecuencia distinta a la fundamental (armónicos), ya que en las instalaciones se generan inconvenientes debido a estas corrientes tales como:

- Disminución de factor de potencia.
- Calentamiento en los conductores.
- Aumento de corriente circulante por el neutro
- Operación indeseada de protecciones

Con el fin de seleccionar adecuadamente los conductores cuando existen armónicos en la red, se seguirán los lineamientos establecidos en la norma IEC 60364 y en documentos que tratan el tema. Como primer paso se deben definir las características de las cargas respecto a si son o no lineales y la forma más simple de hacerlo es definir como cargas no lineales todas aquellas que utilizan componentes electrónicos. Para el caso específico de la institución educativa **INEM-DE PASTO**, las principales cargas no lineales son los equipos de cómputo y la carga por iluminación.

Una vez que se ha definido la linealidad o no linealidad de la carga, se debe definir la distorsión armónica (THD) que genera la misma. En teoría este dato debe ser suministrado por los fabricantes de las diferentes cargas (Computadores, luminarias, electrodomésticos electrónicos, controladores para motores, etc.), sin embargo, en la práctica muchas veces este dato no se conoce. En el caso de que no se conozca la THD de un producto, se deberá asumir un valor característico basado en cargas similares o información encontrada.

Para la carga de iluminación se encontró la siguiente información relacionada con las luminarias LED del fabricante SYLVANIA.

Figura 2 Hoja de especificaciones Sylvania

Información para ordenar / Ordering Information\*

ESPECIFICACIONES / SPECIFICATIONS					OPCIONES DE SELECCIÓN ÚNICA / SINGLE CHOICE OPTIONS			MÁS INFORMACIÓN / MORE INFO			
Modelo / Model	Tipo LED / LED type	Cant. Barras LED / LED Bars Qty.	Flujo Lum. / Lum. Flux	Dimensión / Dimension	DIFUSOR / DIFFUSER	INSTALACIÓN / INSTALLATION		Voltaje / Voltage	Consumo / Consumption	Amperaje / Amperage	Lm / W
					Opal	Cielo Susp. / Susp. Ceiling	Gypsum				
505 LED	SMD-S2	2	2340 lm	2x2	•	•	•	120V	23.5W	N/A	100
		4	4700 lm	2x4	•	•	•	120V	47W	N/A	100
		6	7050 lm	2x4	•	•	•	120V	70.5W	N/A	100
		2	4200 lm	2x2	•	•	•	Multivoltaje	36W	510 mA	116
		2	4980 lm	2x2	•	•	•	Multivoltaje	45W	620 mA	110
		3	6300 lm	2x2	•	•	•	Multivoltaje	54W	510 mA	116
		4	6000 lm	2x4	•	•	•	Multivoltaje	50W	350 mA	120
		4	9960 lm	2x4	•	•	•	Multivoltaje	90W	620 mA	110
		6	12600 lm	2x4	•	•	•	Multivoltaje	108W	510 mA	116

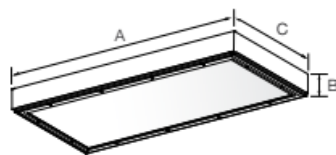
\*Multivoltaje: luminaria atenuable 0-10V / Multivoltage: dimmable fixture 0-10V

\*Nota: para instalación en cielo suspendido "T" Invertida "1" Estándar, cielo suspendido "T" Invertida "Especial" o cielo Gypsum. Consultar con su asesor según instalación requerida.  
\*Note: for suspended ("T" inverted of Tin) installation, suspended ceiling ("Special T" inverted) or Gypsum ceiling. Consult with your sales representative as required installation.

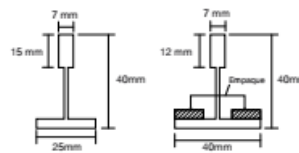
THD Máx. <20%

Dimensiones / Dimensions (mm)

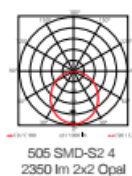
Dimensión Nominal	A (mm)	B (mm)	C (mm)
(2x2)	609	115	604
(2x4)	1220	115	604



T invertida "1" Estándar T invertida cielo Especial



Curva Fotométrica / Photometric Curve



La luminaria opera con una temperatura de color de 4000K. \*Para otras configuraciones a nivel de flujo luminoso y temperatura de color, consultar con su asesor comercial.  
Sylvania se reserva el derecho de modificar y/o cambiar este producto o sus especificaciones técnicas sin notificación previa.  
The fixture operates with a color temperature of 4000K. \*For other configurations in terms of luminous flux and color temperature, consult with your sales representative.  
Sylvania reserves the right to modify and/or change this product or its technical specifications without previous notification.



Fuente: SYLVANIA

Tomada del catálogo de SYLVANIA, en la página <http://www.sylvaniacolombia.com/catalogosled>

Como se evidencia en la figura anterior en el área enmarcada en rojo, el THD para esta luminaria en particular es inferior al **20%** y en general al buscar en otras

familias de referencia se encontró este mismo valor y por lo tanto se tomará este dato como referencia.

Para el caso de los computadores se tomó como referencia el siguiente documento encontrado en la red; <http://www.cmdearcos.es/wp-content/uploads/2013/04/Guia-Calidad-3-5-1-Armonicos-Neutro.pdf> . En este documento se establece que para sistemas trifásicos la corriente por el neutro puede ser 1.61 veces la corriente de fase para cargas de ordenadores que es equivalente a un THD del **50%** aproximadamente y por lo tanto se tomará este valor como referencia.

Una vez conocida la THD de las diferentes cargas, se procede a aplicar los factores de corrección de los conductores de acuerdo a la siguiente tabla tomada del mismo documento y que está basada en la norma IEC 60364.

**Tabla 8 Factores de corrección para cables que transportan corriente triple-N**

Corriente de línea del 3 <sup>er</sup> armónico (%)	Valor seleccionado basado en la corriente de <b>línea</b>	Valor seleccionado sobre la base de la corriente del <b>neutro</b>
0-15	1,00	-
15-33	0,86	-
33-45	-	0,86
> 45	-	1,00

*Fuente: CEDIT*

Como resultado de la aplicación de los factores anteriores se tiene que será suficiente con mantener el calibre del neutro igual al de las fases en los alimentadores de los tableros de distribución. En general no se recomienda disminuir el calibre del neutro ni compartir el neutro de diferentes circuitos ramales, a menos que se demuestre que la carga es lineal y balanceada.

## **8.5 SELECCIÓN ECONÓMICA DE CONDUCTORES**

Para la determinación de la sección económica de un conductor para un cierto circuito, sea en baja o media tensión, es recomendable utilizar la norma IEC 60287-3-2.

De acuerdo con IEC 60287-3-2:

- o Para combinar los costos de compra e instalación con los costos de pérdidas de energía que surgen durante la vida económica de un cable, es necesario expresarlos en valores económicos comparables, que son los

que se refieren al mismo punto en el tiempo. Además, resulta conveniente usar la fecha de compra de la instalación en este punto y referirlo como "presente". Los costos "futuros" de las pérdidas de energía, son entonces convertidos a su equivalente "valor presente". Esto, es realizado por el proceso de amortización, y la tasa de amortización está ligada al costo del dinero.

- o Para calcular el valor presente del costo de las pérdidas es necesario elegir valores apropiados al futuro desarrollo de la carga, aumentos anuales del precio de kWh y una tasa de descuento anual durante la vida económica del cable, que podría ser de 25 años o más.
- o Es sabido que, cuanto menor la sección nominal de un conductor eléctrico, menor es su costo inicial de adquisición e instalación y mayor es su costo operativo durante su vida útil.

De este modo, el costo total para instalar y operar un cable durante su vida económica, expresado en valores presentes, es calculado según la siguiente ecuación:

Costo Total=CT=CI+CJ

Dónde:

CI es el costo inicial de una longitud de cable instalado; CJ es el costo operativo equivalente en la fecha en que la instalación fue adquirida, es decir, el valor presente, de las pérdidas por calentamiento durante la vida considerada.

El considerar la sección económica de un conductor eléctrico, es un enfoque muy ventajoso por lo general y, particularmente, en los siguientes casos:

- o En circuitos con secciones nominales  $\geq 2/0$  AWG obtenidas por el dimensionamiento técnico
- o En circuitos que funcionan muchas horas por año, con corrientes que no presentan grandes variaciones
- o En circuitos donde el criterio de dimensionamiento técnico que prevaleció fue el de capacidad de conducción de corriente. En este caso, se obtuvo la menor sección nominal posible y, en consecuencia, la mayor resistencia eléctrica y pérdida de energía.

Una ventaja adicional del dimensionamiento de un conductor por el criterio económico, es que habrá un aumento de su vida útil, debido al hecho de que el cable trabaja a menores temperaturas. Además, el conductor presentará un mejor comportamiento en relación a las corrientes de sobrecarga y cortocircuito.

Para el caso particular del colegio **INEM DE PASTO**, se realizará el análisis de cálculo económico de conductores para la acometida principal que sale desde el



**TGA existente** hasta el nuevo TGA proyectado. Procediendo con la información obtenida para el proyecto, se realiza la siguiente tabla resumen de los resultados de cálculo obtenidos:

**Tabla 9 Tabla de Calculo Económico de Cables**

Tabla Cálculo económico cables. Resumen de Cálculos							
Criterio	Sección Nominal	CI		CJ [en 20 años]		CT [en 20 años]	
		(\$)	%(ec/tec)	(\$)	%(ec/tec)	(\$)	%(ec/tec)
Económico	1X500 MCM	\$11.916.000,00	250%	\$ 4.195.210	33%	\$ 16.111.210,00	92%
Técnico	2X1/0 AWG	\$ 4.770.000,00	100%	\$ 12.752.406	100%	\$ 17.522.406,00	100%

*Fuente: Unelca SAS*

En la tabla se observa que para el costo inicial de instalar una acometida de calibre 500 MCM que es el resultado del dimensionamiento económico, es un 250 % más costoso que instalar una acometida de calibre 2(1/0)x(F) AWG que es el resultado del dimensionamiento técnico.

Adicionalmente el cable 500 MCM presenta un costo de pérdidas por efecto Joule de un 33 % de lo que representarían las pérdidas para la acometida de calibre 2(1/0)x(F) AWG en un periodo proyectado de 20 años y finalmente al comparar los costos totales, el cable dimensionado por el criterio económico tiene un costo total inferior del 8 % sobre el cable dimensionado por el criterio técnico.

A continuación se muestra el periodo de retorno de las inversiones:

- Diferencia entre los costos iniciales por los criterios técnico y económico.

$$\$11\,916\,000 - \$4\,770\,000 = \$7\,146\,000$$

- Diferencia entre los costos (llevados a valor presente) de pérdidas por efecto joule por los criterios técnico y económico.

$$\$12\,752\,406 - \$4\,195\,210 = \$8\,557\,196 \text{ en 20 años } \rightarrow 427\,859 \text{ por año}$$

- Período de retorno de la inversión

$$\$7\,146\,000 / \$427\,859 = \mathbf{17 \text{ años}}$$

A pesar de que el conductor calculado por el criterio económico tiene un costo total 8 % menor que el conductor seleccionado por el criterio técnico, el periodo de retorno de la inversión es muy largo, lo cual no lo hace atractivo, además el conductor económico es de un calibre mucho mayor que el técnico, lo cual lo hace que sea de mayor dificultad y complejidad para instalar en obra.

Después de haber realizado el análisis anterior se concluye que el conductor seleccionado por el criterio técnico es la mejor opción y por lo tanto la acometida principal finalmente será:

**SISTEMA 3Ø [2N°1/0X(F)+ 2N°1/0X(N)+ 1N°6X(T)] AWG Cu LS-HF**

## 9 CÁLCULO DE CANALIZACIONES

### 9.1 TUBERÍAS

Las tuberías a utilizar en el proyecto eléctrico se escogieron teniendo en cuenta los conductores que se seleccionaron de acuerdo a todos los factores combinados explicados en la sección anterior y así se usaron las siguientes tablas del apéndice C de la norma NTC 2050 para la selección de ductos:

**Tabla 10 Tabla de Número Máximo de Conductores por Ducto**

CALIBRE	Número Máximo de Conductores por Ducto (Tabla C11 de NTC 2050)											
	1/2 "		3/4 "		1"		1,5"		2"		3"	
	THW o THW-2	THHN	THW o THW-2	THHN	THW o THW-2	THHN	THW o THW-2	THHN	THW o THW-2	THHN	THW o THW-2	THHN
14 AWG	11	16	18	27	31	44						
12 AWG	8	11	14	19	24	32						
10 AWG	6	7	10	12	18	20	38	44				
8 AWG	3	4	6	7	10	12	21	25	33	40		
6 AWG	1	3	3	5	6	8	13	18	20	28	45	64
4 AWG	1	1	2	3	4	5	9	11	15	17	33	39
2 AWG	1	1	1	1	3	3	7	8	11	12	24	28
1 AWG	1	1	1	1	1	2	5	6	7	9	17	21
1/0 AWG	1	1	1	1	1	2	4	5	6	8	14	17
2/0 AWG	0	1	1	1	1	1	3	4	5	6	12	14
3/0 AWG			1	1	1	1	3	3	4	5	10	12
4/0 AWG			1	1	1	1	2	3	4	4	9	10
250 kcmil					1	1	1	2	3	3	7	8
300 kcmil					1	1	1	1	2	3	6	7
350 kcmil					1	1	1	1	2	2	5	6
400 kcmil					1	1	1	1	1	2	5	5
500 kcmil					0	0	1	1	1	1	4	4
750 kcmil					0	0	1	1	1	1	3	3
1000 kcmil					0	0	1	1	1	1	1	2

Fuente: NTC 2050

### 9.2 BANDEJAS PORTACABLES

En el cálculo de las bandejas portacables, se tienen en cuenta las normas EIA, TIA, RETIE y recomendaciones de fabricantes sobre porcentajes de ocupación, teniendo en cuenta adicionalmente radios de curvatura y futuros crecimientos.

Para el cálculo de la bandeja portacables, como primer paso se determinó la sección transversal de los cables tanto de comunicaciones como de fuerza y el número total aproximado de cables de cada tipo que irán sobre la bandeja. La siguiente tabla resume estos resultados:

**Tabla 11 Tabla de Cálculo de Bandeja Portacables**

Tipo de cable	Diametro exterior total del cable (mm)	Área del cable (mm <sup>2</sup> )	Número aproximado de cables de este tipo que irán sobre la bandeja	Área total (mm <sup>2</sup> )
UTP CAT 6A	7,2	40,72	28	1140
Cable coaxial	6,7	35,26	11	388
LSHF 12 AWG	3,9	12,19	40	488
LSHF 10 AWG	4,5	16,12	27	435
LSHF 8 AWG	5,7	25,43	28	712
LSHF 6 AWG	6,6	34,52	4	138
LSHF 1/0 AWG	11,9	110,29	8	882
TOTAL				<b>4183</b>

*Fuente: Unelca SAS*

El cálculo de la bandeja se realiza empleando la siguiente formula:

$$S_u(mm^2) = C * R * S(mm^2)$$

Donde:

$S_u(mm^2)$ : Sección útil mínima necesaria para la bandeja

$S(mm^2)$ : Sumatoria en mm<sup>2</sup> de la sección transversal de todos los cables a instalar en la bandeja

C: Coeficiente de llenado. Este coeficiente tiene en cuenta tanto la incapacidad de llenar completamente la bandeja, como la necesidad de dejar un espacio suficiente para la refrigeración de los cables. Este coeficiente puede tomar los siguientes valores:

C= 1.25 para cables de mando

C= 1.45 para cables de potencia

R: Coeficiente de reserva de espacio. Este coeficiente tiene en cuenta la posible futura instalación de más cables en la bandeja. Se aconsejan valores comprendidos entre 1.2 y 1.4.

Dado que los coeficientes de llenado de los cables de potencia son diferentes que para los cables de mando o comunicaciones, se calculará la sección útil por separado y al final se sumarán las dos para así obtener el resultado final. A continuación, se muestra el cálculo:

- $S_u(mm^2)$  PARA CABLES DE POTENCIA

$$S_u(mm^2) = 1.45 * 1.3 * 2655(mm^2) = 5004 mm^2$$

- $S_u(mm^2)$  PARA CABLES DE COMUNICACIONES

$$S_u(mm^2) = 1.25 * 1.3 * 1528(mm^2) = 2483 mm^2$$

- $S_u(mm^2)$  TOTAL

$$S_{u_{TOTAL}}(mm^2) = 5004 + 2483 = \mathbf{7487 mm^2}$$

La siguiente tabla muestra valores de referencia para las dimensiones de la bandeja en función de la sección útil:

**Tabla 12 Tabla de valores para las dimensiones de la bandeja portacables**

Referencia	Sección útil (mm <sup>2</sup> )		
P0610S	60	100	5.320
P0615S	60	150	8.220
P0620S	60	200	11.120
P0630S	60	300	16.920
P0640S	60	400	22.720
P0650S	60	500	28.520
P0660S	60	600	34.400
P0810S	85	100	7.720
P0815S	85	150	11.870
P0820S	85	200	16.020
P0830S	85	300	24.320
P0840S	85	400	32.620
P0850S	85	500	40.920
P0860S	85	600	49.220
P1010S	110	100	10.120
P1015S	110	150	15.520
P1020S	110	200	20.920
P1030S	110	300	31.720
P1040S	110	400	42.520
P1050S	110	500	53.320
P1060S	110	600	64.120

*Fuente: Unelca SAS*

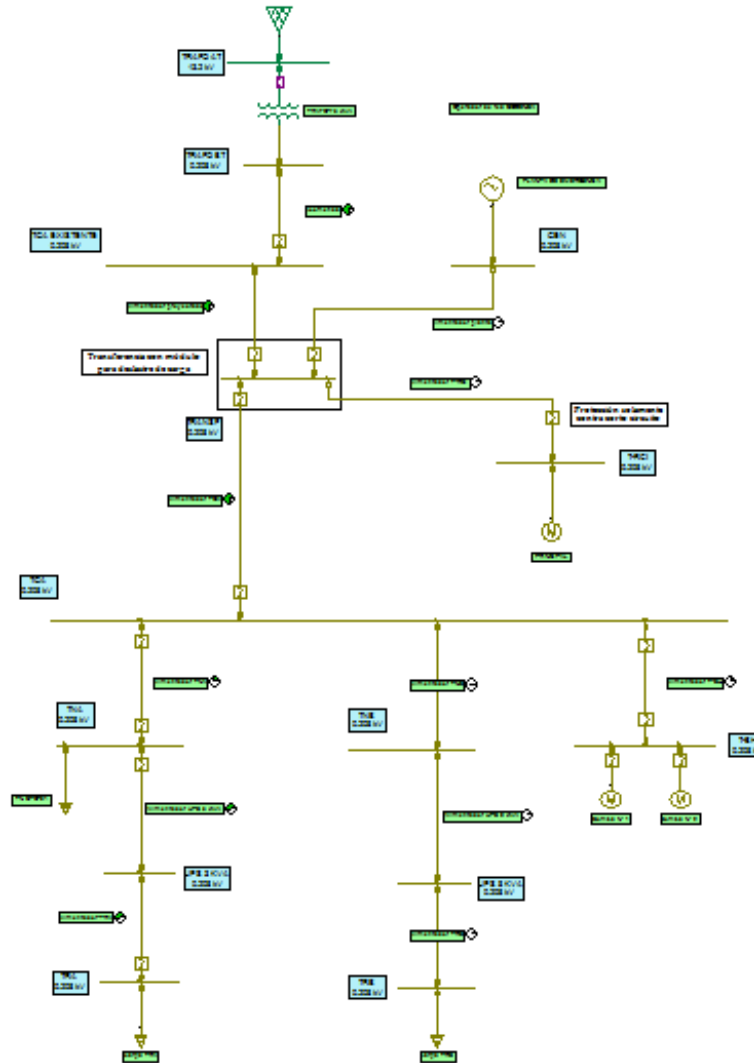
Al revisar en la tabla anterior, observamos que si para nuestro caso particular tenemos una sección útil de **7487 mm<sup>2</sup>**, entonces la referencia de la tabla que nos sirve es la segunda, y por lo tanto la bandeja portacable deberá ser de mínimo **60x150 mm**, pero con el fin de manejar un factor de crecimiento mayor, se selecciona una bandeja de **60x200 mm**.

## 10 SELECCIÓN Y COORDINACIÓN DE PROTECCIONES

### 10.1 ANÁLISIS DE FLUJO DE CARGA

Para realizar el análisis de coordinación de protecciones, se implementó el sistema de potencia en el software NEPLAN. Como primer paso se recopiló toda la información disponible acerca del sistema y con base en esa información y en un diagrama unifilar previo, se implementó el sistema en el software como se muestra en la siguiente figura.

Figura 3 Análisis de flujo de carga en NEPLAN



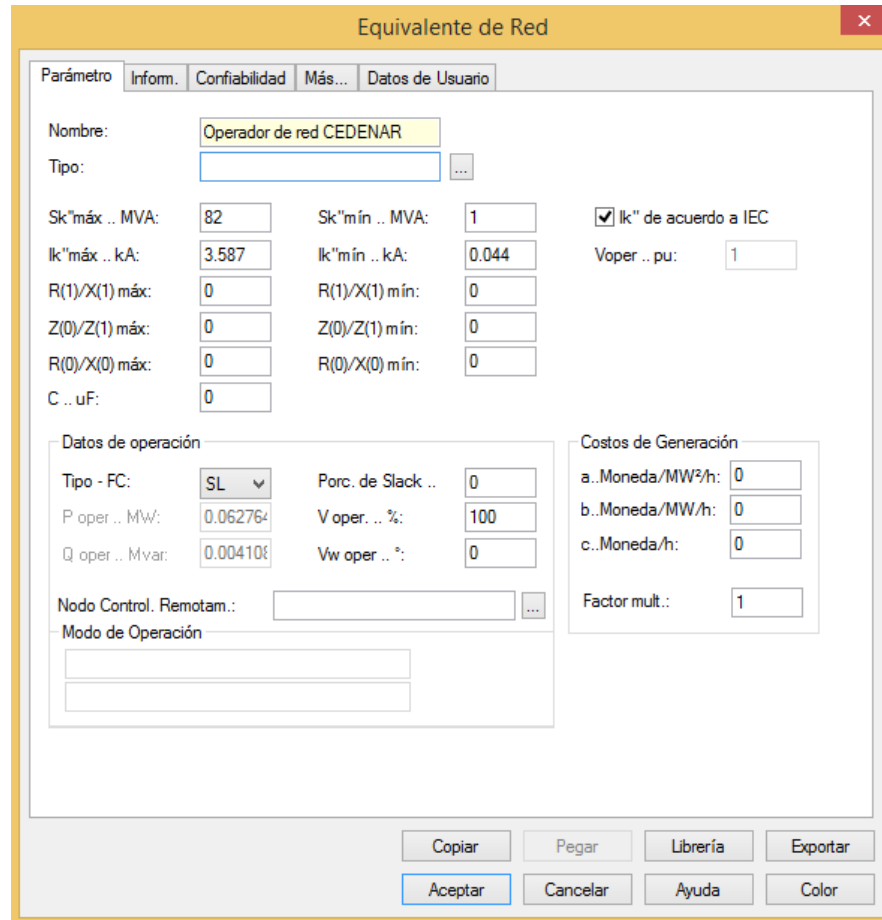
Fuente: Unelca SAS

El equivalente de red se simulo con las corrientes de corto circuito suministradas por el operador de red **CEDENAR** en la subestación **CATAMBUCO**. Para el punto de conexión dado, la corriente de falla trifásica balanceada es de **3.561 KA** y por lo tanto la potencia para el equivalente de red será:

$$S = \sqrt{3}V_L * I_L = \sqrt{3} * 13.2 \text{ KV} * 3.56 \text{ KA} = \mathbf{82 \text{ KVA}}$$

En la siguiente imagen se muestran los parámetros introducidos en el equivalente de red.

Figura 4 Parámetros de equivalencia de red



The screenshot shows a software window titled "Equivalente de Red" with a close button (X) in the top right corner. The window contains several tabs: "Parámetro", "Infom.", "Confiabilidad", "Más...", and "Datos de Usuario". The "Parámetro" tab is active, displaying the following fields and values:

- Nombre: Operador de red CEDENAR
- Tipo: (empty field)
- Sk"máx .. MVA: 82
- Sk"mín .. MVA: 1
- Ik"máx .. kA: 3.587
- Ik"mín .. kA: 0.044
- R(1)/X(1) máx: 0
- R(1)/X(1) mín: 0
- Z(0)/Z(1) máx: 0
- Z(0)/Z(1) mín: 0
- R(0)/X(0) máx: 0
- R(0)/X(0) mín: 0
- C .. uF: 0
- Ik" de acuerdo a IEC
- Voper .. pu: 1

Below these fields are two sections:

- Datos de operación:**
  - Tipo - FC: SL (dropdown)
  - Porc. de Slack ..: 0
  - P oper .. MW: 0.062764
  - V oper .. %: 100
  - Q oper .. Mvar: 0.004108
  - Vw oper .. °: 0
  - Nodo Control. Remotam.: (empty field)
  - Modo de Operación: (empty field)
- Costos de Generación:**
  - a..Moneda/MW<sup>2</sup>/h: 0
  - b..Moneda/MW/h: 0
  - c..Moneda/h: 0
  - Factor mult.: 1

At the bottom of the window are buttons for "Copiar", "Pegar", "Librería", "Exportar", "Aceptar", "Cancelar", "Ayuda", and "Color".

Fuente: Unelca SAS

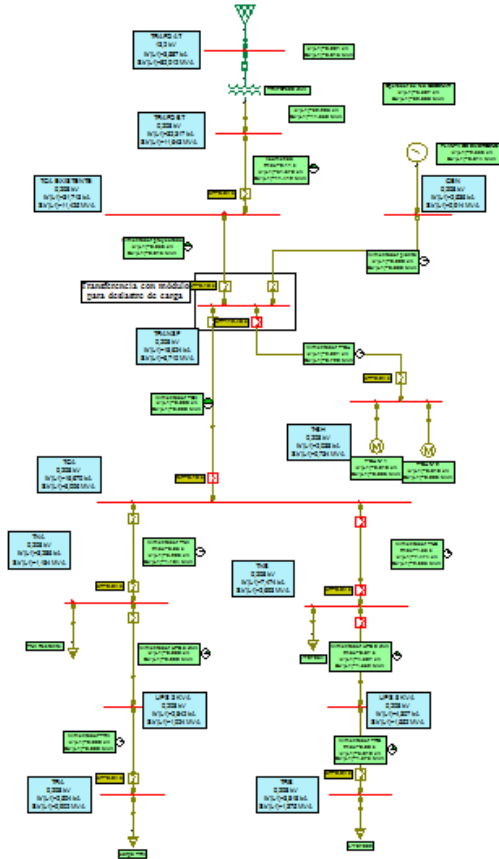
Como primer paso se corrió un flujo de carga para comprobar que las tensiones en los nodos de los respectivos tableros y las corrientes de las acometidas y alimentadores del sistema, estuvieran dentro de los límites esperados. Posteriormente se verificó que las corrientes suministradas por la simulación de flujo de carga estuvieran acordes con las corrientes calculadas en los cuadros de carga.

## 10.2 CÁLCULOS DE CORTO CIRCUITO

El siguiente paso para el análisis es hacer un estudio de corto circuito en los nodos o tableros principales. Para este estudio se tomará en cuenta una falla trifásica, ya que en este caso es cuando se presentan las mayores corrientes de falla en el sistema. La metodología de cálculo utilizada es la de la norma IEC60909 2001. En

la siguiente figura se muestra en color rojo los nodos bajo falla donde se realizó el estudio de corto circuito.

**Figura 5 Análisis de corto circuito en NEPLAN**



*Fuente: Unelca SAS*

En la siguiente tabla se obtiene un resumen de los resultados obtenidos en el análisis de corto circuito. Los valores de la columna que se encuentra resaltada en negro, corresponden a las corrientes de corto circuito en el respectivo nodo.



Tabla 13 Tabla de resumen de análisis de corto circuito

	ID	Ubicación de Falla	Vn	Ik''(RS T)	Alk''(RST)	Falla	Método	Máximo	Red	Retardo Inter.	Duración CC (Ith)	Duración CC (Idc)	Descripción	Zona	Área	Red Parcial
				kA	*	tipo		corrient	tipo	s	s	s				Red
1	282	TGA	0,208	16,67	-30,91	Falla Trifá	IEC60909	✓	ENMALLA	0,020	1,000	0,020		Zona 1	Área 1	1
2	11	TRAF0 BT	0,208	32,31	-84,22	Falla Trifá	IEC60909	✓	ENMALLA	0,020	1,000	0,020		Zona 1	Área 1	1
3	8	TRAF0 AT	13,200	3,587	-45,00	Falla Trifá	IEC60909	✓	ENMALLA	0,020	1,000	0,020		Zona 1	Área 1	1
4	796717	TNA	0,208	3,286	-5,81	Falla Trifá	IEC60909	✓	ENMALLA	0,020	1,000	0,020		Zona 1	Área 1	1
5	796711	UPS 3 KVA	0,208	2,842	-5,02	Falla Trifá	IEC60909	✓	ENMALLA	0,020	1,000	0,020		Zona 1	Área 1	1
6	797269	TRANSF	0,208	18,62	-35,02	Falla Trifá	IEC60909	✓	ENMALLA	0,020	1,000	0,020		Zona 1	Área 1	1
7	797275	GEN	0,208	2,536	-81,47	Falla Trifá	IEC60909	✓	ALIM.SIMP	0,020	1,000	0,020		Zona 1	Área 1	2
8	796726	TRA	0,208	2,504	-4,43	Falla Trifá	IEC60909	✓	ENMALLA	0,020	1,000	0,020		Zona 1	Área 1	1
9	53	TGA EXISTEN	0,208	31,71	-77,49	Falla Trifá	IEC60909	✓	ENMALLA	0,020	1,000	0,020		Zona 1	Área 1	1
10	797891	UPS 8 KVA	0,208	4,307	-7,63	Falla Trifá	IEC60909	✓	ENMALLA	0,020	1,000	0,020		Zona 1	Área 1	1
11	797894	TNB	0,208	7,474	-13,32	Falla Trifá	IEC60909	✓	ENMALLA	0,020	1,000	0,020		Zona 1	Área 1	1
12	797888	TRB	0,208	3,818	-6,76	Falla Trifá	IEC60909	✓	ENMALLA	0,020	1,000	0,020		Zona 1	Área 1	1
13	797956	T-BH	0,208	2,038	-4,48	Falla Trifá	IEC60909	✓	ALIM.MUL	0,020	1,000	0,020		Zona 1	Área 1	1

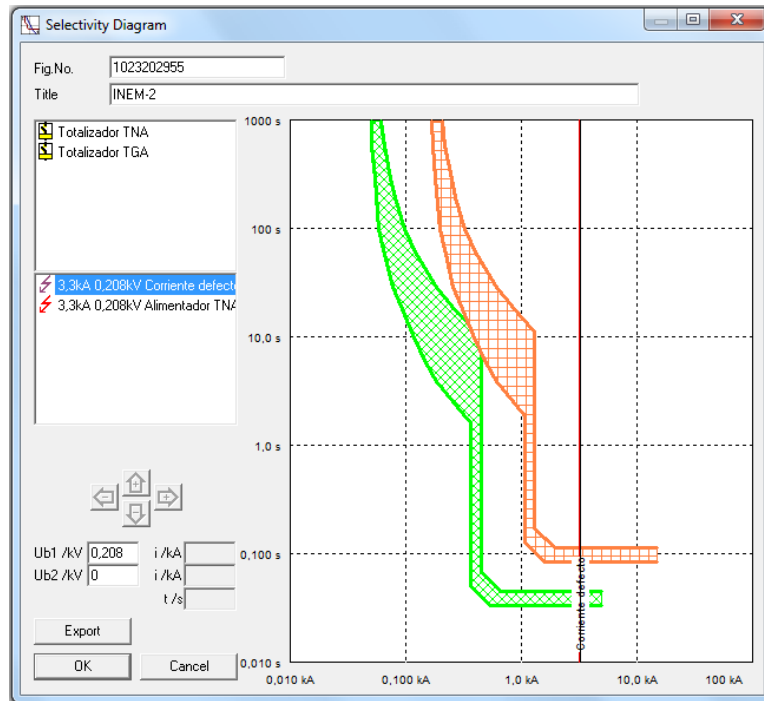
Fuente: Unelca SAS

## 10.3 COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES

### 10.3.1 Coordinación en baja tensión

Para realizar este análisis se tomó como ejemplo el tablero general de acometidas (**TGA**) y se comparó el totalizador del **TGA** con las protecciones de los tableros alimentadores. A continuación se muestra la coordinación entre el totalizador del **TGA** y el totalizador del tablero **TNA**.

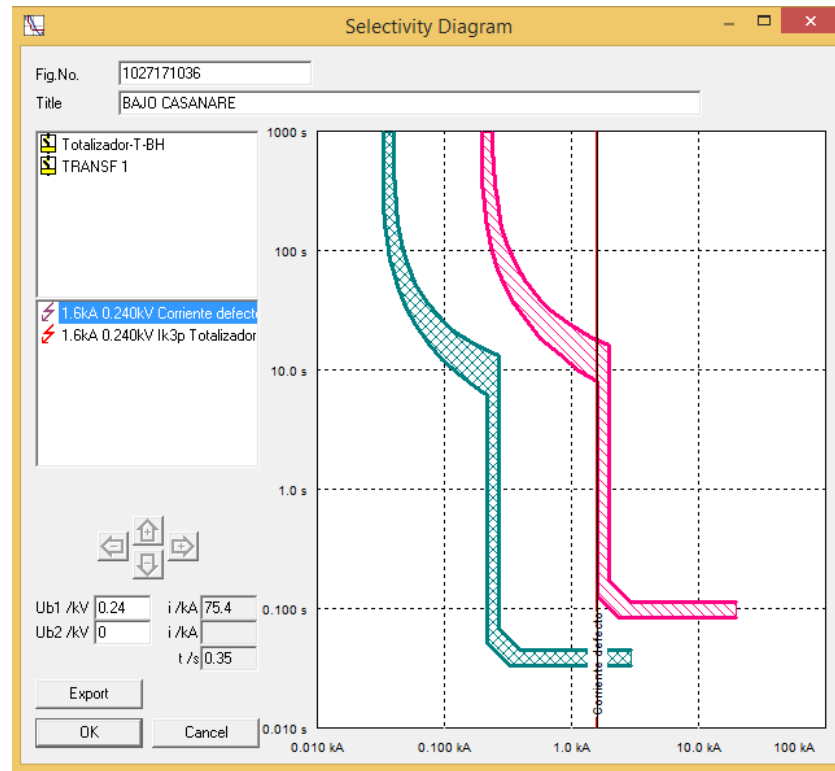
**Grafica 2 Coordinación de la protección del tablero normal y protección de red normal de transferencia**



*Fuente: Unelca SAS*

El siguiente ejemplo de comparación es entre la protección de red normal de la transferencia y el totalizador del tablero de bombas de agua potable (**T-BH**).

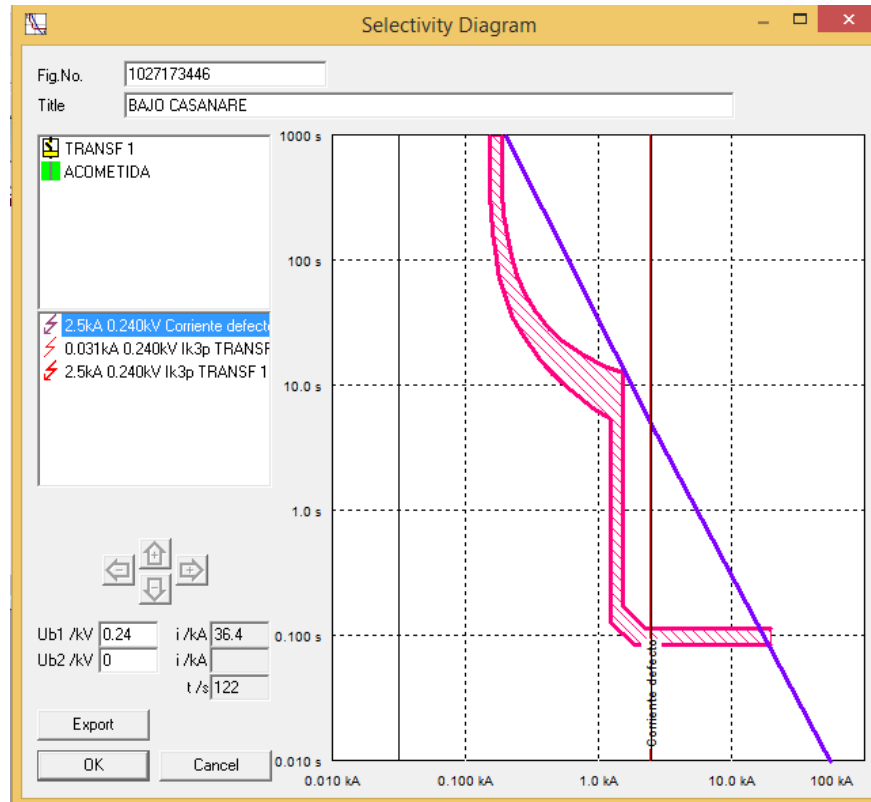
**Grafica 3 Coordinación de la protección de bombas de agua potable y protección de red normal de transferencia**



*Fuente: Unelca SAS*

A continuación, se muestra la comparación entre el totalizador del TGA y la curva de daño de la acometida principal.

**Grafica 4 Coordinación de la protección en interruptor de transferencia y la curva de daño de la acometida principal.**



Fuente: Unelca SAS

La anterior grafica es muy importante porque evidencia que ante una falla en el barraje del **TGA**, la curva de la protección se encuentra por debajo de la curva de daño del cable, y por lo tanto la acometida queda protegida de forma efectiva.

## 11 DISTANCIAS DE SEGURIDAD

Las distancias de seguridad que se han tenido en cuenta en este proyecto son de dos clases: Distancias mínimas en zonas con construcciones y distancias mínimas para trabajos en o cerca de partes energizadas. A continuación, se describirán estos dos tipos de distancias mínimas de seguridad y se verificará que el proyecto cumple con las mismas.

## 11.1 DISTANCIAS MÍNIMAS EN ZONAS CON CONSTRUCCIONES

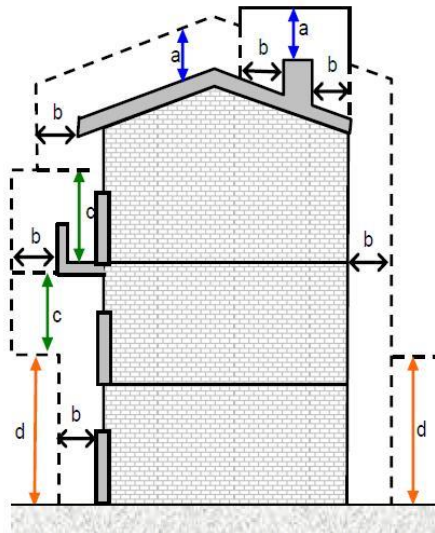
Las distancias mínimas de seguridad que se han tenido en cuenta, se presentan entre la línea de Media Tensión a 13.200 voltios y la nueva edificación proyectada. Según el RETIE, Artículo 13° se define lo siguiente:

**Tabla 14 Distancias mínimas de seguridad en zonas con construcciones**

DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD EN ZONAS CON CONSTRUCCIONES		
Descripción	Tensión nominal entre fases (kV)	Distancia (m)
Distancia vertical "a" sobre techos y proyecciones, aplicable solamente a zonas de muy difícil acceso a personas y siempre que el propietario o tenedor de la instalación eléctrica tenga absoluto control tanto de la instalación como de la edificación (Figura 13.1).	44/34,5/33	3,8
	13,8/13,2/11,4/7,6	3,8
	<1	0,45
Distancia horizontal "b" a muros, balcones, salientes, ventanas y diferentes áreas independientemente de la facilidad de accesibilidad de personas. (Figura 13.1)	66/57,5	2,5
	44/34,5/33	2,3
	13,8/13,2/11,4/7,6	2,3
	<1	1,7
Distancia vertical "c" sobre o debajo de balcones o techos de fácil acceso a personas, y sobre techos accesibles a vehículos de máximo 2,45 m de altura. (Figura 13.1)	44/34,5/33	4,1
	13,8/13,2/11,4/7,6	4,1
	<1	3,5
Distancia vertical "d" a carreteras, calles, callejones, zonas peatonales, áreas sujetas a tráfico vehicular. (Figura 13.1) para vehículos de más de 2,45 m de altura.	115/110	6,1
	66/57,5	5,8
	44/34,5/33	5,6
	13,8/13,2/11,4/7,6	5,6
	<1	5

*Fuente: RETIE*

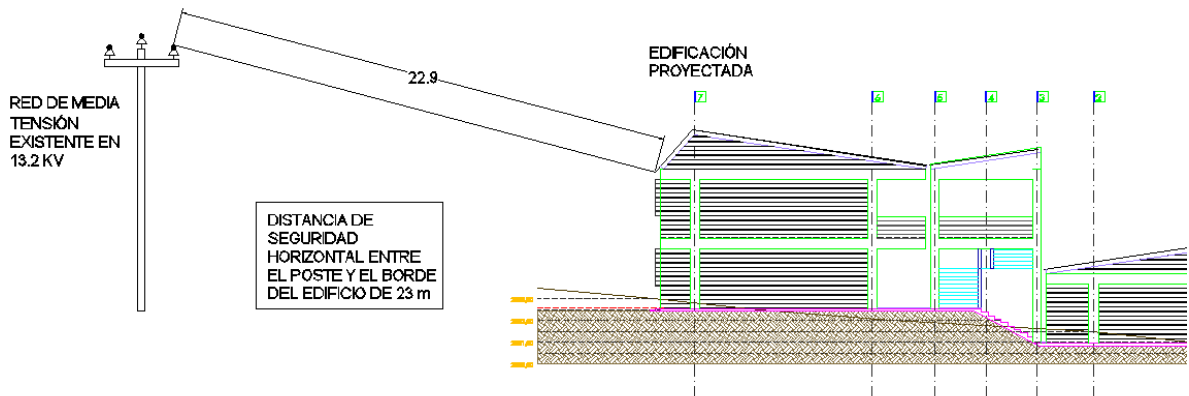
**Figura 6 Distancia de seguridad en zonas con construcciones**



Fuente: RETIE

Teniendo en cuenta los cortes y las diferentes vistas de los planos arquitectónicos, tenemos las siguientes distancias de seguridad entre el edificio a construir y la línea de media tensión existente.

**Figura 7 Corte de subestación para evidenciar distancia de seguridad**



Fuente: Unelca SAS

Según la Tabla 13.1 del RETIE la distancia "b" mínima de seguridad a muros de edificaciones para un voltaje de 13,2 KV y teniendo en cuenta la Figura 5 del RETIE, es de **2.3 metros**. Para el caso específico de la institución educativa **INEM-DE**

**PASTO**, la distancia entre la línea de Media Tensión y la esquina superior del edificio es de **23 metros** con lo cual se garantiza una distancia mayor que la mínima distancia de seguridad solicitada por el RETIE.

## 11.2 DISTANCIAS MÍNIMAS PARA TRABAJOS EN O CERCA DE PARTES ENERGIZADAS

Cuando se requieran hacer trabajos de instalación o mantenimiento en o cerca de partes energizadas, se deben tomar ciertas precauciones y medidas de seguridad que permitan realizar estas labores de manera segura. Adicionalmente se deben tomar medidas para que personas ajenas o visitantes al inmueble no queden expuestos a riesgos eléctricos por no respetar las distancias mínimas de seguridad, por desconocimiento o por operación inadecuada de los administradores del colegio.

Para proteger a las personas, los tableros eléctricos deberán estar dotados de puerta con llave, de tal forma que solo el personal autorizado tenga acceso. Las personas que deban intervenir las partes energizadas por razones de mantenimiento o reparaciones, deberán utilizar equipos de protección personal (EPP) adecuados para el nivel de tensión y energía incidente involucrados. En la tabla 13.6 del RETIE se hace una clasificación por categorías y nivel mínimo de protección de los EPP.

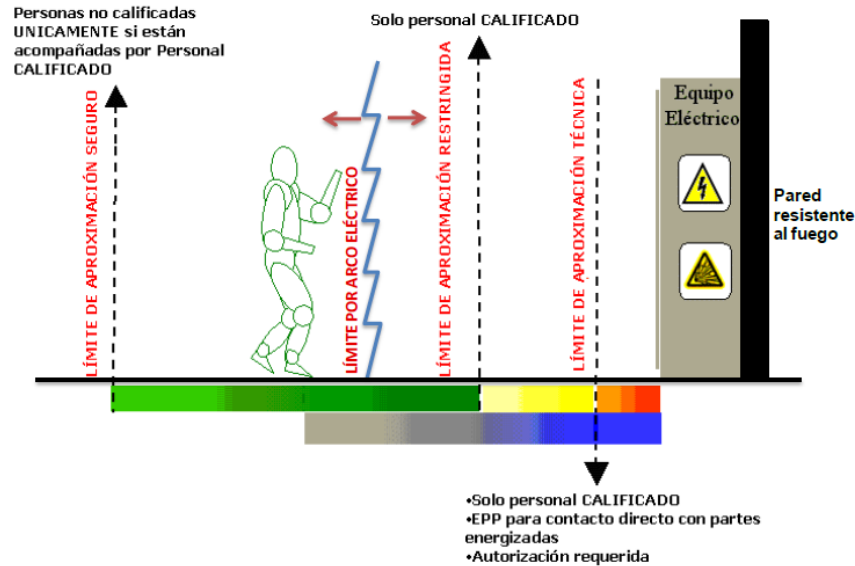
Tabla 15 Nivel de protección térmica según NFPA 70 E

CATEGORÍA	NIVEL MÍNIMO DE PROTECCIÓN Cal/cm <sup>2</sup>
0	Prenda normal de algodón
1	4
2	8
3	25
4	40

*Fuente: RETIE*

En la siguiente figura se presenta un resumen para los conceptos mencionados anteriormente

**Figura 8 Límites de aproximación**



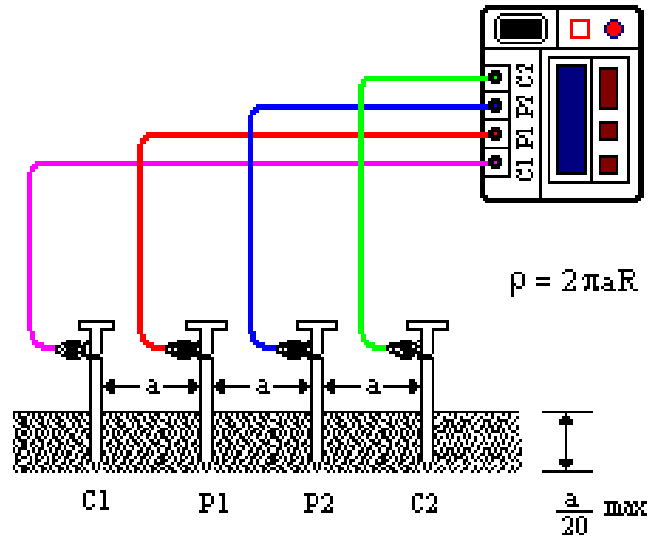
Fuente: RETIE

## 12 DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA (SPT)

Como primer paso para el diseño de un SPT, se debe realizar un estudio de resistividad del terreno para así establecer el modelamiento del mismo. Para obtener la resistividad del terreno se utilizó un telurómetro digital de la marca METREL Modelo 3123 empleando el método de Wenner, el cual consiste en una medición indirecta con el arreglo de los electrodos en cuatro (4) puntos dispuestos en línea recta. Para cada área se tomaron dos (2) ejes de medición donde fue posible, con espaciamientos de 1, 2, 3, 4,5, 6, 7, y 8 metros entre electrodos.



Figura 9 Método de Wenner para análisis de resistividad en suelo



Fuente: Unelca SAS

Las mediciones realizadas con los diferentes espaciamientos permiten evaluar el comportamiento de la resistividad del terreno en función de la profundidad, debido a la distribución de la corriente en forma de hemisferio en el suelo subyacente a la medida. Para la institución educativa **INEM-DE PASTO** este estudio se muestra en las siguientes tablas y gráficas.

**Grafica 5 Resultados de análisis de resistividad del terreno**



Fuente: Unelca SAS

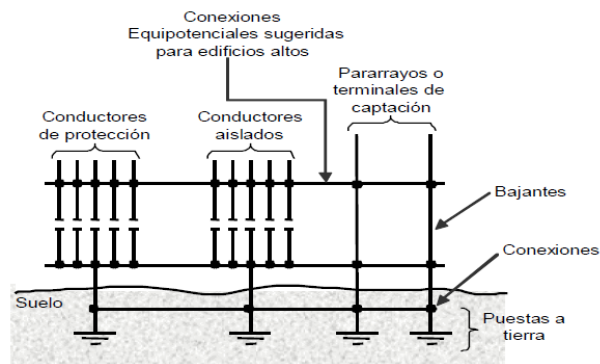
Al analizar los resultados anteriores se puede observar que existe una variación superior del 30 % entre el valor más alto y el más pequeño y por lo tanto se debe modelar el terreno mediante el modelo de dos capas. El modelamiento del terreno se realiza utilizando el software CYMGrd que aplica a conformidad el procedimiento establecido en la IEE80 para modelamiento de puestas a tierra a frecuencia de 60 Hz. A continuación, se muestran los resultados del modelamiento.

### Resultados de salida

Espesor de la capa superior	1.0 metro
Resistividad de la capa superior	64.66 ohm-m
Resistividad de la capa inferior	15.47 ohm-m

Una vez definido y establecido el modelamiento del terreno, el siguiente paso en el proceso de diseño es definir y diseñar la puesta a tierra (PT). Para este proyecto se tendrán dos PT: La primera corresponde a la PT para la acometida en baja tensión y la segunda corresponde a la PT de protección contra rayos, sin embargo una vez diseñadas en forma individual, las dos puestas a tierra se interconectarán entre sí para así formar un sistema de puesta a tierra equipotencializado de acuerdo a lo exigido en el artículo 15.1 del RETIE.

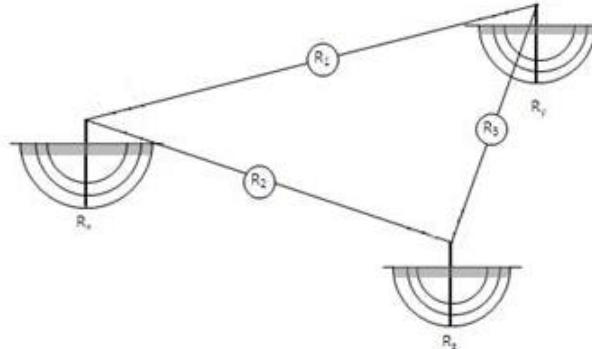
**Figura 10 Sistemas de puesta a tierras dedicadas e interconectadas**



*Fuente: RETIE*

Para la de puesta a tierra de la acometida en baja tensión se utilizó una configuración cuadrada de 5X5 m como se muestra a continuación:

Figura 11 Puesta a tierra configuración triangular de 5x5 m interconectada con la red de protección contra rayos

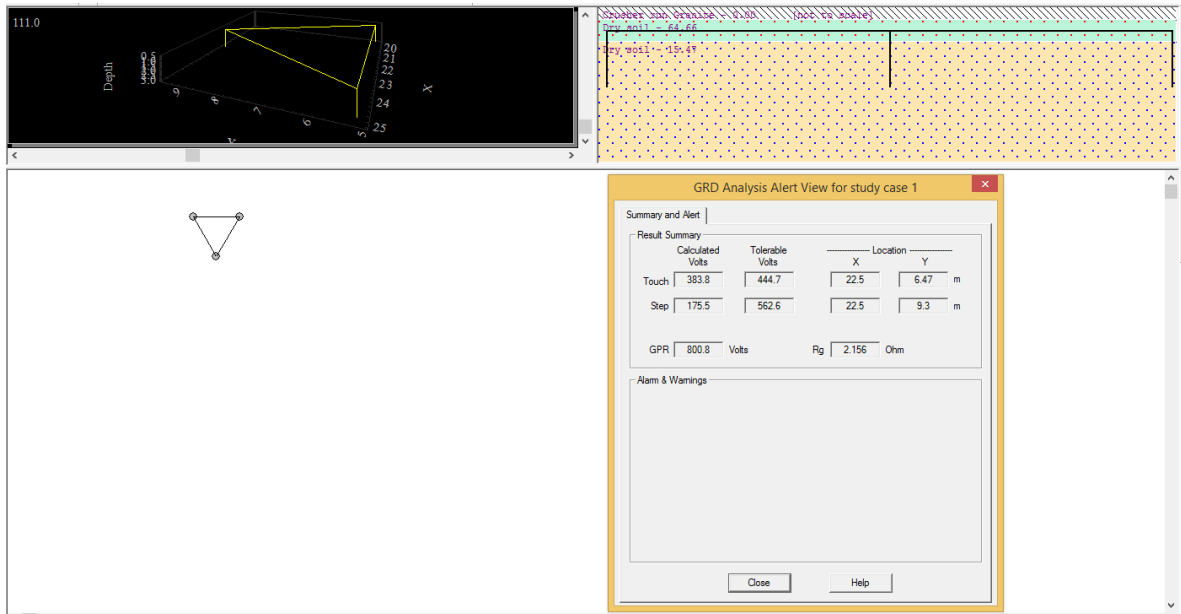


Fuente: Unelca SAS

De acuerdo con la información suministrada por el operador de red (CEDENAR) en la disponibilidad de prestación del servicio, la corriente de falla trifásica en el punto de conexión es de **3.5 KA**, sin embargo como existe una distancia entre el punto de conexión y el sitio donde está ubicado el TGA de la nueva implantación, esta corriente se puede reducir un 30%, siendo aproximadamente de **2.45 KA**. Adicionalmente en el diseño de los sistemas de puesta a tierra se debe tomar en cuenta la corriente de falla monofásica que es aproximadamente el 60 % de la corriente de falla trifásica y por lo tanto la corriente de falla a tierra que se tomará en cuenta para el diseño es de **1.47 KA**.

Una vez definida la información, se utilizó un software de cálculo para implementar el diseño como se muestra a continuación:

**Figura 12 Resultados de resistencia de puesta a tierra y tensiones de paso y de contacto**

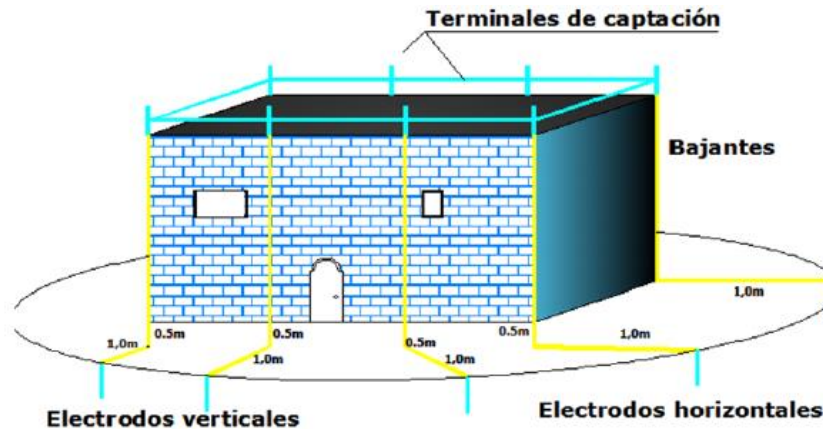


Fuente: Unelca SAS

Según los resultados mostrados anteriormente, la resistencia de puesta a tierra de la configuración es de **2.15 Ω** el cual es inferior a 25 Ω que es el valor de referencia del RETIE para el neutro de acometida en baja tensión y adicionalmente las tensiones de paso y de contacto están dentro de los límites tolerables, por lo cual se puede concluir que el diseño cumple.

El diseño de la PT para protección contra rayos se hace siguiendo los lineamientos establecidos tanto en el RETIE como en la norma NTC 4552. Como se verá en la siguiente sección, el proyecto necesita de un sistema de protección contra rayos y por lo tanto se debe diseñar una PT para este sistema. Por las características específicas del proyecto, se optó por diseñar una PT con una configuración tipo B como lo muestra la siguiente figura.

Figura 13 Configuración de puesta a tierra tipo B

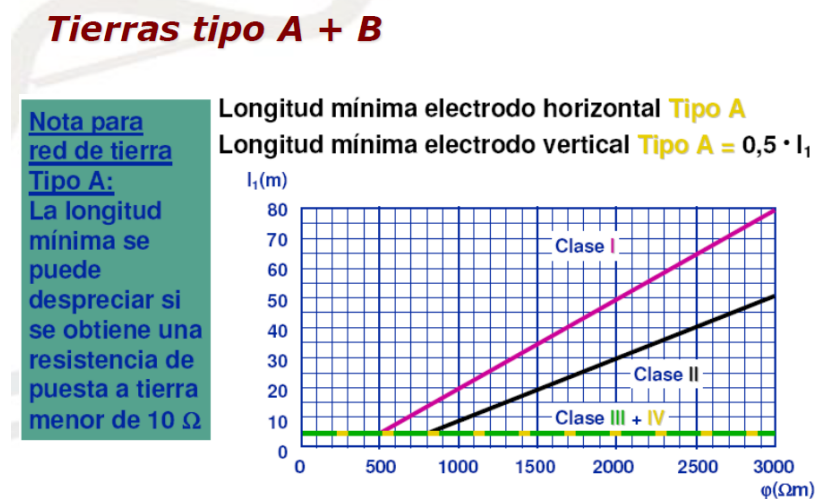


Fuente: RIG-RETIE-Gestión e ingeniería.

Fuente: RETIE

La siguiente figura muestra una gráfica de referencia para la elección de la longitud mínima de los electrodos.

Figura 14 Longitud de electrodos según el tipo de Puesto a tierra y la resistividad del terreno



Fuente: RETIE

Con el valor de resistividad del terreno y la información de la gráfica, se deduce que la longitud mínima de los electrodos de PT enterrados de forma vertical para protección contra rayos debe ser de 2.5 m.

Finalmente el sistema de puesta a tierra se complementa con la red equipotencial (RE) que en el caso específico del proyecto, está compuesta por un barraje de unión equipotencial que se encarga de equipotencializar los diferentes tableros y armarios donde se hace la distribución hacia los diferentes circuitos ramales y conectando a la red equipotencial tuberías, canaletas, bandejas portacables, cajas de paso y en general toda la instalación eléctrica. También se debe conectar a través de los barrajes de unión equipotencial tuberías metálicas referentes a sistemas de gas, agua y estructuras metálicas que hagan parte del edificio.

**NOTAS:** Para detalles específicos del diseño del SPT ver Anexos 1 y 4.

### 13 CLASIFICACIÓN DE ÁREAS

De acuerdo con la información suministrada por los diferentes diseñadores, en el proyecto no existen tanques de almacenamiento de combustibles o algún otro tipo de sustancias que puedan generar ambientes explosivos, y por lo tanto no es necesario hacer un estudio de áreas clasificadas o realizar mapas de riesgo.

### 14 ANÁLISIS DE RIESGO POR RAYOS

Para realizar este análisis, se utilizó la metodología basada en la norma NTC-4552-2, para análisis de riesgo contra descargas atmosféricas. Los datos de entrada y los resultados de la evaluación se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 16 Resultados análisis de riesgos contra rayos**

Calle 14 N° 24-81 PASTO-NARIÑO		9/oct/2016	
<b>FACTOR DE RIESGO PARA PROTECCIÓN CONTRA RAYOS SEGÚN NORMA:</b> <b>NTC 4552-2 (2007) PROTECCIÓN CONTRA RAYOS - PARTE 2: EVALUACIÓN DE RIESGO POR RAYOS.</b> <b>PROYECTO:</b> I.E.M LUIS DELFÍN INSUASTY RODRIGUEZ INEM DE PASTO-SEDE CENTRAL			
<b>INFORMACIÓN GENERAL</b>			
UBICACIÓN PROYECTO:	Calle 14 N° 24-81 PASTO-NARIÑO		
OBJETO A PROTEGER:	Estructura		
TIPO DE RIESGO A EVALUAR:	Riesgo de lesiones a seres vivos R1 Riesgo de pérdida del servicio público R2 Riesgo de pérdida de valor cultural R3 Riesgo de pérdidas económicas R4		
<b>I. DATOS DE LA ESTRUCTURA</b>			
<b>1. UBICACIÓN Y ENTORNO.-</b>			
LARGO [m]:	38,15	ANCHO [m]:	30,69
		ALTO [m]:	8,20
ESTRUCTURA CON ELEMENTOS PROTUBERANTES: NO			
CIUDAD:	FACATATIVA	DDT [rayos/km <sup>2</sup> -año]:	1
UBICACIÓN RELATIVA:	Rodeado por objetos de la misma altura		
TIPO DE AMBIENTE [ENTORNO]:	Urbano (estructuras entre 10 y 20 m)		
TIPO DE PISO [INTERIORES]:	Rcontacto < 1 kilo Ohmio (Agricultura Concreto)		
TIPO DE SUELO [EXTERIORES]:	Rcontacto < 1 kilo Ohmio (Agricultura Concreto)		
<b>2. ACOMETIDAS DE SERVICIOS</b>			
UBICACIÓN DE LA ACOMETIDA:	Rodeado por objetos de la misma altura		
RESISTIVIDAD DEL TERRENO ρ:	38,3	Ω-m	
<b>2.1 ACOMETIDAS DE ENERGÍA:</b>			
TIPO DE ACOMETIDA:	Subterránea Sin transformador		
Longitud de la Sección de la Acometida de servicio, de la estructura al primer nodo [m]:			30
Altura de la estructura de donde proviene la acometida de Servicio [m]:			12
Altura del punto de la estructura por donde Ingres a la acometida de Servicio [m]:			0
Altura sobre la tierra de los conductores de Servicio [m]:			0
INFORMACIÓN DE ESTRUCTURAS ADYACENTES QUE COMPARTEN LA MISMA ACOMETIDA ELÉCTRICA:			
UBICACIÓN RELATIVA:	Rodeado por objetos de la misma altura		
<b>2.2 ACOMETIDAS DE TELECOMUNICACIONES:</b>			
TIPO DE ACOMETIDA:	Subterránea		
Longitud de la Sección de la Acometida de servicio, de la estructura al primer nodo [m]:			30
Altura de la estructura de donde proviene la acometida de Servicio [m]:			12
Altura del punto de la estructura por donde Ingres a la acometida de Servicio [m]:			0
Altura sobre la tierra de los conductores de Servicio [m]:			0
INFORMACIÓN DE ESTRUCTURAS ADYACENTES QUE COMPARTEN LA MISMA ACOMETIDA DE TELCO:			
UBICACIÓN RELATIVA:	Rodeado por objetos de la misma altura		
<b>II. INFORMACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN</b>			
<b>1. INFORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA.-</b>			
PROBABILIDAD DE TENSIONES DE PASO Y CONTACTO DENTRO DE LA ESTRUCTURA:			
Existen medidas de protección:	NO	Avisos de peligro:	NO
Aislamiento eléctrico de las bajantes:	NO	Concreto reforzado como bajante:	NO
Equipotencialización del suelo:	NO		
PROBABILIDAD DE DAÑOS EN LA ESTRUCTURA:	Sin SIPRA		
<b>2. INFORMACIÓN DE PROTECCIONES EN ACOMETIDAS DE SERVICIOS .-</b>			
TIPO DE DPS's: No existen DPS's coordinados			
CARACTERÍSTICAS DEL CABLEADO INTERNO: No apantallado, con lazos pequeños			



III. TIPOS DE PÉRDIDAS					
<b>1. PELIGROS EXISTENTES.</b>					
RIESGOS DE FUEGO:		Riesgo de Fuego Ordinario			
MEDIDAS PARA REDUCIR EL RIESGO DE FUEGO:		Extintor, Hidrante, etc.			
CLASE DE PELIGROS:		Nivel Medio de pánico (de 100 a 1000 personas)			
<b>2. PÉRDIDAS ANUALES PARA R1 (RIESGO LESIONES A SERES VIVOS)</b>					
TIPOS / USOS DE LA ESTRUCTURA:		Industrias, Colegios, Comercio			
PERSONAS EXPUESTAS:		Personas fuera de la estructura y Personas dentro de la estructura			
POSIBLES FALLAS EN LOS SERVICIOS QUE REPRESENTEN PÉRDIDAS DE VIDAS HUMANAS:		No hay Pérdidas L1			
<b>3. PÉRDIDAS PROMEDIO ANUALES PARA R2 (PÉRDIDA DEL SERVICIO PÚBLICO)</b>					
TIPO DE ACOMETIDA:		Televisión, TV Cable, Energía Eléctrica			
<b>4. PÉRDIDAS PROMEDIO ANUALES PARA R3 (PÉRDIDAS DE PATRIMONIO CULTURAL)</b>					
		0			
<b>5. PÉRDIDAS ANUALES PARA R4 (PÉRDIDAS ECONÓMICAS)</b>					
		INCIERTO			
TIPOS / USOS DE LA ESTRUCTURA:		Hoteles, escuelas, oficinas, centros comerciales, Iglesias, bancos			
PERSONAS EXPUESTAS:		Personas fuera de la estructura y Personas dentro de la estructura			
POSIBLES FALLAS EN LOS SERVICIOS QUE REPRESENTEN PÉRDIDAS DE VIDAS HUMANAS:		Museos, uso agrícola, escuelas, iglesias, centros comerciales			
IV. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE RIESGO					
<b>1. NÚMERO DE EVENTOS PELIGROSOS:</b>					
Impacto en la estructura		Nd =	0,00201512	Rayos/año	
Impactos cercanos a la estructura		Nm =	0,31221695	Rayos/año	
Impactos en las acometidas		NL =	0,00080485	Rayos/año	
Impactos cercanos a la acometida de servicio		NI =	0,00000000	Rayos/año	
Impactos en las estructuras adyacentes		Nda =	0,00232684	Rayos/año	
2. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE RIESGO Y CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DEL SIPRA A IMPLEMENTAR					
OBSERVACIÓN	R	RT	R>RT?	Eficiencia SIPRA IEC	§1024
RIESGO DE PÉRDIDAS DE VIDAS HUMANAS	R1	1,09E-04	1,00E-05	SI	91%
RIESGO DE PÉRDIDA DEL SERVICIO PÚBLICO	R2	7,23E-05	1,00E-03	NO	-1283%
RIESGO DE PÉRDIDAS DE PATRIMONIO CULTURAL	R3	0,00E+00	1,00E-03	NO	0%
RIESGO DE PÉRDIDAS ECONÓMICAS	R4	4,88E-04	1,00E-03	NO	-105%
V. CONCLUSIONES					
Instalar medidas de protección para reducir el riesgo total R					
SIPRA recomendado a Implementar: SIPRA II					
Radio de la esfera a utilizar [m]:		40			
Método de enmallado [m]:		10 x 10			
Separación entre bajantes mínima [m]:		10			

Fuente: Unelca SAS

De acuerdo a los resultados obtenidos, se requiere un sistema de protección externa e interna mediante un SIPRA II según la norma. En los Anexos 1 y 5 se muestra el diseño del sistema de protección contra rayos y los detalles constructivos.

## 15 ESTUDIOS DE COORDINACIÓN DE AISLAMIENTOS

Los cables de Baja Tensión tendrán un nivel de aislamiento de 600 voltios y se usaran a 240 voltios, lo cual significa que tendrá un factor de seguridad de 2,88 veces

Para los Interruptores de Baja Tensión tendrán un nivel de aislamiento de 600 voltios y se usarán con un voltaje de 208 voltios, lo cual significa que tendrán un factor de seguridad de 2,88 veces.

Para los balastos de baja tensión tendrán un nivel de aislamiento de 600 voltios y se usarán con un voltaje de 120 voltios, lo cual significa que tendrán un factor de seguridad de 5 veces.

Teniendo en cuenta los factores de seguridad, tendremos que la mayor probabilidad de falla en el nivel de aislamiento se presenta en los cables de Baja Tensión considerando que estos cables están protegidos mecánicamente por tuberías PVC embebidas en placa de concreto, lo cual permite que se disminuya la probabilidad de falla. Pero tenemos un factor importante en la conservación del nivel de aislamiento en cables y es la humedad del aire ya que esta se mantiene baja y contribuye a que se conserve el nivel de aislamiento.

Para controlar este nivel de aislamiento, cada año debe hacerse un plan de mantenimiento en el cual se incluya la medición de los niveles de aislamiento de los cables eléctricos.

## 16 EVALUACIÓN DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

Dado que no existen redes o subestaciones de alta tensión ni tampoco fuentes de campos electromagnéticos de alta frecuencia en las cercanías del proyecto, este análisis no es requerido para fines de realización del proyecto.

## 17 DISEÑO DE ILUMINACIÓN

Ante la necesidad de brindar un entorno confiable, seguro y confortable, se realizó el diseño de iluminación para el **I.E.M LUIS DELFÍN INSUASTY RODRIGUEZ INEM DE PASTO-SEDE CENTRAL**, ubicado en la ciudad de **PASTO-NARIÑO**. Como se puede evidenciar, el proyecto supera los 500 m<sup>2</sup> y cuenta con más de diez (10) puestos de trabajo, por lo cual es necesario dar cumplimiento a los requerimientos exigidos en el RETILAP, artículo 210.2. Proceso de Diseño de Iluminación, numeral 210.2.3 Diseño Detallado.

## 17.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA A ILUMINAR

El área a iluminar en este proyecto consiste en las zonas interiores del mismo, las cuales se mencionan a continuación:

- Sendero Peatonal de Circulación
- Salones de clase
- Oficinas
- Pasillos
- Escaleras
- Baños Públicos

Por lo descrito anteriormente estas áreas requieren ciertos niveles de iluminación de acuerdo al tipo de actividad a desarrollar y según lo establecido en la norma RETILAP de 2010, sin embargo, cuando por alguna razón no se encuentre un área específica dentro del RETILAP, se podrá hacer uso de la norma IESNA o el criterio y la experiencia del diseñador.

## 17.2 ILUMINACIÓN INTERIOR

Por las características propias del proyecto y las actividades a realizar en el mismo, se siguieron los lineamientos establecidos en el **capítulo 4 sección 410 Requisitos Generales del Diseño de Alumbrado Interior**. Dentro de los requisitos generales de alumbrado interior, se tuvieron en cuenta los siguientes ítems:

- a) Dentro de las actividades asociadas en cada espacio presentes en el proyecto se tienen los siguientes grupos:
- b) De cada una de las zonas descritas, se han considerado las exigencias de iluminación basados en la **Tabla 410.1 Niveles de Iluminación, Iluminancias y Distribución de Luminancias**, considerando índices UGR y niveles de iluminancia exigibles para diferentes áreas, así como los niveles de uniformidad exigidas.
- c) Dentro de los requerimientos especiales se encuentran el laboratorio y los baños
- d) Las propiedades de las fuentes y luminarias con las especificaciones técnicas correspondientes indicadas en la ficha técnica, tales como índice de reproducción de color, temperatura, isometría del flujo luminoso de las lámparas utilizadas entre otros.

e) Distribución de las luminancias. En la distribución se tuvo en cuenta los requerimientos de cada área indicada.

La siguiente tabla resume los requerimientos mencionados en los numerales anteriores y acorde con cada área del proyecto.

**Figura 15 Parámetros de iluminación**

ÁREA	Niveles de			UGRL	Limite VEEI	
	Min	Medio	Máximo		Zona de baja importancia	Zona de alta importancia
Salones	300	500	750	19	4	
Tablero	300	500	750	19	4	
Laboratorio	300	500	750	19	4	
Biblioteca	300	500	750	19		6
Baños	100	150	200	25	4.5	
Comedor	200	300	500	25		10
Cocina	200	300	500	25	5	
Oficinas administrativas	300	500	750	19	3.5	6
Escaleras	100	150	200	25	4.5	
Pasillos	50	100	150	28	4.5	
Enfermería	300	500	750	19	3.5	
Depósitos	100	150	200	25		
Recepción	300	500	750	19	3.5	
Salas de uso múltiple	300	500	750	19		10

*Fuente: Unelca SAS Y RETILAP*

Para el desarrollo del proyecto, el diseño se apoyó en el software para iluminación DIALUX®, considerando la información técnica para su desarrollo dada por los diferentes fabricantes de luminarias en el mercado.

### 17.3 SELECCIÓN DE LUMINARIAS

Dentro del universo de luminarias disponibles en el mercado para el diseño del proyecto, se implementó como filosofía o método selección de luminarias, fabricantes con representación técnica y comercial en el país, con largo tiempo en el mercado, con respaldo y garantía sustentada mediante el certificado de conformidad de producto RETIE y RETILAP y con características propias de cada luminaria tales como Temperatura de Color, Fotometría, Índice de Reproducción de Color Dimensiones, Tensión de Alimentación, Driver o Balasto.

De acuerdo a lo descrito anteriormente relacionamos las luminarias implementadas en el proyecto:

Para mayor información en detalle Véase Anexos Fichas Técnicas.

**Tabla 17 Características de Luminarias**

DESCRIPCIÓN DE LA LUMINARIA	SISTEMA	TENSIÓN (V)	POTENCIA (W)
ELECTROCONTROL FLUORESCENTE IMPERIO 2*28 W	1F	120	56
ELECTROCONTROL FLUORESCENTE IMPERIO 2*54 W	1F	120	108
SYLVANIA PANEL LED DE 18 W	1F	120	18
SAGELUX EVOLUTION EVO-400 3W	1F	120	3
HIGH LIGHTS REFLECTOR JOLLY 150w	2F	240	150

*Fuente: Unelca SAS*

Para mayor información en detalle Véase Anexos Fichas Técnicas

## 17.4 CÁLCULO DEL FACTOR DE MANTENIMIENTO

De acuerdo con el RETILAP, el factor de mantenimiento se calcula mediante la siguiente formula

$$FM = FE * DLB * Fb$$

Donde:

FM: Factor de mantenimiento

DLB: Depreciación por disminución del flujo luminoso de la bombilla

FBI: Factor de balasto

FE: Depreciación de la luminaria por ensuciamiento

A continuación, se describe cada uno de los factores y los porcentajes empleados para el caso específico del proyecto, basados en la descripción y estimación establecida en el IESNA Cap. 9 cálculos de iluminación. En ella se describe el Factor de pérdida de iluminación (LLF) por su sigla en inglés (light los factores), formalmente conocido como Factor de Mantenimiento.

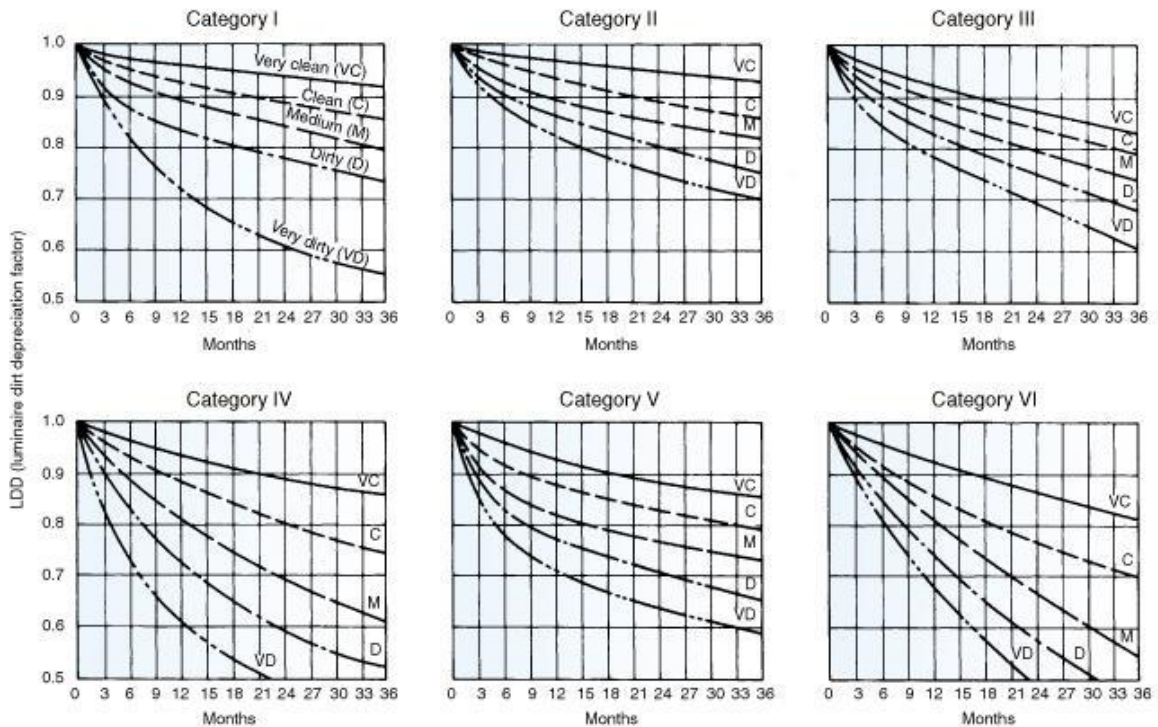
- **FE.** Factor de ensuciamiento, (LDD) por su sigla en inglés, estimado como un factor recuperable, en donde *la acumulación de suciedad en las*

*luminarias, resulta en una pérdida en la salida de la iluminación, y por ende en pérdida en el plano de trabajo (IESNA pág. 396).*

De la apropiada curva de categoría de mantenimiento de la luminaria y el tiempo en meses de los ciclos de mantenimiento de las mismas, se encuentra el factor FE:

Fuente: IESNA

**Grafica 6 Curva de categoría de mantenimiento de luminarias**



Fuente: ESNA

Así, para las luminarias proyectadas en el diseño, se consideró un mantenimiento anual (36 meses), una categoría de mantenimiento **Tipo II**, en un ambiente intermedio y así consultando la correspondiente curva, se tendrá un FE de **0.83**.

- **DLB.** Depreciación por disminución del flujo luminoso de la bombilla (LLD). La salida de lumens de la luminaria cambia gradualmente y continuamente sobre su vida de operación. Incluso con condiciones constantes de operación. En casi todos los casos los lumens decrecen. El Factor LLD por sus siglas en inglés lamp lumen depreciation es la fracción de los lumens iniciales producido a un tiempo específico durante la vida útil de la lámpara.

La información del factor LLD como función de las horas de operación es dada por tablas del fabricante y graficas de depreciación de lumens y mortalidad de la lámpara escogida. La puntuación promedio de vida de la lámpara debe ser determinada por el número esperado de horas por apertura o inicio de funcionamiento. Como factor recomendado del 70% del promedio de ciclo de vida de criterio para el reemplazo de la luminaria dentro del plan estimado de mantenimiento. Para efecto del presente proyecto de las luminarias seleccionadas, considerando el ciclo de vida útil de la luminaria al tiempo estimado de mantenimiento, se tiene un factor de DLB de **0.95**.

- **Fb.** Factor de Balasto. La salida de lumens de lámparas fluorescentes depende del balasto usado al control de la lámpara. La salida de lumens de balastos comerciales generalmente difiere de aquellos usados en balastos de referencias estándar para determinar una clasificación de lumens. Por esta razón, un factor multiplicativo es necesario para corrección de la clasificación de lumens en la luminaria al actual comportamiento de la luminaria. El Factor de Balasto en la fracción entre el flujo cuando opera con Balasto de la luminaria dividido por el flujo operado con una referencia estandar. El factor de balasto es determinado en acuerdo con la American National Standard Methods of Measurement of Fluorescent Lamp Ballasts. El fabricante debe informar de dicho factor. El factor de balasto para la luminaria utilizada en el presente proyecto es de **1**.

Así, el Factor de mantenimiento encontrado es de:

$$FM = FE * DLB * Fb = 0.83 * 0.95 * 1 = 0.8$$

## 17.5 ESQUEMA FUNCIONAL DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

Para el proyecto se tuvo en cuenta los lineamientos dados por la reglamentación RETILAP, en lo concerniente al uso racional y eficiente de la energía usada para la iluminación. El equipo de diseño, tuvo en cuenta dichos lineamientos a fin de realizar un diseño en donde el uso de la energía sea eficiente según los espacios donde se aplique. Para este efecto, en todas y cada una de las áreas diseñadas, se consideró y evaluó el valor de la eficiencia energética de la instalación VEEI (Valor de Eficiencia Energética de la instalación), como lo determina la reglamentación en su cap. 440.; en donde se describe dicho indicador expresado en (W/m<sup>2</sup>) por cada 100 luxes. Así se siguió los valores límites estipulados por el tipo de espacios indicados en la tabla 440 de la misma reglamentación para el diseño de iluminación planteado. Así mismo, en los recintos interiores y en las zonas ó áreas comunes, como lo establece la sección 450 del RETILAP, se dispuso de sistemas de control de iluminación, con criterio de uso racional de energía URE, acogiendo las diferentes posibilidades que allí se citan.

- Encendido / Apagado manual. (En salones y recintos cerrados con interruptores independientes por espacio)
- Encendido/Apagado automático (En espacios como baños, accesos, escaleras y pasillos con sensores automáticos de on/off por movimiento o presencia).

## 17.6 ESQUEMA Y PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

La finalidad de este plan de mantenimiento es garantizar en el transcurso del tiempo el mantenimiento de los parámetros luminotécnicos adecuados y la eficiencia energética de la instalación VEEI.

Para impedir que el sistema se degrade o pierda funcionalidad (desde el punto de vista de confort visual, así como de ahorros de energía) son esenciales inspecciones periódicas y mantenimiento. Se aconseja hacer referencia al manual de mantenimiento del fabricante para el sistema.

Tabla 18 Plan de Mantenimiento de la instalación de Iluminación.

Actividad o Área de tarea	Condiciones ambientales	Intervalo de mantenimiento
Recinto con ambientes estériles, Áreas hospitalarias, clínicas, Áreas de ordenadores, centrales	Muy limpio	3 años
Oficinas, escuelas y universidades, salas de hospitales	Limpio	3 años
Tiendas, laboratorios, almacenes, restaurantes, Área de montaje	Normal	2 años
Trabajos químicos, fundiciones, soldadura, pulimento, carpintería	Sucio	1 año

Fuente: Unelca SAS

Sin embargo, dentro de las condiciones establecidas para el presente proyecto, en consideración al bajo tiempo de uso y una política de mantenimiento, organización y operación, el diseñador aconseja anualmente realizar limpieza a las luminarias por la naturaleza y el tipo de establecimiento educativo que así lo permite.

### - **Reposición de lámparas y limpieza de luminarias**



Cuando las lámparas se cambien como consecuencia de su envejecimiento, deberán limpiarse también las luminarias. Antes de realizar cualquier operación de limpieza, se debe comprobar la desconexión previa del suministro eléctrico del circuito completo al que pertenezca, después se procederá a limpiar la suciedad y residuos de polución preferentemente en seco, utilizando trapos o esponjas que no rayen la superficie. Para la limpieza de luminarias de aluminio anodizado se utilizarán soluciones jabonosas no alcalinas.

### **- Sistemas de regulación y control**

Cuando se proceda a la reposición masiva de lámparas, deberán efectuarse mediciones de iluminación y una re-calibración de los detectores a fin de asegurar un funcionamiento apropiado del sistema de control. Dependiendo del tipo de sistema de control, los detectores de luz podrían necesitar algún cuidado adicional. Los detectores situados en el exterior deben ser comprobados periódicamente para estar seguros de que están libres de residuos y no sufren daños por la intemperie (corrosión, amarilleamiento, etc.).

## **17.7 ALUMBRADO DE EMERGENCIA**

Teniendo en cuenta la **Sección 470 Alumbrado de Emergencia de la reglamentación RETILAP**, para el diseño de la iluminación de emergencia, se tuvo en cuenta las condiciones indicadas en dicha reglamentación.

Dentro de los aspectos tenidos en cuenta, se tiene la implementación de luminarias autoalimentados con autonomía por baterías superior a una 1 hora, independiente del suministro de energía comercial o sistema electrógeno.

De igual forma, en la simulación se recrearon zonas antipático y rutas de evacuación con base a la normatividad vigente-.

En las especificaciones técnicas de las luminarias se entrega la ficha técnica de las mismas.

## **17.8 SIMULACIÓN DE ILUMINACIÓN ÁREAS**

Para la simulación de las diferentes áreas tanto de uso interior como exterior, se usó el software DIALUX<sup>®</sup>. Para analizar en detalle los resultados de iluminación

(Niveles de Iluminancia, UGR, Uniformidad, etc.), **véase anexo *Diseño Iluminación***.

## 18 ANÁLISIS DE RIESGOS ELÉCTRICOS

Con el fin de evaluar el nivel o grado de riesgo de tipo eléctrico, se puede aplicar la siguiente matriz para la toma de decisiones. La metodología a seguir en un caso en particular, es la siguiente:

- a. Definir el factor de riesgo que se requiere evaluar o categorizar.
- b. Definir si el riesgo es potencial o real.
- c. Determinar las consecuencias para las personas, económicas, ambientales y de imagen de la empresa. Estimar dependiendo del caso particular que analiza.
- d. Buscar el punto de cruce dentro de la matriz correspondiente a la consecuencia (1, 2, 3, 4, 5) y a la frecuencia determinada (A,B,C,D,E): esa será la valoración del riesgo para cada clase.
- e. Repetir el proceso para la siguiente clase hasta que cubra todas las posibles pérdidas.
- f. Tomar el caso más crítico de los cuatro puntos de cruce, el cual será la categoría o nivel del riesgo.
- g. Tomar las decisiones o acciones, según lo indicado en la Tabla (9.4 del RETIE)

A continuación, se muestra un modelo de la matriz de riesgo realizada para un factor de riesgo particular:

**Tabla 19 Matriz de análisis de riesgos eléctricos**

FACTOR DE RIESGO POR ARCOS ELÉCTRICOS											
POSIBLES CAUSAS: En el desarrollo de la instalación eléctrica se pueden presentar quemaduras eléctricas por malos contactos y cortocircuitos.											
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Utilizar avisos de precaución, tableros bien cerrados y debidamente rotulados.											
RIESGO A EVALUAR:	Quemadura por Arcos Eléctricos (n) o (en) TABLEROS ELÉCTRICOS				EVENTO O EFECTO	FACTOR DE RIESGO [CAUSA]	FUENTE				
	POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>	REAL <input type="checkbox"/>					FRECUENCIA				
	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A	
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa	
<b>CONSECUENCIAS</b>	Una o mas muertes ES	Daño grave en infraestructura Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO	
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción Temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes Interrupción breve E2	Efecto menor	Local E2	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No interrupción	Sin efecto E1	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	
	Evaluador: I.E Antonio Orozco MP: CN 205-27518 FECHA: 10/10/16										

RETIE: TABLA 9.3 Matriz para análisis de riesgos

Fuente: Unelca SAS

Para los demás riesgos eléctricos se procedió de forma similar.

**NOTA:** Para más detalles se puede consultar la matriz de riesgos que se encuentra en los Anexos

## 18.1 MEDIDAS PARA MINIMIZAR LOS RIESGOS DE ORIGEN ELÉCTRICO

### MEDIDAS PREVENTIVAS

#### Baja tensión

#### TABLEROS ELÉCTRICOS

- 1.- Mantener siempre todos los tableros eléctricos cerrados.
- 2.- Todas las líneas de entrada y salida a los tableros eléctricos estarán

perfectamente sujetas y aisladas.

3.- En los armarios y tableros eléctricos deberá colocarse una señal donde se haga referencia al tipo de riesgo a que se está expuesto.

### **CABLES, CLAVIJAS, CONEXIONES, EMPALMES, ENCHUFES**

1.- Garantizar el aislamiento eléctrico, de todos los cables activos.

2.- Los empalmes y conexiones estarán siempre aislados y protegidos.

3.- Los cables de alimentación de las herramientas eléctricas portátiles deben estar protegidos con material resistente, que no se deteriore por roces o torsiones.

4.- No utilizar cables defectuosos, clavijas de enchufe rotas, ni aparatos cuya carcasa presente desperfectos.

5.- Para desconectar una clavija de enchufe, se tirará siempre de ella, nunca del cable de alimentación.

6.- No se tirará de los cables eléctricos para mover o desplazar los aparatos o maquinaria eléctrica.

7.- Utilizar solamente aparatos que estén perfectamente conectados.

8.- Evitar que se estropeen los conductores eléctricos, protegiéndolos contra:

- quemaduras por estar cerca de una fuente de calor
- los contactos con sustancias corrosivas
- los cortes producidos por útiles afilados o máquinas en funcionamiento
- pisadas de vehículos

9.- Se revisará periódicamente el estado de los cables flexibles de alimentación y se asegurará que la instalación sea revisada por el servicio de mantenimiento eléctrico.

10.- La conexión a máquinas se hará siempre mediante bornas de empalme, suficientes para el número de cables a conectar. Estas bornas irán siempre alojadas en cajas registro.

11.- Todas las cajas de registro, empleadas para conexión, empalmes o derivados, en funcionamiento estarán siempre tapadas.

12.- Todas las bases de enchufes estarán bien sujetas, limpias y no presentarán partes activas accesibles.

13.- Todas las clavijas de conexión estarán bien sujetas a la manguera correspondiente, limpias y no representarán partes activas accesibles, cuando están conectadas.

## 19 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los diseños realizados en el proyecto, hacen referencia a unos materiales y proveedores establecidos en las fichas técnicas. Si el constructor desea realizar un cambio o modificación de algún elemento eléctrico. Deberá avisar e informar a la interventoría de las razones de los cambios y hacerse responsable del elemento instalado a su criterio. De igual forma el contratista del estudio y diseño, por efecto de garantía, no se hace responsable de elementos diferentes a lo establecido en los planos o informes.
- El diseñador bajo unos parámetros y criterios propios de diseño, realizó una distribución y ubicación de salidas tanto de tomas como de iluminación, sin embargo, el constructor podrá definir en obra la mejor ubicación que crea conveniente siempre y cuando cuente con la aprobación de la interventoría.
- Al final del proyecto, todos los planos e informes deberán ser actualizados por el constructor conforme a obra y aprobados por interventoría de obra.
- La subestación eléctrica tiene como función alimentar la instalación eléctrica proyectada y la instalación eléctrica existente de los otros edificios actualmente presentes en el centro educativo, estas cargas existentes tal como se muestra en el informe de la visita no cumple con las normas técnicas establecidas por el operador de red CEDENAR.

---

## 20 BIBLIOGRAFÍA

- Norma Técnica Colombiana (NTC 2050), Código eléctrico colombiano, Instituto Colombiano de normas técnicas y certificación
- Resolución No. 90708 de agosto 30 de 2013. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE.
- Resolución 180540 de 10 marzo de 2010. Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP.
- Norma Técnica Colombiana NTC 4552. Protección contra Descargas Eléctricas Atmosféricas (Rayos).
- Normas del operador de red de la región CEDENAR y a modo de referencia la base de datos LIKINORMAS del operador de red CODENSA

---

## 21 ANEXOS

- ANEXO 1- Planos de diseño
- ANEXO 2- Cuadros de carga
- ANEXO 3- Diseño de iluminación
- ANEXO 4- Diseño SPT
- ANEXO 5- Matriz de riesgo eléctrico
- ANEXO 6- Presupuesto y cantidades de obra
- ANEXO 7- Documentos diseñador
- ANEXO 8- Fichas técnicas
- ANEXO 9- Otros documentos

**Diseño:**

**Antonio José Orozco Del Portillo**

**Ingeniero Electricista**

**MP CN 205 27518**