

**DISEÑO SUBESTACIÓN ELÉCTRICA NUEVO EDIFICIO BLOQUE DE AULAS  
INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO.**

**DANILO DE JESUS ZAPATA PULGARÍN.**

**JOVANNI ANDRÉS USUGA ESPINAL.**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO.**

**FACULTAD DE INGENIERÍA.**

**MEDELLÍN.**

**2014.**

**DISEÑO SUBESTACIÓN ELÉCTRICA NUEVO EDIFICIO BLOQUE DE AULAS  
INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO.**

**DANILO DE JESUS ZAPATA PULGARÍN.**

**JOVANNI ANDRÉS USUGA ESPINAL.**

**Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniero Electricista.**

**Asesor(a).**

**LUIS JORGE GÓMEZ GALLÓN.**

**Ingeniero Electricista Universidad de Antioquía.**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO.**

**FACULTAD DE INGENIERÍA.**

**MEDELLÍN.**

**2014.**

**Nota de aceptación:**

Aprobado por el comité de grado, en cumplimiento de los requisitos exigidos por la facultad de ingeniería eléctrica de la INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO para optar al título de INGENIERO ELECTRICISTA.

Medellín.

2014.

# CONTENIDO

pág

|   |    |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN.....   | 15 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....  | 16 |
| 1.1. Formulación del problema.....  | 16 |
| 2. JUSTIFICACIÓN.....   | 17 |
| 3. OBJETIVOS.....   | 18 |
| 3.1. Objetivo general.....  | 18 |
| 3.2. Objetivo específico.....   | 18 |
| 4. Marco teóricos.....  | 19 |
| 4.1. Descripción.....   | 20 |
| 4.1.1. Clasificación de las subestaciones.....                                  | 20 |
| 4.1.2. Principio de funcionamiento de las subestaciones eléctricas.....         | 21 |
| 4.1.3. Consideraciones de diseño.....   | 21 |
| 4.2. Malla de puesta a tierra.....  | 23 |
| 4.2.1. Parámetros para el diseño del sistema de puesta a tierra.....            | 25 |
| 4.2.2. Procedimientos básicos sugeridos para el diseño de puesta a tierra.....  | 25 |
| 4.2.3. Métodos para la medición de la resistividad del suelo.....               | 26 |
| 4.2.4. Método de wenner.....  | 26 |
| 4.2.5. Análisis de malla de puesta a tierra doble capa.....                     | 28 |
| 4.2.6. Procedimiento de aplicación.....   | 28 |
| 4.3. Análisis de riesgo frente a descargas atmosféricas.....                    | 29 |
| 4.3.1. Riesgo tolerable.....  | 29 |
| 4.3.2. Determinación de la densidad de descargas a tierra (ddt).....            | 30 |
| 4.4. Disposiciones generales para los locales de subestación tipo interior..... | 33 |
| 4.4.1. Dimensiones de la subestación.....                                       | 33 |
| 4.4.2. Celdas.....  | 33 |
| 4.4.3. Seccionadores para media tensión.....                                    | 34 |
| 4.4.4. Características eléctricas.....  | 34 |

|   |    |
|---|----|
| 4.4.5. Características mecánicas. ....  | 35 |
| 4.5. Transformadores. ....  | 35 |
| 4.5.1. Generalidades. ....  | 35 |
| 4.6. Cable xlpe 1/0 133%- 15 kv. ....   | 36 |
| 4.6.1. Aplicaciones. ....   | 36 |
| 4.6.2. Construcción. ....   | 37 |
| 4.6.3. Características. ....  | 37 |
| 4.7. Canalizaciones para redes eléctricas subterráneas en media tensión. .... | 38 |
| 4.8. Dispositivos de protección contra sobre tensiones (dps). ....            | 38 |
| 4.9. Protecciones media y baja tensión. ....                                  | 40 |
| 5. METODOLOGÍA. ....  | 42 |
| 5.1. Etapas del proyecto. ....  | 42 |
| 5.1.1 Primera etapa. ....   | 42 |
| 5.1.2. Segunda etapa. ....  | 42 |
| 5.1.2.1. Ejecución del diseño de la subestación. ....                         | 42 |
| 6. RESULTADOS DEL PROYECTO. ....  | 44 |
| 6.1. Planeación ....  | 44 |
| 6.2. Desarrollo del proyecto. ....  | 48 |
| 6.2.1. Tramites ante el operador de red empresas públicas de medellín. ....   | 48 |
| 6.2.2. Medición de la resistencia del terreno ....                            | 49 |
| 6.2.3. Datos generales para el diseño de la malla de puesta a tierra. ....    | 50 |
| 6.2.4. Selección de la malla. ....  | 50 |
| 6.3. Introducción de datos en el programa. ....                               | 51 |
| 6.3.1. resultados del programa. ....  | 53 |
| 6.4. Cálculo análisis de riesgo frente a descargas atmosféricas. ....         | 55 |
| 6.4.1. Introducción de datos al programa. ....                                | 56 |
| 6.5. Cálculos de la demanda eléctrica. ....                                   | 60 |
| 6.5.1. Factor de demanda eléctrica. ....                                      | 61 |
| 6.5.2. Caída de tensión por software ....                                     | 62 |
| 6.6. Cuadro de cargas. ....   | 63 |
| 6.6.1. Porcentaje de carga del transformador. ....                            | 64 |

|   |    |
|---|----|
| 6.6.2. Cálculo de corriente de corto circuito del transformador. .... | 66 |
| 6.6.3. Selección transformador. ....                                  | 68 |
| 6.7. Anexos. ....   | 70 |
| 6.7.1. Convenciones. ....   | 75 |
| 6.8. Presupuesto ....   | 76 |
| 6.9. Registro fotográfico. ....                                       | 77 |
| 7. CONCLUSIONES. ....   | 79 |
| 8. RECOMENDACIONES ....   | 80 |

## LISTA DE TABLAS.

Pág.

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Máxima tensión de contacto.....  | 24 |
| Tabla 2. Valores típicos de riesgo tolerable.....   | 29 |
| Tabla 3. Valores de densidad de descarga a tierra.....  | 32 |
| Tabla 4. Tipos de aislamientos en los transformadores.....  | 36 |
| Tabla 5. Tabla de características cable XLPE 1/0 15kv 133%.....                                     | 37 |
| Tabla 7. Datos del circuito R31-06.....   | 48 |
| Tabla 8. Resultados medición de resistencia del terreno.....  | 49 |
| Tabla 9. Cálculo de la malla de puesta a tierra (introducción de los datos al programa).....        | 52 |
| Tabla 10. Resultados selección calibre conductor y retícula de la malla de puesta a tierra.....     | 53 |
| Tabla 11. Resultados arrojados por el programa.....   | 54 |
| Tabla 12. Configuración (Análisis de riesgo descargas atmosféricas).....                            | 56 |
| Tabla 13. Valores de las áreas de la estructura (Análisis de riesgo descargas atmosféricas).....    | 57 |
| Tabla 14. Valores de la canalización media tensión (Análisis de riesgo descargas atmosféricas)..... | 57 |
| Tabla 15. Valores del sistema de protección (Análisis de riesgo descargas atmosféricas).....        | 58 |
| Tabla.16. Valores de los tipos de pérdidas (Análisis de riesgo descargas atmosféricas).....         | 59 |
| Tabla 17. Valores de los resultados de la evaluación del riesgo (análisis -                         |    |

|  |    |
|--|----|
| de riesgo descargas atmosféricas).....   | 59 |
| Tabla 18. Valores de los resultados de la Evaluación del riesgo (análisis de riesgo descargas atmosféricas)..... | 59 |
| Tabla 19. Datos de áreas edificación.....  | 61 |
| Tabla 20. Valores Caída de tensión del sistema.....  | 62 |
| Tabla 21. Valores Caída de tensión del sistema .....   | 62 |
| Tabla 22. Cuadro de cargas iluminación .....   | 63 |
| Tabla 23. Cuadro de cargas aires acondicionados y motores.....   | 63 |
| Tabla 24. Cuadro de cargas inductivas .....  | 64 |
| Tabla 25. Porcentaje de carga del transformador .....  | 64 |
| Tabla 26. Corriente de corto circuito de la red primaria.....  | 65 |
| Tabla 27. Corriente de corto circuito del transformador.....   | 66 |
| Tabla 28. Corriente corto circuito barraje 220v.....   | 67 |
| Tabla 29. Cálculos para la selección del transformador y protecciones.....                                       | 68 |
| Tabla 30. Continuación calculo selección del transformador y protecciones.....                                   | 69 |



## LISTA DE FIGURAS.

Pág.

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Zonas de tiempo/corriente de los efectos de las corrientes alternas.....  | 25 |
| Figura 2. Método de medición de Wenner.....   | 27 |
| Figura 3. Sistema esquemático modelación del terreno doble capa.....                | 28 |
| Figura 4. Mapa niveles cerámicos de Colombia (Medellín).....                        | 31 |
| Figura 5. Línea existente y cargas en la Institución Universitaria Pascual Bravo... | 47 |
| Figura 6. Curvas de medición resistencia tierra.....                                | 49 |
| Figura 7. Configuración seleccionada para la malla de puesta a tierra.....          | 50 |

## LISTA DE ANEXOS.

Pág.

|   |    |
|---|----|
| Plano 1. Ubicación elementos de la subestación y dimensionamiento.....                                    | 70 |
| Plano 2. Vista frontal celdas. (Seccionador, transformador, totalizador) Norma -<br>RA8-010, RA8-013..... | 71 |
| Plano 3. Dimensionamiento celda totalizador y distribución de protecciones.....                           | 72 |
| Plano 4. Diagrama unifilar.....   | 73 |
| Plano 5. Ubicación punto de conexión de la subestación. Norma RS0-001-<br>RS3-002.....                    | 74 |

## **GLOSARIO.**

**ACCESIBLE:** Que está al alcance de una persona sin valerse de medio alguno y sin barreras físicas de por medio.

**ACCIDENTE:** Evento no deseado, incluido los descuidos y las fallas de equipos que da por resultado la muerte o lesiones graves a las personas, a la propiedad o deterioro ambiental.

**ACOMETIDA:** Derivación de la red local del servicio respectivo, que llega hasta el registro de corte del inmueble. En edificaciones de propiedad horizontal, condominios y en general la acometida llega hasta el registro de corte general. (Norma aplicada resolución CREG-082 de 2002).

**ALIMENTADOR:** Todos los conductores de un circuito entre el equipo de la acometida, la fuente u otra fuente suministro de energía eléctrica y el dispositivo de protección contra sobre corrientes del circuito ramal final.

**ANÁLISIS DE RIESGOS:** Conjunto de técnicas para identificar, clasificar y evaluar los factores de riesgo, es el estudio de consecuencias nocivas o perjudiciales, vinculadas a exposiciones reales o potenciales.

**BIL:** Nivel básico de aislamiento ante impulsos tipo rayo (Basic Insulating Level).

**CABLE:** Conjunto de alambres sin aislamiento entre si y entorchado por medio de capas concéntricas.

**CAPACIDAD DE CORRIENTE:** Corriente máxima que puede transportar continuamente un conductor o equipo en las condiciones de uso, sin superar la temperatura nominal de servicio.

**CAPACIDAD NOMINAL:** Conjunto de características eléctricas y mecánicas asignadas a un equipo o sistema eléctrico por el diseñador, para definir su funcionamiento bajo unas condiciones específicas. En un sistema la capacidad nominal la determina la capacidad nominal del elemento limitador.

**CARGA O CAPACIDAD INSTALADA:** Sumatorias de la carga en kVA continuas y no continuas diversificadas, previstas para una instalación de uso final, igualmente es la potencia nominal de una central de generación, subestación, línea de transmisión o circuito de la red de distribución eléctrica.

**CIRCUITO ELÉCTRICO:** Lazo cerrado formado por un conjunto de elementos, dispositivos y equipos eléctricos, alimentados por la misma fuente de energía eléctrica y con las mismas protecciones contra sobre tensiones y sobre corrientes, no se toman los cableados internos de equipos como circuitos.

**CORRIENTE ELÉCTRICA:** Movimiento de cargas eléctricas entre dos puntos que no se encuentran al mismo potencial por tener uno de ellos más exceso de electrones con respecto al otro.

**ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA:** Es el conductor o conjunto de conductores enterrados que sirven para establecer una conexión con el suelo.

**FASE:** Designación de un conductor, un grupo de conductores, un terminal, un devanado o cualquier otro elemento de un sistema polifásico que va a estar energizado durante el servicio normal.

**FRENTE MUERTO:** Parte de un equipo accesible a las personas y sin partes activas expuestas.

**FUEGO** Combinación de combustible, oxígeno y calor. Combustión que se desarrolla en condiciones controladas.

**INSTALACIÓN ELÉCTRICA:** Conjunto de aparatos eléctricos, conductores, y circuitos asociados, previstos para un fin particular: generación, transformación, transmisión, conversión, distribución, o uso final de energía eléctrica. La cual para los efectos del RETIE, debe considerarse como un producto terminado.

**LÍNEA ELÉCTRICA:** Conjunto compuesto por conductores, aisladores, estructuras y accesorios destinados para el transporte de energía eléctrica.

**MANIOBRA:** Conjunto de procedimientos tendientes a operar una red eléctrica en forma segura.

**MANTENIMIENTO:** Conjunto de acciones o procedimientos tendientes a preservar o restablecer un bien, a un estado tal que le permita garantizar máxima confiabilidad.

**MASA:** Conjunto de partes metálicas de un equipo, que en condiciones normales, están aisladas de las partes activas y se toma como referencia para las señales y tensiones de un circuito electrónico, las masas pueden estar o no estar conectadas a tierra.

**NIVEL DE RIESGO:** Equivale al grado de riesgo. Es el resultado de la valoración conjunta de la probabilidad de ocurrencias de los accidentes, de la gravedad de sus efectos y de la vulnerabilidad del medio.

**NORMA TÉCNICA COLOMBIANA (NTC):** Norma técnica aprobada o adoptada como tal por el organismo nacional de normalización.

**OPERADOR DE RED (OR):** Empresa de servicios públicos encargada de la planeación, de la expansión y de las inversiones, operación y mantenimiento de todo o parte de un sistema de Transmisión regional o un sistema de distribución local.

**PARARRAYOS:** Elemento metálico resistente a la corrosión cuya función es interceptar los rayos que podrían impactar directamente sobre la instalación a proteger, más técnicamente se denomina terminal de captación.

**RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA:** Es la relación entre el potencial del sistema de puesta a tierra a medir, respecto a una tierra remota y la corriente que fluyen entre estos dos puntos.

**SECCIONADOR:** Dispositivo destinado a hacer un corte visible en un circuito eléctrico y está diseñado para que se manipule después de que el circuito se ha abierto por otros medios.

**SUBESTACIÓN:** Conjunto único de instalaciones, equipos eléctricos y obras complementarias, destinado a la transferencia de energía eléctrica mediante transformación de potencia.

**TABLERO:** Encerramiento metálico o no metálico donde se arrojan elementos tales como aparatos de corte, control, medición, dispositivos de protección, barrajes.

**TENSIÓN:** La diferencia de potencial eléctrico entre dos conductores que hace que fluyan electrones por una resistencia.

**TENSIÓN DE CONTACTO:** Diferencia de potencial que durante una falla se presenta entre una estructura metálica puesta a tierra y un punto de la superficie del terreno a una distancia de un metro. Esta distancia horizontal es equivalente a la máxima que se puede alcanzar al extender un brazo.

**TENSIÓN DE PASO:** Diferencia de potencial que durante una falla se presenta entre dos puntos de la superficie del terreno separados por una distancia de un paso (aproximadamente u metro).

## **INTRODUCCIÓN.**

Este proyecto nace ante la necesidad de ampliar la infraestructura de aulas en La INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO, la Institución ha venido desempeñando un papel fundamental en la calidad de la educación superior, esto hace despertar cada día más el interés de nuevos aspirantes a ingresar a ella, lo que obliga a las administraciones a tomar decisiones con miras a la ampliación estructural de nuevas aulas, laboratorios y oficinas con el fin de suplir estas necesidades y poder prestar un mejor servicio a los 4.500 estudiantes, 1560 por jornada que serán ubicados en las 52 aulas de este nuevo bloque.

La prioridad a corto plazo de la INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO está enfocada a la construcción de un nuevo bloque de aulas, este bloque necesita todos los servicios domiciliarios de una edificación (acueducto, alcantarillado, energía), para poder consumir la energía debemos transformar los niveles de tensión que nos suministran los operadores de red mediante transformadores de voltajes y potencia que soporten la demanda a consumir en el nuevo edificio de aulas, estos deben contar con sus protecciones eléctricas ante cortos circuitos o sobre cargas (en media y baja tensión), mecánicas (celdas de protección), protección ante descargas atmosféricas, todos estos elementos se encuentran integrados en compartimientos, zonas o sectores destinados para ellos, los cuales reciben el nombre técnico de subestaciones eléctricas.

El objetivo de este trabajo es diseñar la subestación eléctrica de tipo interna en media tensión para este nuevo bloque de aulas, y a la vez sirva de guía a futuros diseños que se asimilen a este proyecto, se debe tener en cuenta la potencia a instalar, niveles de tensión, que tipo de subestación (interna, externa, media, alta o extra alta tensión) y se deben considerar los pasos para el desarrollo de los diseños de estas (niveles de corto circuito de los barrajes y capacidad ante la cargabilidad), deben ser seguros, confiables que no pongan en riesgo la vida animal, vegetal, humana y a los equipos que la conforman y dependan de ella.

Este proyecto se realizará en el terreno de la INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO, específicamente donde queda ubicado el bloque 3B, el desarrollo del este diseño no afecta para nada el medio ambiente.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En la actualidad LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO cuenta con una infraestructura física bastante amplia, pero debido al crecimiento estudiantil, administrativo y universitario se ve la necesidad de hacer ampliaciones físicas con miras a mejorar los servicios de aulas, laboratorios y oficinas, actualmente se viene gestionando empalmes o fusión con otras instituciones (SINERGÍA), lo cual también es motivo de expansión estructuralmente, para hacer esta expansión se debe tener en cuenta una cantidad de parámetros en la construcción de la misma como son: planeación, diseño civil, diseño arquitectónico, diseño de redes de acueducto y alcantarillado, diseño eléctrico, es aquí en donde entramos a participar aprovechando y aportando conocimientos adquiridos como estudiantes de ingeniería eléctrica dentro de la institución y por ende dejar un legado en ella, hoy en día todo depende de la electricidad, ella nos facilita muchas labores tanto en los hogares como en las oficinas y fábricas, su evolución y algunos riesgos hacen que cada día se adopten o mejoren normas con miras a la seguridad de las personas, los bienes y la naturaleza, estas normas se deben tener en cuenta para todo tipo de instalación eléctrica, bien sea nueva, reformas o ampliaciones<sup>1</sup>, en nuestro caso aplicamos para edificación nueva por tanto se debe tener en cuenta que cumpla con todos los requisitos de conformidad de acuerdo a los parámetros de las normas establecidas en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) para los diseños de subestaciones eléctricas internas en media tensión, facilitando la aprobación por el operador de red.

### 1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Cómo implementar un diseño de una subestación eléctrica interna en media tensión en el nuevo edificio bloque de aulas, que cumpla con todos los parámetros de norma y sea aprobada por el operador de red para su ejecución física?

---

<sup>1</sup> RETIE 30 De agosto 2013 Capítulo 1 artículo 2.1 instalaciones.



## 2. JUSTIFICACIÓN.

Este proyecto es considerado como modelo y de gran importancia para los diseños de subestaciones eléctricas internas, va enfocado a las construcciones de edificaciones que requieran de un diseño de una subestación en media tensión de tipo interna con un nivel de voltaje de 13,2 Kv, algunos parámetros varían de acuerdo a la potencia instalada, a los niveles de tensión, al área construida, si son internas o externas o de tipo pórtico, con él se pretende beneficiar a la población estudiantil, personal administrativo y del común, que dependan de los diferentes servicios que se presta en la INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO. Este proyecto en general beneficiará a toda la comunidad Pascualina. De los buenos cálculos y diseños eléctricos dependerá el buen funcionamiento y durabilidad de los equipos que se encuentren conectados en ella, además de ello también depende que las protecciones respondan efectivamente ante eventuales sobrecargas, bien sea de tipo natural (descargas atmosféricas) o electromecánico, que reaccionen a los aumentos desproporcionados e inadvertidos de las cargas (aumento de equipos eléctricos). Todos estos cálculos serán aplicados al diseño de la subestación eléctrica.

Con los conocimientos adquiridos en LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO, con la orientación del tutor asignado, este diseño es lógico que le salga más económico a la institución sin que se tenga que acudir a personal profesional externo en este campo de los diseños de subestaciones en media tensión.

LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO actualmente cuenta con una capacidad de potencia instalada de 845kVA distribuida en dos subestaciones una de 300kVA ubicada en el edificio administrativo (Centro Administrativo de Investigación y Servicios CIS) una de 500kVA ubicada en bloque 5 zona norte, además un transformador en poste de 45kVA en los límites de la cancha de fútbol sintética, el total de esta capacidad se ve limitada ante la construcción del nuevo bloque de aulas para el cual se va a diseñar una nueva subestación.

Al cumplir todos los parámetros de seguridad para las personas, los bienes y la naturaleza, el área y el diseño serán aprobados sin inconvenientes el diseño de la subestación eléctrica por el operador de red.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL.**

- Diseñar la subestación de tipo interna en media tensión del nuevo bloque de aulas 3B de la INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO y que cumpla con todas las normas estipuladas en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) y ambientales como la ISO-14001.

#### **3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.**

- Elaborar el diseño mediante los cálculos necesarios para la implementación de la subestación eléctrica interna en media tensión en el bloque nuevo de aulas de LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO.

- Realizar el presupuesto de materiales a utilizar que cumplan con las diferentes normas estipuladas en el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) y ambientales ISO - (14001).

- Seleccionar el equipo de trabajo que va a colaborar en la elaboración física del proyecto de acuerdo a los requerimientos de este.

-Solicitar al operador de red los valores de corriente y potencia de corto circuito, así como los valores de máxima corriente de falla a tierra del circuito existente, para realizar los cálculos necesarios de las protecciones y selección de los cables y barrajes.

-Evaluar ajuste y protecciones del nuevo sistema para su coordinación.

- Elaborar el proyecto de redes mediante la norma actual de EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLÍN (EPM).
  
- Seleccionar el valor de DPS de acuerdo a los resultados de los niveles cerámicos de la zona.
  
- Entregar el diseño.

## **4. MARCO TEORICO.**

### **4.1. DESCRIPCIÓN.**

Una subestación eléctrica es un conjunto de equipos utilizados para transferir el flujo de energía en un sistema de potencia, garantizar la seguridad de la misma por medio de dispositivos automáticos de protección y para distribuir el flujo de energía a través de rutas alternas durante contingencias. Una subestación puede estar asociada con una central de generación, controlando directamente el flujo de potencia al sistema con transformadores de potencia convirtiendo la tensión de suministro a niveles más altos o más bajos, o puede conectar diferentes rutas de flujo al mismo nivel de tensión.<sup>2</sup>

#### **4.1.1. CLASIFICACIÓN DE LAS SUBESTACIONES.**

Las subestaciones se clasifican en diferentes tipos, de acuerdo a su nivel de tensión, a su configuración, a su operación, a su función y de acuerdo a su exposición física. A continuación, se mencionan las más comunes:

- Subestaciones de patio de alta y extra alta tensión (pueden incluir, maniobra, transformación, compensación).
- Subestaciones de alta y extra alta tensión tipo interior (encapsuladas, generalmente y aisladas en gas SF<sub>6</sub>, hexafluoruro de azufre).
- Subestaciones en patio de distribución a media tensión.
- Subestaciones en interiores de distribución en media tensión (de control y operación del operador de red).
- Subestaciones en interiores de edificaciones en media tensión (de propiedad y operación del usuario).
- Subestaciones tipo pedestal, las cuales solo se deben instalar en zonas de circulación restringidas.

---

<sup>2</sup>RETIE agosto 2013. Capítulo VI. Requisitos para el proceso de transformación (subestaciones) pág. 143

- Subestaciones sumergibles (tanto el transformador como los equipos asociados de maniobra deben ser de tipo IP X8).
- Subestaciones semi-sumergibles o a prueba de inundaciones (los equipos deben estar protegidos a una inmersión temporal deben ser de tipo IP X7 y la bóveda o cámara debe garantizar el drenaje en un tiempo menor al soportado por el equipo).
- Subestaciones de distribución tipo poste.<sup>3</sup>

#### **4.1.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS.**

En un sistema eléctrico típico, la energía eléctrica se genera de diversos modos, pero siempre es transmitida hacia los centros de carga, sean estos clientes especiales, pequeños poblados, o grandes ciudades. Pero en la mayoría de los casos, la electricidad transmitida a estos puntos superan los miles de voltios, siendo necesarias subestaciones de transformación, en las que se obtienen niveles de voltajes distintos a los enviados desde los centros de generación, aunque también pueden existir subestaciones carentes de equipos de transformación, cuya función es simplemente la de conexión.

Podemos considerar a las subestaciones como nodos eléctricos, en los cuales se conectan distintos circuitos entre sí, mediante equipos de corte.<sup>4</sup>

#### **4.1.3. CONSIDERACIONES DE DISEÑO.**

Muchos factores influyen para la correcta selección del tipo de subestación para una aplicación dada. El tipo de subestación más apropiado depende de factores tales como el nivel de tensión, capacidad de carga, consideraciones ambientales, limitaciones de espacio en el terreno y necesidades de derecho de vía de la línea de transmisión. Además los criterios de dimensionamientos pueden variar entre sistemas.

Con el continuo aumento general en el precio de equipos, mano de obra, terrenos y adaptación de los mismos, el esfuerzo debe centrarse en criterios de selección que suplan las necesidades del sistema a los mínimos costos posibles. En vista de que

---

<sup>3</sup> RETIE agosto 2013 Artículo 23 Aspectos generales de las subestaciones pág. 143.

<sup>4</sup><http://www.buenastareas.com/ensayos/Subestaciones-Electricas-Maquinas-y-Equipo-Elctrico/1817818.html>.

el precio de los transformadores, seccionadores, totalizadores, impacta el precio global de la subestación, la configuración seleccionada resulta determinante.

La selección de niveles de aislamiento y prácticas de coordinación afecta el precio en forma considerable. La disminución del nivel básico de aislamiento (Basic Insulating Level- BIL) puede reducir el precio del equipo eléctrico, pero es importante tener esencial cuidado en el análisis de opciones del ahorro.

Una subestación debe ser confiable, económica, segura y con un dimensionamiento tan sencillo como sea posible; este último debe proporcionar un alto nivel de continuidades de servicio, contar con medios o elementos para futuras ampliaciones y flexibilizar su operación y mantenimiento, sin interrupciones en el servicio ni riesgos para el personal.

La orientación física de las rutas de las líneas de distribución influye en la ubicación y disposición de la barra en subestaciones. El lugar seleccionado debe ser tal que se pueda lograr un arreglo conveniente de las líneas.

El Reglamento técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) plantea una serie de normas que se deben cumplir en el momento de diseñar una subestación de tipo interna en media tensión independiente de que la subestación pertenezca a un operador de red o a uno o varios usuarios, este tipo de subestaciones deben cumplir lo establecido en la norma NTC 2050 sección 450 y adicionalmente los siguientes requisitos que le apliquen, adoptados en la norma IEC 62271-2000:

- a. En toda edificación que requiera de una subestación, debe destinársele el espacio con las dimensiones apropiadas de acuerdo al tipo de subestación y los requisitos del RETIE.
- b. En las subestaciones dentro de edificios, el local debe estar ubicado en un sitio de fácil acceso desde el exterior, localizado en áreas comunes con medios apropiados que faciliten la entrada y salida de los equipos, que permita a los profesionales competentes las labores de mantenimiento, revisión, e inspección.
- c. En subestaciones y cuartos eléctricos debe asegurarse que una persona no autorizada no pueda acceder a las partes energizadas del sistema, ni tocándolas de manera directa ni introduciendo objetos que lo puedan poner en contacto con un elemento energizado.

d. Para prevenir accidentes por arcos eléctricos al interior de la subestación se deben cumplir los siguientes requisitos.

Las celdas deben cumplir los requerimientos de protección en el capítulo 3 artículo 20.23 .2 del anexo RETIE.2013 (celdas de media tensión).

- Las puertas deben tener seguros y permanecer cerradas.

- Todos los elementos fijos deben estar debidamente soportados o asegurados que no se presente desprendimiento.

- No deben colocarse elementos combustibles o que propaguen el fuego dentro del alcance de un arco eléctrico.

- Las mallas y cerramientos deben estar sólidamente conectadas a tierra.

e. Toda subestación eléctrica alojada en cuartos debe disponer del número y forma apropiada de salidas de emergencia, para evitar que un operario quede atrapado en caso de accidente o emergencia.

f. Toda subestación eléctrica alojada en cuartos, sótanos, debe contar con los elementos de drenaje o bombeo que impida la inundación; en caso que esta condición no se pueda garantizar, el equipo debe ser tipo sumergible.

g. Los equipos eléctricos de la subestación o de cuartos eléctricos deben estar separados de la planta de emergencia por un muro o barrera que impida el acercamiento de persona no calificadas a elementos energizados.<sup>5</sup>

#### **4.2. MALLA DE PUESTA A TIERRA.**

Conjunto de elementos conductores de un sistema eléctrico específico, sin interrupciones ni fusibles, que unen los equipos eléctricos con el suelo o terreno. Comprende la puesta a tierra y todos los elementos puestos a tierra.<sup>6</sup>

Con la implementación de un sistema de puesta a tierra se busca lograr una adecuada coordinación entre el sistema de potencia y sus protecciones, garantizar

---

<sup>5</sup> RETIE agosto 2013 Artículo 24.2. Subestaciones de media tensión tipo interior o en edificaciones.

<sup>6</sup> Normas RA6-014 EPM y IEEE Std 811983 y ASTM G 5795 a.

la seguridad del personal y los equipos expuestos a tensiones peligrosas durante fallas a tierra, cumpliendo con los criterios establecidos en el RETIE.

Se debe tener presente que el criterio fundamental para garantizar la seguridad de los seres humanos, es la máxima energía eléctrica que pueden soportar, debida a las tensiones de paso, de contacto o transferidas y no el valor de resistencia de puesta a tierra tomado aisladamente.

La máxima tensión de contacto aplicada al ser humano (o a una resistencia equivalente de 1000Ω), está dada en función del tiempo de despeje de la falla a tierra, de la resistividad del suelo y de la corriente de falla. La tensión máxima de contacto no debe superar los valores dados en la siguiente tabla.

Tabla1. Máxima tensión de contacto para un ser humano.

| Tiempo de despeje de la falla | Máxima tensión de contacto admisible (rms c.a.) según IEC para 95% de la población. (Público en general) | Máxima tensión de contacto admisible (rms c.a.) según IEEE para personas de 50 kg (Ocupacional) |
|-------------------------------|--|---|
| Mayor a dos segundos          | 50 voltios   | 82 voltios  |
| Un segundo                    | 55 voltios   | 116 voltios   |
| 700 milisegundos              | 70 voltios   | 138 voltios   |
| 500 milisegundos              | 80 voltios   | 164 voltios   |
| 400 milisegundos              | 130 voltios  | 183 voltios   |
| 300 milisegundos              | 200 voltios  | 211 voltios   |
| 200 milisegundos              | 270 voltios  | 259 voltios   |
| 150 milisegundos              | 300 voltios  | 299 voltios   |
| 100 milisegundos              | 320 voltios  | 366 voltios   |
| 50 milisegundos               | 345 voltios  | 518 voltios   |

Fuente: RETIE. Edición 31 De Agosto 2013 Página 64.

La columna Dos aplica a sitios con acceso al público en general y fue obtenida a partir de la Norma NTC 4120 tomando como referente IEC 60479-2 y tomado la curva C1 de la figura 1 del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE, probabilidad de fibrilación del 5%). La columna Tres aplica para instalaciones de media, alta y extra alta tensión, donde se tenga la presencia de personal que conoce el riesgo y está dotado de elementos de protección personal.<sup>7</sup>

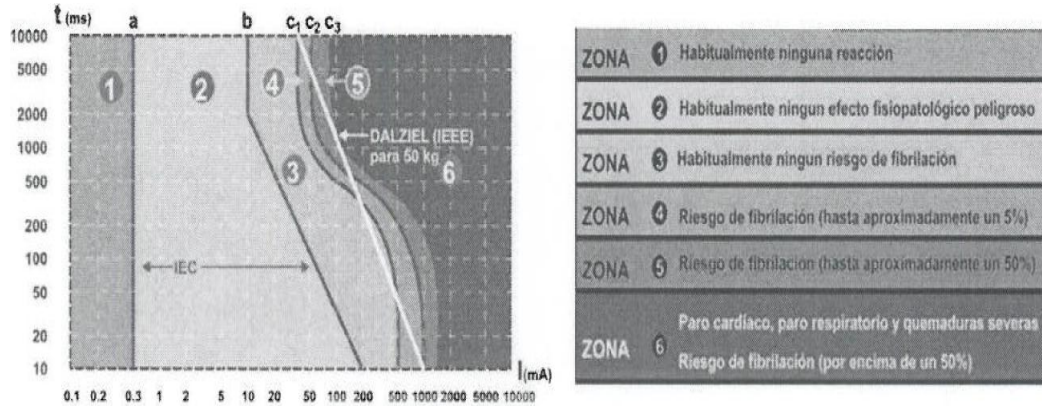
Para la elaboración de los cálculos se tomó como base la siguiente ecuación.

$$\text{Maxima tension de contacto} = \frac{116}{\sqrt{t}} [V, c, a]$$

<sup>7</sup>RETIE 2013 Capítulo 2 Artículo 9



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



Fuente: RETIE. Edición 31 de agosto 2013 página 42.

#### 4.2.1. PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.

Para efectos del diseño de una puesta a tierra de subestaciones se deben calcular las tensiones máximas admisibles de paso, de contacto y transferidas, las cuales deben tomar como base una resistencia del cuerpo de  $1000\Omega$  y cada pie como una placa de  $200\text{cm}^2$  aplicando una fuerza de  $250\text{N}$ .

#### 4.2.2. PROCEDIMIENTOS BÁSICOS SUGERIDOS PARA EL DISEÑO DE PUESTA A TIERRA

Según recomendaciones del RETIE los procedimientos básicos sugeridos son los siguientes.

- a. Investigar las características del suelo, especialmente la resistividad.
- b. Determinar la corriente máxima de falla a tierra, que debe ser entregada por el Operador de Red en media y alta tensión para cada caso en particular.
- c. Determinar el tiempo máximo de espeje de la falla para efectos de simulación.
- d. Investigar el tipo de carga.
- e. Cálculo preliminar de la resistencia de puesta a tierra
- f. Calcular las tensiones de paso, contacto y transferidas en la instalación.

g. Evaluar el valor de las tensiones de paso, contacto y transferidas calculadas con respecto a la so portabilidad del ser humano.

h. Investigar las posibles tensiones transferidas al exterior, debidas a tuberías, mallas, conductores de neutro, blindaje de cables, circuitos de señalización, además del estudio de las formas de mitigación.

i. Ajustar y corregir el diseño inicial hasta cumplir los requerimientos de seguridad.

j. Presentar un diseño definitivo.

#### **4.2.3. MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO.**

Las técnicas para medir la resistividad del suelo son esencialmente las mismas cualquiera sea el propósito de la medida. Sin embargo la interpretación de los datos recolectados puede varía considerablemente y especialmente donde se encuentren suelos con resistividades no uniformes. Típicamente, los suelos poseen varias capas horizontales superpuestas, cada una teniendo diferente resistividad. A menudo se presentan también cambios laterales de resistividad pero más graduales a menos que se configuren fallas geológicas. Por tanto, las mediciones de resistividad deben ser realizadas para determinar si hay alguna variación importante de la resistividad con la profundidad.

Las diferentes técnicas de medida son descritas en detalle en la IEEE Std 811983“IEEE Guide for measuring earth resistivity, ground impedance, and earth surface potential of a ground system”.

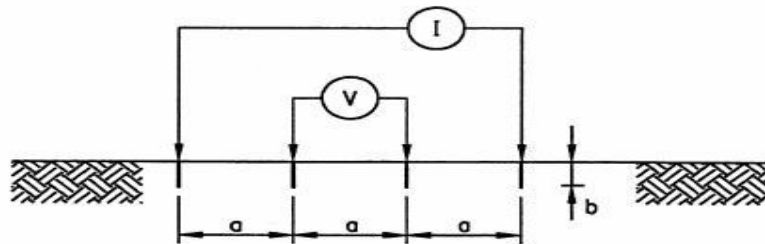
Para efectos de la norma RA6-014 de Empresas Públicas de Medellín, se asume como adecuado el método de Wenner o método de los cuatro puntos. En caso de ser muy difícil su aplicación, podrá apelarse a otro método referenciado por la IEEE Std 811983.

#### **4.2.4. MÉTODO DE WENNER.**

El método de los cuatro puntos o de Wenner es el método más preciso y popular. Son razones para esto que: el método obtiene la resistividad del suelo para capas

profundas sin enterrar los electrodos a dichas profundidades; no es necesario un equipo pesado para realizar las medidas; los resultados no son afectados por la resistencia de los electrodos auxiliares o los huecos creados para hincarlos en el terreno. El método consiste en enterrar pequeños electrodos tipo varilla, en cuatro huecos en el suelo, a una profundidad “b” y espaciados (en línea recta) una distancia “a” según se ilustra en la figura.

Figura 2. Método de medición de wenner.



Fuente: RETIE. Edición 31 de Agosto de 2013 página 68

Una corriente “I” se inyecta entre los dos electrodos externos y el potencial “V” entre los dos electrodos internos es medido por el instrumento. El instrumento mide la resistencia  $R = \frac{V}{I}$  del volumen de suelo cilíndrico de radio “a” encerrado entre los electrodos internos. La resistividad aparente del suelo  $\rho_a$ , a la profundidad “a” es aproximada por la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Resistividad aparente del suelo.

$$\rho = \frac{4\pi R a}{\left(1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{2a}{\sqrt{4a^2 + 4b^2}}\right)}$$

Fuente RETIE. Edición actualizada 31 de Agosto de 2013 página 69.

$\rho$  es la resistividad aparente del suelo en ohmios metro.

a es la distancia entre electrodos adyacentes en metros.

b es la profundidad de enterramiento de los electrodos en metros.

R es la resistencia eléctrica medida en ohmios, calculada como  $\frac{V}{I}$

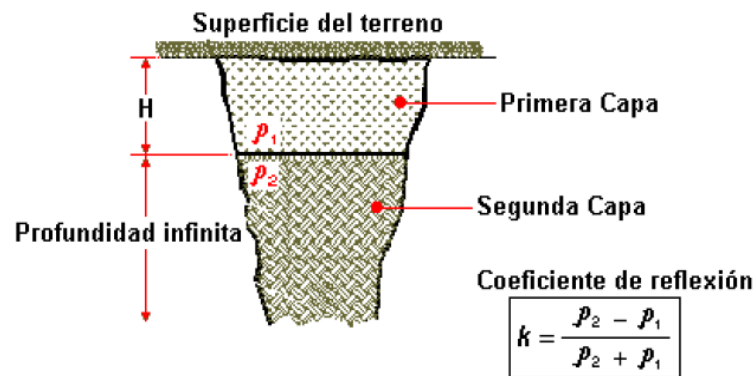
Dado que en la práctica la distancia “a” es mucho mayor que la profundidad de enterramiento “b”, la ecuación se simplifica de la siguiente manera:

$$\rho = 2\pi R a$$

#### 4.2.5. ANÁLISIS DE MALLA DE PUESTA A TIERRA DOBLE CAPA.

Para este proyecto se utiliza el método de las dos capas ya que el operador de red en nuestro caso Empresas Públicas de Medellín (EPM) verificara los resultados obtenidos por este método mediante un software de diseños de mallas de puesta a tierra independiente a los utilizados por el proyectista<sup>8</sup>, este consiste en la modelación del suelo en dos capas de Resistividad uniforme con base en los valores de resistividad tomados en el terreno. Este modelo sirve para estudiar el comportamiento del sistema de puesta a tierra frente a fallas originadas por condiciones atmosféricas o en el sistema de potencia.<sup>9</sup>

Figura 3. Sistema esquemático modelación del terreno doble capa



Fuente: Diseño de malla de puesta a tierra Escuela superior de administración pública, ESAP.

#### 4.2.6. PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN.

Para las mediciones de resistividad del suelo aplicando el método de Wenner, deberán tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- Realizar una inspección visual del área para identificar obstáculos inmediatos o previsibles, tanto para la medición como para la construcción o el mantenimiento de la puesta a tierra.
- Los electrodos a utilizar con el método de Wenner deben estar bien alineados e igualmente espaciados.

<sup>8</sup> Norma RA6-014 EPM

<sup>9</sup> IEB. Diseño de la malla de puesta a tierra para la subestación tipo interior de 225 kva, en las instalaciones de la escuela superior de administración pública (ESAP), localizadas en la ciudad de Bogotá.

- Los electrodos deben ser enterrados (en lo posible) a una misma profundidad. La profundidad no debe exceder el 5% de la separación mínima de los electrodos (5 a 10 cm).

Es aconsejable una mayor profundidad para terrenos arenosos, de tal forma que se asegure un contacto íntimo entre el electrodo y el terreno (si esto impide cumplir el límite de 5%, para el cálculo se debe aplicar la ecuación no simplificada).

- Los electrodos y placas deben estar bien limpios y exentos de óxido para posibilitar un buen contacto con el suelo.

- Durante la medida, deben registrarse datos que ayuden a una caracterización estacional, como fecha de la medición, fecha de la última lluvia acontecida, periodo seco o lluvioso.

### 4.3. ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.

Teniendo en cuenta lo estipulado en el artículo 16 del reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE 2013) protección contra rayos, que exige que las instalaciones de uso final que contengan alta concentración de personas (tal como lo es un centro de educación) tengan una evaluación del nivel de riesgo por exposición al rayo, el cual es la fuente primaria de daños de las estructuras y los servicios que llegan a ella así como las estructuras de las edificaciones que la rodean.

#### 4.3.1. RIESGO TOLERABLE

Los valores normalizados de riesgos tolerables para los distintos tipos de pérdidas lo provee la norma NTC 4552-2.

Tabla 2. Valores típicos de riesgo tolerable.

| Tipo de pérdida                         | $R_T (y^{-1})$ |
|---|----------------|
| Pérdida de vidas o lesiones permanentes | $10^{-5}$      |
| Pérdida de servicio público             | $10^{-3}$      |
| Pérdida de patrimonio Cultural          | $10^{-3}$      |

Fuente: NTC. 4552-2.

#### 4.3.2. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE DESCARGAS A TIERRA (DDT).

Para determinar el índice de descargas por kilómetro cuadrado en un año es necesario conocer el nivel ceráunico de la población en que se encuentra la estructura, para lo cual se utiliza el mapa con nivel ceráunico de Colombia y de ahí obtenemos el valor resultante para la ciudad de Medellín.

Según el Mapa de Niveles ceráunicos de Colombia elaborado en la Universidad Nacional se puede asignar para la ciudad de Medellín, un nivel ceráunico de 140 días tormentosos por año, con lo cual la densidad de descargas a tierra es de 3,788 rayos/km<sup>2</sup>/año (figura 3).

La densidad de rayos a tierra DDT, se debe obtener de una red de localización de descargas o en su defecto mediante la estimación de la siguiente ecuación:

Ecuación 2: Densidad de descarga a tierra

$$DDT=0,0017 * NC^{1,56}$$

Fuente: Promedios multianuales convenio Universidad Nacional-Himat

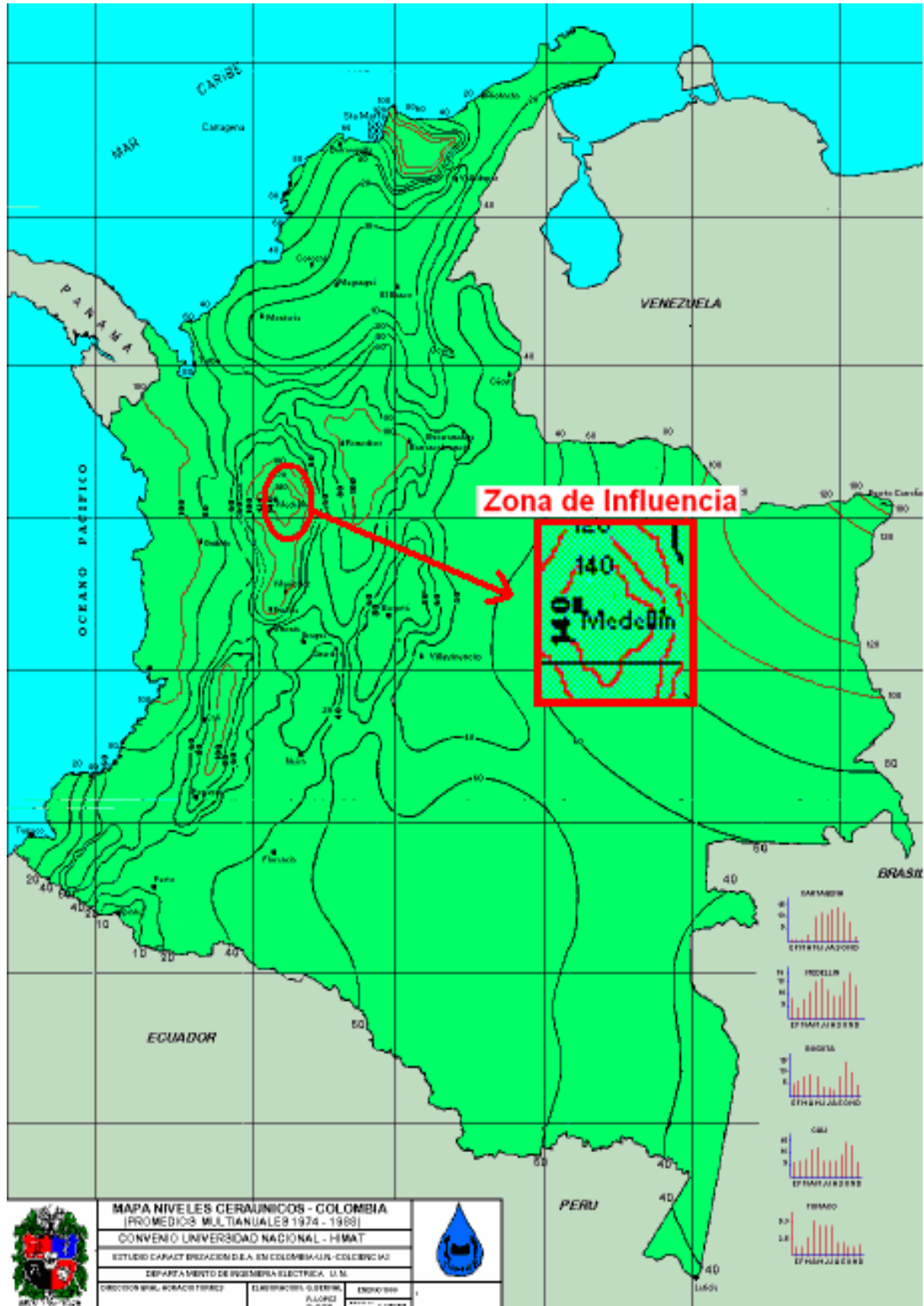
En donde:

Nc = Número de días tormentosos al año

DDT = Densidad de Descargas a tierra (rayos /km<sup>2</sup>/año)

Para los diseño del apantallamiento se utiliza el criterio de protección contra descargas mayores o iguales a 10 kA correspondiente a un radio de descarga ≥45 m, recomendado por la Norma ANSI/NFPA 780.

Figura 4. Mapa niveles cerámicos de Colombia. (Medellín).



FUENTE: Promedios multianuales convenio Universidad Nacional-Himat.

Tabla 3. Valores de densidad de descargas a tierra.

| CIUDAD       | LATITUD | LONGITUD | DDT PROMEDIO |
|--------------|---------|----------|--------------|
| Barranquilla | 10,9    | -74,8    | 1            |
| Cartagena    | 10,5    | -75,5    | 2            |
| Corozal      | 9,3     | -75,3    | 3            |
| El Banco     | 9,1     | -74      | 10           |
| Magangue     | 9,3     | -74,8    | 5            |
| Monteria     | 8,8     | -75,9    | 2            |
| Quibdo       | 5,7     | -76,6    | 9            |
| Sta. Marta   | 11,1    | -74,2    | 2            |
| Tumaco       | 1,8     | -78,8    | 1            |
| Turbo        | 8,1     | -76,7    | 5            |
| Valledupar   | 10,4    | -73,3    | 2            |
| Riohacha     | 11,5    | -72,9    | 2            |
| Armenia      | 4,5     | -75,8    | 2            |
| Barranca     | 7       | -73,8    | 7            |
| Bogota       | 4,7     | -74,2    | 1            |
| Bucaramanga  | 7,1     | -73,1    | 1            |
| Calli        | 3,6     | -76,4    | 1            |
| Cucuta       | 7,9     | -72,5    | 1            |
| Girardot     | 4,3     | -74,8    | 5            |
| Ibague       | 4,4     | -75,2    | 2            |
| Ipiales      | 0,8     | -77,6    | 1            |
| Manizales    | 5       | -75,5    | 2            |
| Medellin     | 6,1     | -75,4    | 1            |
| Nelva        | 3       | -75,3    | 1            |
| Ocana        | 8,3     | -73,4    | 2            |
| Pasto        | 1,4     | -77,3    | 1            |
| Pereira      | 4,8     | -75,7    | 4            |
| Popayan      | 2,4     | -76,6    | 1            |
| Remedios     | 7       | -74,7    | 12           |
| Vicencio     | 4,2     | -73,5    | 1            |
| Bagre        | 7,8     | -75,2    | 12           |
| Samana       | 5,4     | -74,8    | 9            |

Fuente: <http://www.paas.unal.edu.co/investigacion/RiskFile2008/Index.html>.

La norma ICONTEC 4552-2 “Protección Contra Descargas Eléctricas Atmosféricas” plantea una metodología determinística que evalúa en forma cualitativa el riesgo de exposición de las edificaciones y estructuras teniendo en cuenta dos parámetros



asociados con el fenómeno del rayo (la densidad de descargas a tierra y la corriente pico) y el tipo de estructura a proteger<sup>10</sup>.

#### **4.4. DISPOSICIONES GENERALES PARA LOS LOCALES DE SUBESTACIÓN TIPO INTERIOR.**

El local para subestación tipo interior, albergará los equipos de maniobra, protección, transformación, medida y en general el conjunto de equipos utilizados para transferir el flujo de energía desde el sistema de distribución del OR hasta el uso final, garantizando la seguridad de las personas y del sistema eléctrico, la correcta operación del sistema, por medio de dispositivos de protección, y así como también el correcto registro y medición de energía eléctrica.

Las subestaciones deben cumplir con las condiciones de acceso, espacio de trabajo, distancias de seguridad, iluminación, ventilación y altura mínima y demás especificaciones establecidas en la norma RA8-014 y RA6-011 de Empresas Públicas de Medellín (EPM) y RETIE.

##### **4.4.1. DIMENSIONES DE LA SUBESTACIÓN.**

En el local de la subestación debe existir y se debe mantener un área suficiente para la colocación de los equipos, el acceso y el espacio de trabajo para la segura manipulación y el mantenimiento de los mismos.

En las subestaciones interiores todos los equipos eléctricos serán resguardados por medio de celdas debidamente conectadas a tierra<sup>11</sup>.

##### **4.4.2. CELDAS**

Es una estructura construida para instalarse de manera auto soportada y destinada a encerrar transformadores de potencia, transformadores de corriente, de potencial y equipos de seccionamiento de media tensión tales como interruptores o

---

<sup>10</sup> <http://www.paas.unal.edu.co/investigacion/RiskFile2008/Index.html>

<sup>11</sup> NORMA RA8-014. Disposiciones Generales para los locales de subestación tipo interior. (EPM).

seccionadores<sup>12</sup>. Estas deben cumplir con lo establecido en el numeral 20.23.3 y 20.23 4 del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE (versión 2013). Adicionalmente, deben cumplir con lo establecido en la sección 384 de la norma NTC 2050, RA8-013 de Empresas Públicas de Medellín (EPM), que trata sobre las especificaciones técnicas de todas las celdas en media tensión y gabinetes o tableros para los interruptores termo magnético.

#### **4.4.3. SECCIONADORES PARA MEDIA TENSIÓN.**

Son dispositivos mecánicos de maniobra sin carga que por razones de seguridad, asegura en posición de abierto, una distancia de aislamiento y se emplea para aislar un elemento de una red eléctrica o una parte de la misma del resto de la red, con el fin de ponerlos fuera de servicio o para llevar a cabo trabajos de mantenimiento.

Un seccionador debe poder soportar de forma indefinida las corrientes que se presentan en condiciones normales y las que se presentan en condiciones exponenciales, como las de corto circuito.

Cuando se instalen seccionadores como equipos de corte deberán cumplir con las siguientes características eléctricas y mecánicas.

#### **4.4.4. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS.**

- Tensión nominal: 15 kV.
- Corriente Nominal: 100 Amperios mínimo.
- Conexión del sistema: Y con neutro sólidamente a tierra.
- Tiempo de apertura: 300 ms.
- Nivel de aislamiento: 110 kV
- Frecuencia de operación: 60 Hz.
- Capacidad de interrupción igual a la corriente nominal.
- Norma de fabricación IEC- 420.<sup>13</sup>

---

<sup>12</sup>NORMA EPM RA8-013. Celdas de Media tensión y tableros de baja tensión. (EPM).

<sup>13</sup> <http://socol.com.co/productos/celdas-con-seccionadores-aislados-en-sf6-uso-interior/>

#### **4.4.5. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS.**

- Mecanismo de operación de energía acumulada tipo resortes.
- Dispositivo manual por palancas para accionar resortes.
- El equipo poseerá tres (3) fusibles para interrumpir fallas en la carga.
- tensión nominal: 15kV.
- Corriente nominal: Ajustada a la carga de la subestación.
- Capacidad de interrupción de cortocircuito: 25kA ó 40kA (según el caso).
- Tipo de fusible: Rápido.
- Cada fusible tendrá indicación de la colocación adecuada para que su percutor actúe sobre el mecanismo de disparo del seccionador en caso de fallas eléctricas<sup>14</sup>.

#### **4.5. TRANSFORMADORES.**

Los transformadores a instalar mayores a 3 kVA deben estar diseñados bajo las normas nacionales e internacionales NTC 3445, NTC 317, NTC 380, NTC 1656, NTC 3607, NTC 618, NTC4907, IEC 60076-1, RA7-060, ANSI C57<sup>15</sup> las cuales dependen del destino del transformador, estos deben tener todas las recomendaciones, información, descripción y notas de seguridad, estas deben ser suministradas por el o los fabricantes.

##### **4.5.1. GENERALIDADES.**

Históricamente los transformadores sumergido en aceite han sido la opción más utilizada en las redes o instalaciones eléctricas, pero debido a algunos inconvenientes asociados con el manejo ambiental, probabilidad mayor de incendio, el control de fugas y mantenimiento general han motivado la evolución y uso de los transformadores tipo seco en zonas como: centros comerciales, edificios de uso público, hospitales, túneles, bancos, entre otros.

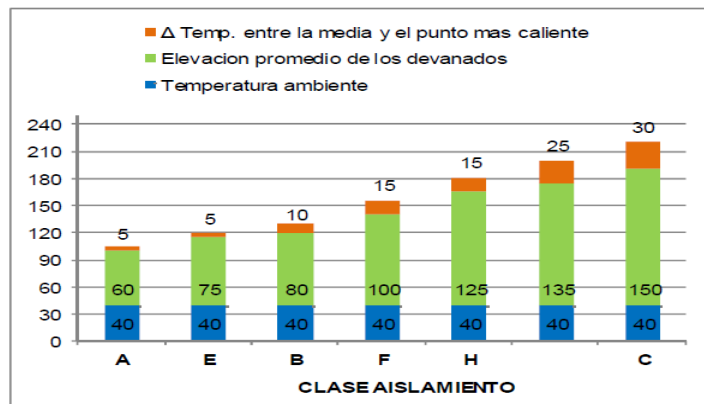
---

<sup>14</sup> NORMARA8-010. Especificaciones Mínimas para equipos doble tiro. A 13.2kV. (EPM).

<sup>15</sup> RETIE 2013 CAPITULO 3 NUMERAL 20.25.

Existen en el mercado varios tipos de transformadores secos la letra o nombre indica la clase de aislamiento así:

Tabla 4. Tipos de aislamientos en los transformadores secos.



Fuente: [www.magnetron.com.co](http://www.magnetron.com.co).

Estos pueden ser diseñados con bobinado abierto o expuesto, o bobinado encapsulado en resina epóxica, los cuales son diseñados para trabajar en condiciones adversas como: Intensas contaminaciones y condensaciones o combinaciones de las mismas, mayor soporte del fuego durante un tiempo determinado.<sup>16</sup>

#### 4.6. CABLE XLPE 1/0 133%- 15 kV.

##### 4.6.1. APLICACIONES.

Se usa en redes subterráneas de distribución primaria en zonas comerciales o residenciales donde la densidad de carga es muy elevada. En plantas industriales y en edificios con subestaciones localizadas en varios niveles para la alimentación y distribución primaria de energía eléctrica. Instalación en ductos, canaletas o enterrado directo.

<sup>16</sup> [www.magnetron.com.co](http://www.magnetron.com.co)

## 4.6.2. CONSTRUCCIÓN.

Es un conductor compactado de cobre blando o aluminio, pantalla semiconductora del conductor, aislamiento de XLPE-TR, pantalla semiconductora del aislamiento aplicados en triple extrusión y vulcanizado en seco. Pantalla de cinta de cobre\* y chaqueta de PVC-UV. También se fabrican con aislamiento de EPR y pantalla en hilos de cobre.

## 4.6.3. CARACTERÍSTICAS.

- Tensión máxima de operación: 5 kV, 8 kV, 15 kV, 25 kV, 35 kV y 46 kV.
- Temperatura máxima de operación normal: 90 °C. En condiciones de emergencia: 130 °C. En condiciones de corto circuito: 250 °C.
- Retardante a la llama.
- Resistente a la luz solar.
- Aislamiento XLPE-TR extra limpio y retardante a la arborescencia (ruptura del aislante por descargas parciales).

\*Espesor de la cinta de cobre: 0,064 mm<sup>17</sup>

Tabla 5. Tabla de características cables xlpe 1/0 15kv-133%.

| Conductor |                 |          | Aislamiento |         |        | Chaqueta                   |                    |                        | Masa total aprox.  |
|-----------|-----------------|----------|-------------|---------|--------|----------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
| Calibre   | Área            | Diámetro | Espesor     |         |        | Diámetro sobre aislamiento | Espesor mínimo*    | Diámetro total aprox.  | Masa total aprox.  |
|           |                 |          | Mínimo      | Nominal | Máximo |                            |                    |                        |                    |
| Conductor |                 |          | Insulation  |         |        | Jacket                     |                    |                        | Total mass approx. |
| Size      | Area            | Diameter | Thickness   |         |        | Diameter on insulation     | Minimum thickness* | Total diameter approx. | kg/km              |
| AWG/kcmil | mm <sup>2</sup> | mm       | mm          | mm      | mm     |                            |                    |                        |                    |
| 2         | 33,6            | 6,81     | 5,33        | 5,59    | 6,35   | 18,7                       | 1,78               | 24,4                   | 819                |
| 1         | 42,4            | 7,60     | 5,33        | 5,59    | 6,35   | 19,4                       | 1,78               | 25,2                   | 922                |
| 1/0       | 53,5            | 8,55     | 5,33        | 5,59    | 6,35   | 20,4                       | 1,78               | 26,2                   | 1052               |
| 2/0       | 67,4            | 9,57     | 5,33        | 5,59    | 6,35   | 21,4                       | 1,78               | 27,2                   | 1211               |
| 3/0       | 85,0            | 10,8     | 5,33        | 5,59    | 6,35   | 22,6                       | 1,78               | 28,4                   | 1410               |
| 4/0       | 107,2           | 12,1     | 5,33        | 5,59    | 6,35   | 23,9                       | 1,78               | 29,7                   | 1653               |
| 250       | 126,7           | 13,2     | 5,33        | 5,59    | 6,35   | 25,3                       | 1,78               | 31,0                   | 1876               |
| 300       | 152,0           | 14,5     | 5,33        | 5,59    | 6,35   | 26,6                       | 1,78               | 32,8                   | 2178               |
| 350       | 177,3           | 15,7     | 5,33        | 5,59    | 6,35   | 27,8                       | 1,78               | 34,0                   | 2447               |
| 500       | 253,4           | 18,7     | 5,33        | 5,59    | 6,35   | 30,8                       | 1,78               | 37,0                   | 3238               |
| 600       | 304,0           | 20,7     | 10,80       | 5,59    | 6,35   | 32,9                       | 1,78               | 39,0                   | 3771               |
| 750       | 380,0           | 23,1     | 10,80       | 5,59    | 6,35   | 35,3                       | 1,78               | 41,5                   | 4542               |
| 1000      | 506,7           | 26,9     | 10,80       | 5,59    | 6,35   | 39,2                       | 2,54               | 47,5                   | 6026               |

Fuente: Catálogo de cables CENTELSA.

<sup>17</sup> NTC 2186-2, ANSI/ICEA S93-639, NEMA WC74

#### **4.7. CANALIZACIONES PARA REDES ELÉCTRICAS SUBTERRÁNEAS EN MEDIA TENSIÓN.**

En las grandes ciudades se utilizan tanto los sistemas de distribución aéreos como subterráneos, el costo de la distribución subterránea es mucho mayor que el de la distribución aérea. Al aumentar las densidades de carga, la construcción aérea se vuelve difícil de manejar en virtud de los transformadores y conductores de mayor tamaño que se requiere. Por esta razón en las zonas comerciales del centro, en la mayor parte de las ciudades se acostumbra a utilizar la distribución subterránea.

Aunque un porcentaje más bien pequeño de los alimentadores nuevos para fines generales se están instalando por completo subterránea, la tendencia a este tipo está aumentando y se espera que siga creciendo. Como es difícil manejar muchas funciones de mantenimiento en un sistema subterráneo mientras está energizado en contraste con las prácticas en los sistema aéreos, se debe tomar precauciones específicas en el diseño del sistema para incorporar el equipo necesario para seccionamiento y protección contra sobre corrientes.

Por estas razones, se presenta en este proyecto, el cual nos indica la instalación de un sistema subterráneo, basado en las normas para canalizaciones de redes subterráneas, cárcamos o cámaras de paso de EPM (Empresas Públicas de Medellín).

#### **4.8. DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRE TENSIONES (DPS).**

Son dispositivos que protegen los equipos, la red de suministro eléctrico y demás aparatos localizados en la edificación, frente a sobretensiones de origen atmosférico y por fallas eléctricas. Los rayos que caen en las edificaciones producen sobretensiones, tanto en los elementos que directamente recibieron el rayo, como en los cables y equipos cercanos vía inducción. Estas sobretensiones causan el daño o el funcionamiento anormal de equipos eléctricos y electrónicos, y riesgos a las personas.

Proteger los equipos y personas de tal forma no sea dañado por descargas que entren a través de la red de suministro eléctrico durante tormentas o fallas eléctricas.

Cumplimiento de normas nacionales (RETIE) y las internacionales (ANSI e IEC), RA7-108 de EPM.

Cada año se presentan grandes pérdidas en los sectores industrial, comercial y residencial debidas, por un lado al lucro cesante y por otra parte a los daños en equipos, especialmente aquellos cuya electrónica es muy sensible como los dispositivos de cómputo, control, comunicaciones, ascensores, etc., daños generados por la caída de rayos, tanto dentro de las instalaciones afectadas, como a varios kilómetros de distancia.

Para minimizar los riesgos de daño y evitar la salida de servicio de los sistemas de comunicaciones y las interrupciones en los procesos de producción, las normas nacionales e internacionales recomiendan, como complemento necesario dentro de los sistemas de protección contra rayos, el uso de protectores contra sobretensiones (DPS). El Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) exige la instalación de estos dispositivos y en las normas internacionales ANSI/C62.41 e IEC 1024 se presentan metodologías de selección, además de la norma colombiana NTC 4552.

Para la selección de un DPS, a instalar en cualquier punto de la instalación se debe hacer bajo los siguientes parámetros.

Los datos mínimos que se debe especificar en un DPS son:

Corriente nominal de descarga kA.

Forma de Onda  $\mu$ s.

Tensión al impulso kV.

Clase.

Tensión Nominal V.

Tipo de Conexión Monofásico trifilar; Trifásico tetra filar, trifásico pentafilear.

Nivel de Protección Kv.

Con estos pasos se seleccionara los DPS para instalar en la llegada de la acometida en baja tensión, en un nodo de distribución para el sistema de red Regulada y un equipo electrónico.<sup>18</sup>

Tabla 6. Selección de dps.

| Nivel de Riesgo | CLASE A   |   |                     |      |           | 1.2/50                    |                     |      | CLASE B   |  |                     |      | CLASE C   |                                       |                     |      |
|-----------------|-----------|---|---------------------|------|-----------|---------------------------|---------------------|------|-----------|--|---------------------|------|-----------|---------------------------------------|---------------------|------|
|                 | kA<br>DPS | Cat II: Electrodomésticos, herramientas portátiles. |                     |      | kA<br>DPS | Cat I: Equipo electrónico |                     |      | kA<br>DPS | Cat III: Tableros, interruptores, cables, etc. |                     |      | kA<br>DPS | Cat IV: Contadores, llegada acometida |                     |      |
|                 |           | 120 - 240;<br>120/208                               | 254/440;<br>277/480 | 1000 |           | 120 - 240;<br>120/208     | 254/440;<br>277/480 | 1000 |           | 120 - 240;<br>120/208                          | 254/440;<br>277/480 | 1000 |           | 120 - 240;<br>120/208                 | 254/440;<br>277/480 | 1000 |
|                 |           | KV  |                     |      |           | KV                        |                     |      |           | KV   |                     |      |           | KV                                    |                     |      |
| I               | 120       | 1.5   | 2.5                 | 4    | 36        | 0.8                       | 1.5                 | 2.5  | 240       | 2.5  | 4                   | 6    | 480       | 4                                     | 6                   | 8    |
| 200 KA          | 90        | 1.5   | 2.5                 | 4    | 20        | 0.8                       | 1.5                 | 2.5  | 160       | 2.5  | 4                   | 6    | 320       | 4                                     | 6                   | 8    |
| II              | 90        | 1.5   | 2.5                 | 4    | 20        | 0.8                       | 1.5                 | 2.5  | 160       | 2.5  | 4                   | 6    | 320       | 4                                     | 6                   | 8    |
| 150 KA          | 50        | 1.5   | 2.5                 | 4    | 10        | 0.8                       | 1.5                 | 2.5  | 120       | 2.5  | 4                   | 6    | 240       | 4                                     | 6                   | 8    |
| III             | 50        | 1.5   | 2.5                 | 4    | 10        | 0.8                       | 1.5                 | 2.5  | 120       | 2.5  | 4                   | 6    | 240       | 4                                     | 6                   | 8    |
| 100 KA          | 36        | 1.5   | 2.5                 | 4    | 5         | 0.8                       | 1.5                 | 2.5  | 90        | 2.5  | 4                   | 6    | 160       | 4                                     | 6                   | 8    |
| IV              | 36        | 1.5   | 2.5                 | 4    | 5         | 0.8                       | 1.5                 | 2.5  | 90        | 2.5  | 4                   | 6    | 160       | 4                                     | 6                   | 8    |
| 100 KA          | 36        | 1.5   | 2.5                 | 4    | 3         | 0.8                       | 1.5                 | 2.5  | 50        | 2.5  | 4                   | 6    | 120       | 4                                     | 6                   | 8    |

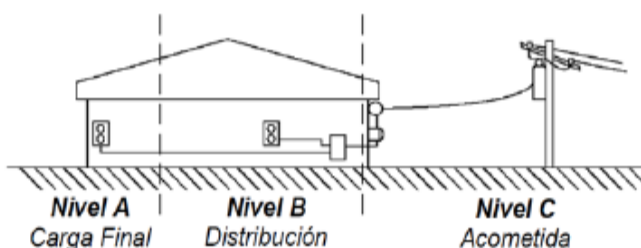


Tabla C1 NTC 4552-1 Corriente primera descarga corta

Tabla E.3 NTC 4552-1 Nivel de Tensión Nodo

Anexo C IEC 62305-4 Forma de Onda

Selección DPS sin coordinación de DPS, único en la instalación.

Selección DPS con coordinación de DPS.

Fuente: Estudio técnico para el sistema de protección contra descargas atmosféricas en la universidad de la Salle sede candelaria Wilson Alberto Castiblanco Pardo.

#### 4.9. PROTECCIONES MEDIA Y BAJA TENSIÓN.

Los objetivos o requisitos de las protecciones es actuar en cualquier momento que se necesite, con el fin de proteger a las personas y los bienes, esto es, siempre que ocurra la falla para la cual se diseñó. La protección contra corto circuito por ejemplo debe discriminar entre corrientes de sobre carga y corrientes de corto circuito, adicionalmente deben ser capaces de censar las cantidades que describen las fallas. Para ello se acostumbra a definir factores de sensibilidad.

<sup>18</sup> Estudio técnico para el sistema de protección contra descargas atmosféricas en la universidad de la salle, cede candelaria (Valle) Wilson Alberto Castiblanco Pardo.



Deben actuar tan pronto como sea posible, esto quiere decir que deben actuar antes que las cantidades de falla (voltajes o corrientes) hayan dañado los dispositivos a proteger, esta protección debe actuar solo en el sector donde se produce la falla.

Las normas RA8-002, RA7-O60, RA8-005 establecen los parámetros de protección en media tensión para los distintos tipos y potencias de transformadores.<sup>19</sup>

---

<sup>19</sup> Protecciones eléctricas Gilberto Carrillo Caicedo

## **5. METODOLOGÍA.**

Este proyecto surge ante la necesidad de expansión física de la INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO, necesidad manifestada en la construcción de un nuevo bloque de aulas para prestar más y mejores servicios, el cual es de gran importancia para la población estudiantil de la INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO, se recopila información sobre los diseños de subestaciones en media tensión de tipo interna (normas que las rigen y parámetros de construcción).

El proyecto está enmarcado dentro de la investigación aplicada, para su desarrollo e implementación se requieren conocimientos adquiridos en diversas áreas de la ingeniería eléctrica para realizarlo, se debe tener en cuenta que se está diseñando una subestación eléctrica en media tensión de tipo interna, proceso en el cual se pone en práctica los conocimientos adquiridos durante la profesionalización en la ingeniería eléctrica.

### **5.1. ETAPAS DEL PROYECTO.**

#### **5.1.1 PRIMERA ETAPA.**

En esta etapa se hace recopilación de toda la información o referentes teóricos que ayuden a llevar a cabo el diseño de la subestación eléctrica en media tensión tipo interna y las distintas normas en las que se apoya.

#### **4.1.2. SEGUNDA ETAPA.**

##### **4.1.2.1. EJECUCIÓN DEL DISEÑO DE LA SUBESTACIÓN.**

En esta etapa se lleva a cabo todo lo relacionado con el diseño de la subestación (área construida, consumo eléctrico de la edificación, red de alimentación en media tensión más cercana).

Se solicita al operador de red los datos de corriente y potencias de cortocircuito de la red de alimentación de LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO y se verifica capacidad actual instalada.

Análisis y selección del tipo de alimentación en media tensión desde el punto más cercano de la red a la subestación, bien sea aérea o subterránea, selección del tipo de transformador (seco o en aceite) y su capacidad, conductores externos, pararrayos, las normas que la rigen y elaboración del diseño de la subestación.

## **6. RESULTADOS DEL PROYECTO.**

La parte inicial de este diseño se comienza a consolidar desde los orígenes de los planos de la INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO. Para los cuales se tuvo en cuenta las necesidades de los usuarios y la edificación como tal.

### **6.1. PLANEACIÓN**

- Se realizó una inspección visual del terreno donde se va a construir el nuevo bloque de aulas con el fin de determinar punto más cercano de conexión eléctrica y la identificación del circuito alimentador, estado del terreno con miras a hacer el estudio de la malla a tierra.

- Se inspecciono el punto de conexión y se determinó que sería por celda de remonte en la subestación norte 500kVA.

- Se inspecciona la trayectoria por donde irá el cable alimentador de la subestación en media tensión subterránea.

- Se investigan las normas correspondientes para la elaboración del diseño de la subestación en media tensión de tipo interna.

- Se identifica el circuito alimentador de EPM (Empresas Públicas de Medellín), para nuestro caso es el R 31-06.

- Se verifica elementos que conforman la subestación norte con miras a determinar espacios para ubicación celda de remonte y seccionadores.

- Se solicitan las áreas de la nueva edificación, pisos que la conforman, y cargas adicionales aparte del alumbrado (ascensores, aires acondicionados, motobombas, etc.).

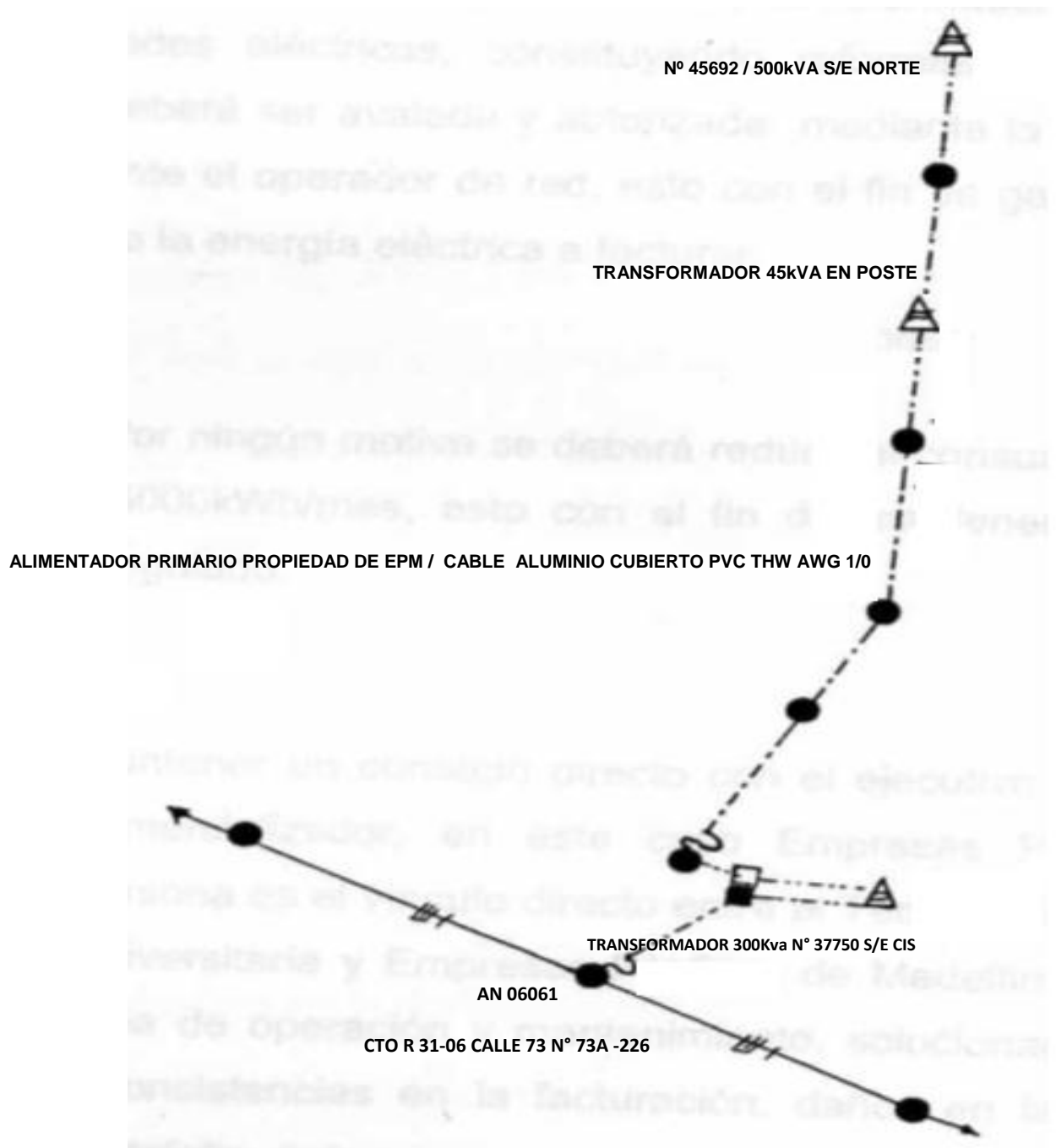
- Se establece la ruta de la acometida alimentadora en media tensión teniendo en cuenta algunos desagües que están ya establecidos en esta.
  
- Selección distintos programas para los cálculos eléctricos de diseño.

Foto 1. Trayectoria línea media tensión existente (blanca) y futura (roja), lote donde quedará ubicado el nuevo bloque de aulas.



Fuente: Tomada en la INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO MEDELLÍN (Google earth)

Figura 5: Línea existente y cargas en la institución universitaria pascual bravo.



Fuente: Tesis Adecuación e integración de la medida Código 62137-A33.

## 6.2. DESARROLLO DEL PROYECTO.

### 6.2.1. TRAMITES ANTE EL OPERADOR DE RED EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN.

Se tramita ante el operador de red (EPM) los niveles de cortocircuito, potencia de corto circuito, valores de secuencia, y máxima corriente de falla a tierra del circuito R 31-06.

La respuesta del operador de red mediante radicado número 2013102821 fue:

Tabla 7. Datos del circuito R 31-06

#### Corriente de Cortocircuito

| Corriente cortocircuito monofásica [A] | Corriente cortocircuito bifásica [A] | Corriente cortocircuito trifásica [A] |
|--|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 2970                                   | 3950                                 | 4300                                  |

#### Potencia de Cortocircuito

| Potencia cortocircuito monofásica [MVA] | Potencia cortocircuito bifásica [MVA] | Potencia cortocircuito trifásica [MVA] |
|---|---------------------------------------|--|
| 70                                      | 85                                    | 100                                    |

Los valores de secuencia para este circuito se muestran a continuación:

| EQUIVALENTES DE SECUENCIA |          |        |          |          |
|---------------------------|----------|--------|----------|----------|
| R1 [OHM]                  | X1 [OHM] | X/R    | R0 [OHM] | X0 [OHM] |
| 0.1597                    | 2.2716   | 14.223 | 0.0499   | 2.2471   |

La máxima corriente de falla a tierra son 2995 A.

Fuente: Empresas públicas de Medellín.

Estos datos serán tenidos en cuenta más adelante para el los diseños de la subestación.



## 6.2.2 MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DEL TERRENO.

Mediante teluro metro marca METREL y calibrado se hacen 7 mediciones de la resistencia del terreno usando el método de wenner anteriormente descrito y teniendo en cuenta una temperatura promedio en la ciudad de Medellín de 23°C.

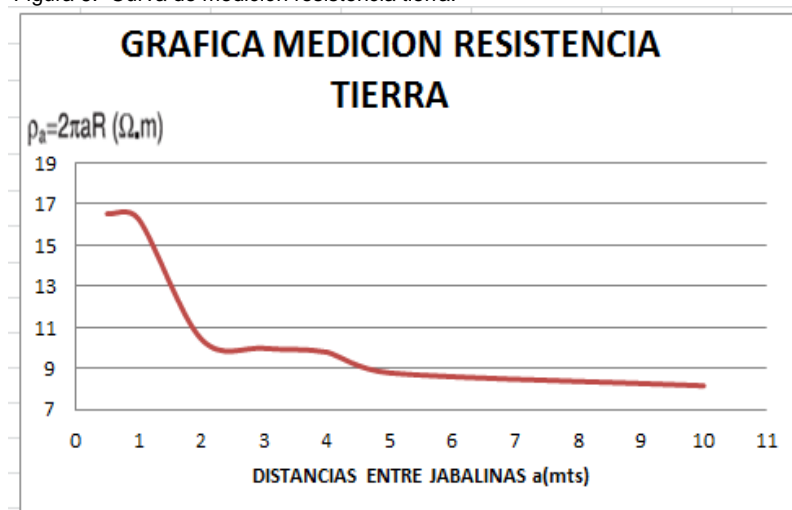
Tabla 8. Resultados medición resistencia tierra.

| MED NUMERO | a (m)    | R ( $\Omega$ ) | $\rho_a=2\pi aR$ ( $\Omega.m$ ) |
|------------|----------|----------------|---------------------------------|
| 1          | 0,5      | 5,26           | 16,524816                       |
| 2          | 1        | 2,59           | 16,273488                       |
| 3          | 2        | 0,83           | 10,430112                       |
| 4          | 3        | 0,53           | 9,990288                        |
| 5          | 4        | 0,39           | 9,801792                        |
| 6          | 5        | 0,28           | 8,79648                         |
| 7          | 10       | 0,13           | 8,16816                         |
|            | $\Sigma$ |                | 79,99                           |

Fuente: Estudiantes del proyecto

$\approx 11,4\Omega$

Figura 6. Curva de medición resistencia tierra.



Fuente: Estudiantes del proyecto

### 6.2.3. DATOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA.

Información detallada de los datos generales a tener en cuenta para el diseño de la malla de puesta a tierra del edificio nuevo bloque de aulas.

Dimensión de la subestación:  $10\text{m} \times 5 = 50\text{m}^2$ .

Corriente máxima de falla suministrada por el operador de red: 2995A

Nivel de tensión: 13,2kV.

Resistividad del suelo:  $11,4\Omega$

\* Resistividad de la superficie:  $2500\Omega\text{-m}$  (Valor medio).

Tiempo de despeje falla 0,5 seg.

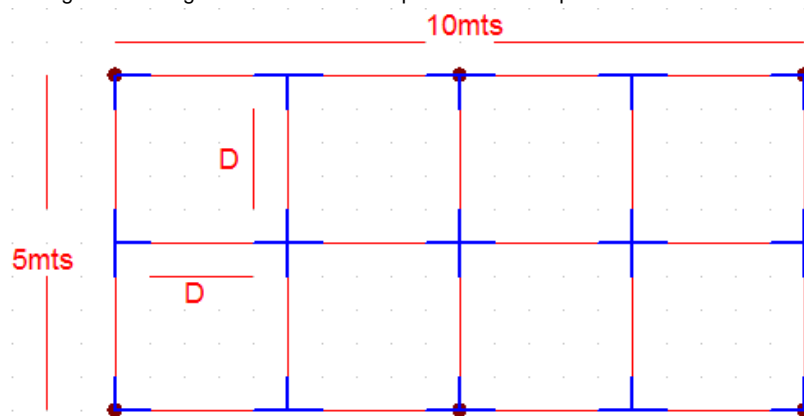
\* Resistividad del orden de  $5000\Omega\text{-m} >ps> 2000\Omega\text{-m}^{20}$

Temperatura ambiente promedio para la ciudad de Medellín:  $23^\circ\text{C}$

Temperatura máxima en los nodos (para unión con soldadura exotérmica)  $450^\circ\text{C}$

### 6.2.4. SELECCIÓN DE LA MALLA.

Figura 7. Configuración seleccionada para la malla de puesta a tierra



Fuente: estudiantes del proyecto

<sup>20</sup> NORMA ANSI/IEEE STANDARD 80-2000

Longitud de la malla lado mayor: 10 mts

Longitud de la malla lado menor 5,0 mts

Espaciamiento entre conductores  $D = 2,5$  mts

Profundidad de enterramiento: 0,5 mts

Número de conductores en longitud mayor: 5

Número de conductores en longitud menor: 3.

Estos datos son introducidos a continuación en un software para hallar las corrientes de paso, de toque y transferidas y analizar si el diseño si cumple con los parámetros de seguridad exigidos por la norma IEEE 80-2000 GUIDE FOR SAFETY IN AC SUBSTATION GROUDING y diseñado por el ingeniero Virgilio de Andrade y el profesor Miguel Martínez<sup>21</sup>

### **6.3. INTRODUCCIÓN DE DATOS EN EL PROGRAMA.**

Se introduce como sigue a continuación todos los datos e información recopilada del terreno, área y demás datos al programa basados en la norma IEEE 80-2000.

Estos datos, algunos fueron suministrados por el operador de red como la corriente de corto circuito de la malla de puesta a tierra, valores de la resistencia del terreno medida con el telurhometro.

---

<sup>21</sup> email: [mmlozano@usb.ve](mailto:mmlozano@usb.ve) Web: <http://prof.usb.ve/mmlozano/>

Tabla 9. Cálculo de la malla de puesta a tierra. (Introducción de los datos al programa).

| <b>Cálculo de la Malla de Puesta a Tierra</b>                                      |                |                   |
|--|----------------|-------------------|
| Basado en la norma IEEE 80-2000 "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding" |                |                   |
| I.E. JOSE MIGUEL SILVA PLAZAS  |                | DICIEMBRE DE 2010 |
| <b>DATOS DEL TERRENO</b>   |                |                   |
| Lado Mayor de la Malla   | m              | 10,0              |
| Lado Menor de la Malla   | m              | 5,0               |
| Resistividad de la 1ª Capa $\rho_1$ (si se modelan 2 capas de suelo)               | $\Omega.m$     |                   |
| Resistividad de la 2ª Capa $\rho_2$ (si se modelan 2 capas de suelo)               | $\Omega.m$     |                   |
| Espesor de la 1ª Capa $H$ (si se modelan 2 capas de suelo)                         | m              |                   |
| Resistividad equivalente del terreno $\rho$  | $\Omega.m$     | 11,4              |
| Resistividad Capa Superficial $\rho_s$   | $\Omega.m$     | 2500              |
| Espesor Capa Superficial $h_s$   | m              | 0,20              |
| Area de la Malla $A$   | m <sup>2</sup> | 50                |
| Profundidad de la Malla $h$  | m              | 0,5               |
| <b>DATOS DE CONDON</b>   |                |                   |
| Tiempo de Despeje de la Falla $t_f$  | seg            | 0,50              |
| Temperatura Máxima de Operación  | °C             | 450               |
| Temperatura Ambiente   | °C             | 23                |
| <b>DATOS DE CORRIENTE DE FALLA Y DE LA LINEA DE TRANSMISION DE AT DE ENTRADA</b>   |                |                   |
| Corriente de Falla a Tierra $I_f$ Lado AT  | A              | 2995              |
| Corriente de Falla a Tierra $I_f$ Lado BT  | A              | 2995              |
| Relación X/R del Sistema   | -              | 14,223            |
| Factor de Decremento $D_f$   | -              | 1,037             |
| Corriente de Diseño de los Conductores (Lado de Mayor $I_f$ )                      | A              | 3106              |
| Cantidad de torres de transmisión de la línea de AT por km $N_t$                   | -              |                   |
| Resistencia de puesta a tierra de las torres de AT $R_{t0}$                        | $\Omega$       |                   |
| Impedancia de los cables de guarda $Z_f$   | $\Omega/km$    |                   |
| Cantidad de cables de guarda en la línea de AT $N_c$                               | -              |                   |
| Impedancia equivalente de los cables de guarda y torres $Z_{t0}$                   | $\Omega$       |                   |
| Impedancia equivalente cables linea transmision (R) $Z_{R0}(10)$ (TABLA C)         | $\Omega$       | 2,640             |
| Impedancia equivalente cables linea transmision (X) $Z_{X0}(10)$ (TABLA C)         | $\Omega$       | 0,600             |
| Resistencia de Puesta a Tierra $R_g$ (S2) estimada SVERAK                          | $\Omega$       | 0,788             |
| Factor Divisor de Corriente $S_f$ (depende de $R_g$ )                              | %              | 77,01%            |
| Corriente de Diseño del Espaciamiento $I_g$ (Lado AT)                              | A              | <b>2391,793</b>   |

Fuente: <http://prof.usb.ve/mmlozano/>

### 6.3.1. RESULTADOS DEL PROGRAMA.

Los resultados arrojados por el programa determina el tamaño o calibre del conductor y demás valores recomendados por la norma IEEE 80-2000

Tabla 10.R resultados selección calibre conductor y reticula de la malla de puesta a tierra

| CALCULO DEL CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA    |                 |                 |          |                        |                   |                 |
|---|-----------------|-----------------|----------|------------------------|-------------------|-----------------|
| Corriente de Diseño de los Conductores      | A               |                 | 3106     |                        |                   |                 |
| Sección Transversal Requerida del Conductor | mm <sup>2</sup> |                 | 9,98     |                        |                   |                 |
| Temperatura Máxima de Operación             | °C              |                 | 450      |                        |                   |                 |
| Temperatura Ambiente                        | °C              |                 | 23       |                        |                   |                 |
| Tiempo de Despeje de la Falla $t_f$         | seg             |                 | 0,50     |                        |                   |                 |
| Calibre del Conductor                       | Area            |                 | Nº Hilos | Diámetro de Cada Hilos | Diámetro Exterior | Peso Aproximado |
|   | kcmil           | mm <sup>2</sup> | mm       | mm                     | mm                | kg/km           |
| 1/0   | 105,6           | 53,49           | 7        | 3,12                   | 9,35              | 485             |
| 2/0   | 133,1           | 67,43           | 7        | 3,5                    | 10,5              | 611             |
| 3/0   | 167,8           | 85,01           | 7        | 3,93                   | 11,8              | 771             |
| 4/0   | 211,6           | 107,22          | 7        | 4,42                   | 13,3              | 972             |
| 250   | 250             | 127             | 12       | 3,67                   | 15,2              | 1149            |
| 300   | 300             | 152             | 12       | 4,02                   | 16,7              | 1378            |
| 350   | 350             | 177             | 12       | 4,34                   | 18                | 1610            |
| 400   | 400             | 203             | 19       | 3,69                   | 18,5              | 1838            |
| 450   | 450             | 228             | 19       | 3,91                   | 19,6              | 2067            |
| 500   | 500             | 253             | 19       | 4,12                   | 20,6              | 2297            |
| 550   | 550             | 279             | 37       | 3,1                    | 21,7              | 2527            |
| 600   | 600             | 304             | 37       | 3,23                   | 22,6              | 2757            |
| 650   | 650             | 329             | 37       | 3,37                   | 23,6              | 2986            |
| 700   | 700             | 355             | 37       | 3,49                   | 24,4              | 3216            |
| 750   | 750             | 380             | 37       | 3,62                   | 25,3              | 3446            |

Resultado del Calibre del Conductor

|                               | Diámetro | Calibre |
|-------------------------------|----------|---------|
| Calibre Mínimo del Conductor: | 10,50 mm | 2/0     |

**Nota:** Por razones mecánicas, el calibre mínimo a usar en las mallas de tierra es de 4/0 AWG.

CALCULO DE LA RETICULA DE MALLA DE PUESTA A TIERRA

|  |   |      |
|--|---|------|
| Lado Mayor de la Malla                         | m | 10,0 |
| Lado Menor de la Malla                         | m | 5,0  |
| Espacio Entre Conductores Paralelos $D$        | m | 2,50 |
| Nº de Conductores Paralelos al Lado Mayor      | - | 5    |
| Nº de Conductores Paralelos al Lado Menor      | - | 3    |
| Longitud Total del Conductor de la Malla $L_c$ | m | 55,0 |

VOLVER MENU PRINCIPAL

IMPRIMIR CONDUCTOR Y RETICULA

Fuente: <http://prof.usb.ve/mmlozano/>

Tabla 11. Resultados arrojados por el programa.

**Cálculo de la Malla de Puesta a Tierra**  
 Basado en la norma IEEE 80-2000 "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding"

I.E. JOSE MIGUEL SILVA PLAZAS DICIEMBRE DE 2010

---

**TENSIONES TOLERABLES**

|  |   |                   |         |
|--|---|-------------------|---------|
| Tensión de Toque Tolerable $E_{touch}$ | V | E <sub>mtol</sub> | 902,4   |
| Tensión de Paso Tolerable $E_{step}$   | V | E <sub>stol</sub> | 2.943,6 |
| Factor de Reflexión $K'$               | - | k                 | -0,99   |
| Factor de Reducción del Terreno $C_s$  | - | C <sub>s</sub>    | 0,82    |

CRITERIO 50 kg

CRITERIO 70 kg

Sin Jabalinas

Sólo Jabalinas Dentro de la Malla

Con Jabalinas en el Perímetro y con o sin Jabalinas Dentro de la Malla

**Nota:** Si se colocan sólo jabalinas en las esquinas y con o sin jabalinas dentro de la malla, seleccione el tercer tipo de arreglo: jabalinas en el perímetro.

---

**RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA<sup>o</sup>**

|  |          |       |
|--|----------|-------|
| Resistencia de Puesta a Tierra $R_{e(52)}$ | $\Omega$ | 0,799 |
|--|----------|-------|

---

**POTENCIAL MÁXIMO DE LA MALLA**

|                                    |   |        |
|------------------------------------|---|--------|
| Potencial Máximo de la Malla $GPR$ | V | 1906,0 |
|------------------------------------|---|--------|

---

**CALCULO DE LA TENSION DE TOQUE**

|  |            |                |           |
|--|------------|----------------|-----------|
| Tensión de Toque $E_m$                               | V          | E <sub>m</sub> | 257,0     |
| Resistividad del Suelo $\rho$                        | $\Omega.m$ | b              | 11        |
| Factor de Espaciamiento Para Tensión de Toque $K'_m$ | -          | km             | 0,640     |
| Factor Correctivo por Geometría de la Malla $K'_j$   | -          | ki             | 1,203     |
| Máxima Corriente de la Malla $I_G$                   | A          | IG             | 2.383,983 |
| Longitud Total del Conductor de la Malla $L_c$       | m          | L              | 55,0      |

**Factor de Espaciamiento Para Tensión de Toque**

|   |   |     |        |
|---|---|-----|--------|
| Factor de Espaciamiento Para Tensión de Toque $K'_m$    | - | km  | 0,640  |
| Espacio Entre Conductores Paralelos $D$                 | m | D   | 2,50   |
| Profundidad de la Malla $h$                             | m | h   | 0,5    |
| N Efectivo de Conductores Paralelos de la Cuadrícula    | - | n   | 3,78   |
| Diámetro del Conductor de la Malla $d'$                 | m | d   | 0,0105 |
| Factor Correctivo del Efecto de las Jabalinas $K'_{jj}$ | - | kii | 1,000  |
| Factor Correctivo por Profundidad de los Conductores    | - | kh  | 1,225  |

**Factor Correctivo por Geometría de la Malla**

|  |   |    |       |
|--|---|----|-------|
| Factor Correctivo por Geometría de la Malla $K'_j$ | - | ki | 1,203 |
|--|---|----|-------|

---

**CALCULO DE LA TENSION DE PASO**

|   |            |                |           |
|---|------------|----------------|-----------|
| Tensión de Paso $E_s$                               | V          | E <sub>s</sub> | 313,8     |
| Resistividad del Suelo $\rho$                       | $\Omega.m$ | b              | 11        |
| Factor de Espaciamiento Para Tensión de Paso $K'_s$ | -          | ks             | 0,515     |
| Factor Correctivo por Geometría de la Malla $K'_j$  | -          | ki             | 1,203     |
| Máxima Corriente de la Malla $I_G$                  | A          | IG             | 2.383,983 |
| Longitud Total del Conductor de la Malla $L_c$      | m          | L              | 53,7      |

**Factor de Espaciamiento Para Tensión de Paso**

|  |   |    |       |
|--|---|----|-------|
| Factor de Espaciamiento Para Tensión de Paso $K'_s$  | - | ks | 0,515 |
| Espacio Entre Conductores Paralelos $D$              | m | D  | 2,50  |
| Profundidad de la Malla $h$                          | m | h  | 0,50  |
| N Efectivo de Conductores Paralelos de la Cuadrícula | - | n  | 3,78  |

**Ud. seleccionó un arreglo con jabalinas:**  
 Por favor coloque todos los datos de las jabalinas -->

| JABALINAS                                  |      |        |
|--|------|--------|
| Número de Jabalinas $n_B$                  | -    | 6      |
| Diámetro de las Jabalinas $2b$             | pulg | 0,6250 |
| Longitud de cada Jabalinas $L_j$           | m    | 2,44   |
| Longitud total de todas las Jabalinas $LR$ |      | 14,64  |

---

**RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA<sup>o</sup>**

|  |            |       |
|--|------------|-------|
| Resistencia de Puesta a Tierra $R_{e_1}$ | $\Omega$   | 0,799 |
| Resistencia de Puesta a Tierra $R_{e_2}$ | $\Omega$   | 0,678 |
| Resistividad Aparente $\rho_s$           | $\Omega.m$ | 11,42 |
| Resistencia de la Malla $R_1$            | $\Omega$   | 0,727 |
| Resistencia de las Jabalinas $R_2$       | $\Omega$   | 0,957 |
| Resistencia Mutua $R_m$                  | $\Omega$   | 0,561 |
| Coefficiente $k_1$                       | -          | 1,10  |
| Coefficiente $k_2$                       | -          | 4,88  |

---

**POTENCIAL MÁXIMO DE LA MALLA**

|                                    |   |        |
|------------------------------------|---|--------|
| Potencial Máximo de la Malla $GPR$ | V | 1906,0 |
|------------------------------------|---|--------|

VOLVER MENU PRINCIPAL

IMPRIMIR RESULTADOS

**El Diseño Es Apropiado:**

|                  |        |                                  |
|------------------|--------|----------------------------------|
| Tensión de Toque | 28,48% | de la Tensión de Toque Tolerable |
| Tensión de Paso  | 10,66% | de la Tensión de Paso Tolerable  |

Fuente: <http://prof.usb.ve/mmlozano/>

De acuerdo a los resultados obtenidos el programa nos da respuesta de que el diseño es apropiado y cumple con los requisitos de seguridad establecidos por el RETIE y la norma IEEE 80-2000.

Este resultado corresponde a la escogencia anteriormente descrita.

Con el estudio del terreno realizado en las instalaciones y mediante el procesamiento de la información se encontró una resistividad aparente de  $11,4\Omega\text{-m}$ , este valor es un parámetro natural del terreno y fue utilizado para determinar el valor de resistencia de puesta a tierra de la malla.

Con la configuración seleccionada para la malla de puesta a tierra y con la resistividad del terreno se calculó un valor de resistencia de puesta a tierra de  $0,812\Omega$ .

La malla de puesta a tierra presentará un conductor de cobre desnudo de sección transversal no menor a  $67,44\text{ mm}^2$  (2/0 AWG) la cual estará interconectada mediante soldadura exotérmica. La configuración de la malla es rectangular de  $10\text{m} \times 5,0\text{m}$  con retículas de  $2,5\text{m}$  y 6 electrodos de cobre de  $5/8 \times 2,40\text{m}$  en el perímetro de la misma como se muestra en la gráfica 2

#### **6.4. CÁLCULO ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.**

Para realizar la evaluación del riesgo frente a descargas atmosféricas se tiene en cuenta los siguientes datos de la estructura o geometría del local, los cuales son ingresados a un software diseñado por la universidad nacional.<sup>22</sup>

- Altura: 24 metros

- Ancho: 23,09 metros.

---

<sup>22</sup> [http://www.paas.unal.edu.co/investigacion/RiskFile2008/cálculos\\_Estructuras.php](http://www.paas.unal.edu.co/investigacion/RiskFile2008/cálculos_Estructuras.php)

- Largo: 31,40 metros.
  - DDT: 3,788 rayos/km<sup>2</sup>/año (figura 3).- Nivel ceráunico
  - Resistividad del terreno 11,4 Ω-m
- Las diferentes acometidas de servicio (energía, comunicaciones), llegan subterráneas hasta la edificación debidamente equipotencializadas a tierra.
- Para este análisis, se hace el estudio sin ningún sistema de protección contra rayos.
- La eficacia del apantallamiento de la estructura se considera de nivel medio, dado que la construcción será de concreto vaciado con malla en acero y con bajantes estructurales.

#### 6.4.1. INTRODUCCIÓN DE DATOS AL PROGRAMA.

Se introducen todos los datos recopilados de las áreas ocupadas por la edificación y demás valores de acuerdo a la norma NTC 4552.

Tabla 12. Configuración (análisis de riesgo descargas atmosféricas)

Fuente: [http://www.paas.unal.edu.co/investigacion/RiskFile2008/calculos\\_Estructuras.php](http://www.paas.unal.edu.co/investigacion/RiskFile2008/calculos_Estructuras.php).



Tabla 13. Valores de las áreas de la estructura (análisis de riesgo descargas atmosféricas).

**1. Datos de la estructura**

**Ubicación y Entorno**

Largo  [m] Ancho  [m] Alto  [m]  Estructura con elementos protuberantes

Ubicación relativa:  DDT  [rayos/km<sup>2</sup>-año]

Tipo de ambiente (entorno):

Tipo de suelo (exteriores):  Tipo de piso (interiores):

**Acometidas de Servicios**

Ubicación de la acometida  Resistividad del terreno  [Ω-m]

**Acometidas de energía**

Tipo de acometida  Altura  [m] Longitud de la línea  [m] Transformador

Información de estructuras adyacentes que comparten la misma acometida eléctrica:

Largo  [m] Ancho  [m] Alto  [m]

Ubicación relativa:

Fuente: [http://www.paas.unal.edu.co/investigacion/RiskFile2008/calculos\\_Estructuras.php](http://www.paas.unal.edu.co/investigacion/RiskFile2008/calculos_Estructuras.php).

Tabla 14. Valores de la canalización media tensión (análisis de riesgo descargas atmosféricas).

**Acometidas de Servicios**

Ubicación de la acometida  Resistividad del terreno  [Ω-m]

**Acometidas de energía**

Tipo de acometida  Altura  [m] Longitud de la línea  [m] Transformador

Información de estructuras adyacentes que comparten la misma acometida eléctrica:

Largo  [m] Ancho  [m] Alto  [m]

Ubicación relativa:

**Acometidas de datos**

Tipo de acometida  Altura  [m] Longitud de la línea  [m]

Información de estructuras adyacentes que comparten la misma acometida:

Largo  [m] Ancho  [m] Alto  [m]

Ubicación relativa:

Fuente: [http://www.paas.unal.edu.co/investigacion/RiskFile2008/calculos\\_Estructuras.php](http://www.paas.unal.edu.co/investigacion/RiskFile2008/calculos_Estructuras.php).

Tabla 15. Valores del sistema de protección (análisis de riesgo descargas atmosféricas)

**2. Información de los sistemas de protección**

**Información de la estructura**

Probabilidad de tensiones de paso y contacto dentro de la estructura:

No existen medidas de protección       Avisos de peligro  
 Aislamiento eléctrico de las bajantes       Concreto reforzado como bajante  
 Equipotencialización del suelo

Probabilidad de daños en la estructura:

---

**Información de protecciones en Acometidas de Servicios**

Tipos de DPS's:       Características del cableado interno:

Ancho de la malla del apantallamiento externo:  [m]      Nivel de aislamiento de los equipos:  [kV]

Fuente: [http://www.paas.unal.edu.co/investigacion/RiskFile2008/calculos\\_Estructuras.php](http://www.paas.unal.edu.co/investigacion/RiskFile2008/calculos_Estructuras.php).

Tabla 16. Valores de los tipos de pérdidas (análisis de riesgo descargas atmosféricas)

**3. Tipos de pérdidas**

**Peligros existentes**

Riesgo de Fuego:

Medidas para reducir el riesgo de Fuego:

Clase de peligros:

---

**Pérdidas promedio anuales para R1**

Tipos/uso de la estructura:       Personas expuestas

Personas fuera de la estructura  
 Personas dentro de la estructura

Posibles fallas en los servicios que representen pérdidas de vidas humanas:

---

**Pérdidas promedio anuales para R2**

Tipo del servicio:

---

**Pérdidas promedio anuales para R3**

Un valor recomendado por norma para las pérdidas para R3 es Lf=0.1

Fuente: [http://www.paas.unal.edu.co/investigacion/RiskFile2008/calculos\\_Estructuras.php](http://www.paas.unal.edu.co/investigacion/RiskFile2008/calculos_Estructuras.php).

Tabla 17. Valores de los resultados de la Evaluación del riesgo (análisis de riesgo descargas atmosféricas)

| Resultados de la Evaluación de Riesgo  |                          |                                |                                     |   |                             |
|--|--------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|---|-----------------------------|
| <b>Número de Eventos Peligros</b>  |                          |                                |                                     |   |                             |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Impacto en la estructura Nd: 0.0372 Rayos/año</li> <li>Impactos cercanos a la estructura Nm: 0.4812 Rayos/año</li> <li>Impactos en las acometidas NL: 0.0001 Rayos/año</li> <li>Impactos cercanos a la acometida de servicio Ni: 0.0009 Rayos/año</li> <li>Impactos en las estructuras que comparten acometidas de servicios Nda: 0.0000 Rayos/año</li> </ul> |                          |                                |                                     |   |                             |
| <b>Componentes de Riesgo para R1</b>   |                          |                                |                                     |   |                             |
| Tipo de daño   | Fuente de daño           |                                |                                     |   | Riesgo por tipo de daño (D) |
|  | Impacto en la estructura | Impacto cerca de la estructura | Impacto en la acometida de servicio | Impacto cerca de la acometida de servicio |                             |
| Lesiones a seres vivos   | Ra = 0.000               | -                              | Ru = 0.000                          | -   | Rs = 0.000                  |
| Daño físico  | Rb = 0.093               | -                              | Rv = 0.000                          | -   | Rf = 0.093                  |
| Falla de los sistemas internos   | Rc = 0.000               | Rm = 0.000                     | Rw = 0.000                          | Rz = 0.000                                | Ro = 0.000                  |
| <b>Riesgo por fuente de daño (S)</b>   | <b>Rd = 0.093</b>        | <b>Ri = 0.000</b>              |                                     |   | <b>R1 = 0.093</b>           |

Fuente: [http://www.paas.unal.edu.co/investigacion/RiskFile2008/calculos\\_Estructuras.php](http://www.paas.unal.edu.co/investigacion/RiskFile2008/calculos_Estructuras.php)

Tabla 18. Valores de los resultados de la Evaluación del riesgo (análisis de riesgo descargas atmosféricas).

| Componentes de Riesgo para R2        |                          |                                |                                     |   |                             |
|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|---|-----------------------------|
| Tipo de daño                         | Fuente de daño           |                                |                                     |   | Riesgo por tipo de daño (D) |
|                                      | Impacto en la estructura | Impacto cerca de la estructura | Impacto en la acometida de servicio | Impacto cerca de la acometida de servicio |                             |
| Daño físico                          | Rb = 0.000               | -                              | Rv = 0.000                          | -   | Rf = 0.000                  |
| Falla de los sistemas internos       | Rc = 0.001               | Rm = 0.000                     | Rw = 0.000                          | Rz = 0.000                                | Ro = 0.001                  |
| <b>Riesgo por fuente de daño (S)</b> | <b>Rd = 0.001</b>        | <b>Ri = 0.000</b>              |                                     |   | <b>R1 = 0.001</b>           |

Los valores de Riesgo obtenidos comparados con los riesgos tolerables son:

| Riesgo Obtenido | Riesgo Tolerable | Acción recomendada |
|-----------------|------------------|--------------------|
| R1 = 0.093      | Rt1 = 1.000      | -                  |
| R2 = 0.001      | Rt2 = 100.000    | -                  |
| R3 = 0.000      | Rt3 = 100.000    | -                  |

Fuente: [http://www.paas.unal.edu.co/investigacion/RiskFile2008/calculos\\_Estructuras.php](http://www.paas.unal.edu.co/investigacion/RiskFile2008/calculos_Estructuras.php)

Los valores de riesgo obtenidos están por debajo del riesgo tolerable definido por la norma nacional NTC 4552-2 del 2007, protección contra rayos-parte 2: evaluación de riesgo por rayos, por lo tanto no se requiere de implementar un sistema de apantallamiento o protección contra rayos (SPE).

No obstante, para minimizar el riesgo eléctrico, se deberá implementar las siguientes medidas de protección:

- Equipotencialización de equipos electromecánicos, canalizaciones eléctricas, tuberías (eléctricas, acueductos, gas, comunicaciones), tableros y soportes metálicos estructurales al SPT (sistema de puesta a tierra) para disminuir los riesgos por voltaje de paso y contacto.

- Instalación de DPS tipo B en tablero general principal, DPS tipo A equipos de cómputo y pico protectores en las líneas de comunicaciones de voz y datos.

NOTA: el análisis de riesgo, se desarrolló sin la implementación de sistemas de protección contra sobretensiones; no obstante, se deja a manera de recomendación la instalación de dichos dispositivos.

- Detectores de humo y alarmas de emergencia en caso de incendio.

- Instalación de extintores manuales contra incendio.

- Señalización de riesgo eléctrico en cuartos técnicos eléctricos (tableros, gabinetes strip telefónico, etc.).

- Tomas GFCI en zonas húmedas (cocina, baños)

## **6.5. CÁLCULOS DE LA DEMANDA ELÉCTRICA.**

Estos cálculos se realizan teniendo en cuenta las áreas internas de la edificación de acuerdo a las recomendaciones de la norma NTC 2050 tabla 220-3b, sección 110, 200, 210,220, para lo cual tenemos las siguientes áreas entregadas por parte de la institución.

Estas áreas se tienen en cuenta para los cálculos del alumbrado general para cada una de ellas, también para efectos de cargas generales o totales se tienen en

cuenta las cargas especiales como son ascensor, bombas hidráulicas, aires acondicionados.

Tabla 19. Datos de áreas edificación.

| DESCRIPCIÓN                           | ÁREA M <sup>2</sup> | VA/M <sup>2</sup> | POTENCIA W    | DESCRIPCIÓN         | POTENCIA W    |
|---------------------------------------|---------------------|-------------------|---------------|---------------------|---------------|
| PISO1                                 | 675M <sup>2</sup>   | 32                | 21600         | AIRES ACONDICIONADO | 158000        |
| PISO2                                 | 675M <sup>2</sup>   | 32                | 21600         | ASCENSOR            | 17000         |
| PISO3                                 | 675M <sup>2</sup>   | 32                | 21600         | BOMBA HIDRÁULICA    | 17000         |
| PISO4                                 | 725M <sup>2</sup>   | 32                | 23200         | <b>SUBTOTAL</b>     | <b>192000</b> |
| PISO5                                 | 725M <sup>2</sup>   | 32                | 23200         |                     | <b>128339</b> |
| OFICINA1                              | 50M <sup>2</sup>    | 32                | 1600          | <b>TOTAL</b>        | <b>320339</b> |
| OFICINA2                              | 50M <sup>2</sup>    | 32                | 1600          |                     |               |
| OFICINA3                              | 50M <sup>2</sup>    | 32                | 1600          |                     |               |
| SEMISOTANO                            | 100M <sup>2</sup>   | 5                 | 500           |                     |               |
| ÁREA EXTERNA                          | 1183M <sup>2</sup>  | 10                | 11830         |                     |               |
| <b>POTENCIA SUBTOTAL ALUM Y TOMAS</b> |                     |                   | <b>128330</b> |                     |               |

Fuente: Estudiantes del proyecto.

### 6.5.1. FACTOR DE DEMANDA ELÉCTRICA.

Se define como la relación entre la máxima demanda y la carga total instalada, o simplemente un factor que se aplica a la carga y es menor al 100% (o a 1).

Estas las podemos agrupar en siete categorías basadas en su uso o aplicación y de acuerdo a los requerimientos de la NTC 2050 o NEC.

1. Cargas de iluminación
2. Cargas de fuerza (tomas)
3. Cargas de fuerza especiales 8tomas especiales)
4. Cargas de moto-compresores herméticos
5. Cargas de motores
6. Cargas de calefacción o de aire acondicionado
7. La carga del motor más grande.

Para este caso los circuitos de iluminación se consideran como cargas continuas NTC 2050 sección 210-19 y 210-20.

## 6.5.2. CAÍDA DE TENSIÓN POR SOFTWARE

Tabla 20. Valores Caída de tensión del sistema.

Regulación Max.

3%

5%

| Caída de tensión sistemas Trifasico (Conductor de Cobre) |              |                                |   |
|--|--------------|--------------------------------|---|
| Carga:   | 1400 VA      | 1,4 kVA                        |   |
| Longitud del circuito:                                   | 20 m         |                                | $k = \frac{(r \times \cos\theta + x \times \text{sen}\theta)}{105 \times kV^2}$ |
| Tensión del sistema                                      | 220 V        |                                |   |
| FP:  | 0,9          |                                |   |
| Calibre del Cable:                                       | 10           | <input type="text" value="1"/> | Cond. por fase  |
| Material de la tubería:                                  | PVC          |                                | $k=0,0073$  |
| R:   | 3,9 OHM/kM   | <input type="checkbox"/>       |   |
| X:   | 0,164 OHM/kM |                                | $\Delta V(\%) = (kVA \times m) \times k$  |
| <b>Caída de tensión: <math>\Delta V(\%) = 0,2</math></b> |              |                                |   |
| <b>Voltaje Final: 219,54 V</b>                           |              |                                |   |

Fuente: <http://prof.usb.ve/mmlozano/>

Tabla 21. Valores Caída de tensión del sistema.

Regulación Max.

3%

5%

| Caída de tensión sistemas Trifasico (Conductor de Cobre)  |              |                                |   |
|---|--------------|--------------------------------|---|
| Carga:  | 23400 VA     | 23,4 kVA                       |   |
| Longitud del circuito:                                    | 20 m         |                                | $k = \frac{(r \times \cos\theta + x \times \text{sen}\theta)}{105 \times kV^2}$ |
| Tensión del sistema                                       | 220 V        |                                |   |
| FP:   | 0,9          |                                |   |
| Calibre del Cable:  | 6            | <input type="text" value="1"/> | Cond. por fase  |
| Material de la tubería:                                   | PVC          |                                | $k=0,0031$  |
| R:  | 1,61 OHM/kM  | <input type="checkbox"/>       |   |
| X:  | 0,167 OHM/kM |                                | $\Delta V(\%) = (kVA \times m) \times k$  |
| <b>Caída de tensión: <math>\Delta V(\%) = 1,47</math></b> |              |                                |   |
| <b>Voltaje Final: 216,76 V</b>                            |              |                                |   |

Fuente: <http://prof.usb.ve/mmlozano/>

Este programa es utilizado para todos los datos de caídas de tensión y calibres de los conductores de los circuitos de todos los pisos y cargas inductivas (Ascensor y aire acondicionado) con un factor de potencia de 0,9. Se anexan valores arrojados a las siguientes tablas.

## 6.6. CUADRO DE CARGAS.

Tabla 22. Cuadro de cargas iluminación.

| CUADRO DE CARGAS ILUMINACION Y TOMA SEDIFICIO NUEVO BLOQUE DE AULAS |             |              |                  |           |         |          |         |                |            |                        |           |
|---|-------------|--------------|------------------|-----------|---------|----------|---------|----------------|------------|------------------------|-----------|
| CIRCUITO  | ILUMINACION | T CORRIENTES | TTAL POTENCIA VA | CORRIENTE | VOLTAJE | LONGITUD | VOLTAJE | CAIDA VOL 3%   | PROTECCION | CALIBRE COND(AWG-THHN) | FASES     |
|   | POTENCIA VA | POTENCIA VA  |                  |           | FUENTE  | METROS   | FINAL   | $\Delta V(\%)$ |            |                        |           |
| PISO 1  | 21600       | 1800         | 23400            | 68,2      | 220V    | 20,0     | 216,76  | 1,47           | 3x70A      | 3 N° 6+2N° 8 THHN      | A,B,C,N,G |
| PISO 2  | 21600       | 1800         | 23400            | 68,2      | 220V    | 25,0     | 215,96  | 1,83           | 3x70A      | 3 N° 4+2N° 6 THHN      | A,B,C,N,G |
| PISO 3  | 21600       | 1800         | 23400            | 68,2      | 220V    | 30,0     | 216,85  | 1,43           | 3x70A      | 3 N° 4+2N° 6 THHN      | A,B,C,N,G |
| PISO 4  | 23200       | 1800         | 25000            | 72,9      | 220V    | 35,0     | 216,07  | 1,78           | 3x80A      | 3 N° 4+2N° 6 THHN      | A,B,C,N,G |
| PISO 5  | 23200       | 1800         | 25000            | 72,9      | 220V    | 40,0     | 215,51  | 2,03           | 3x80A      | 3 N° 4+2N° 6 THHN      | A,B,C,N,G |
| SOTANO  | 500         | 900          | 1400             | 4,1       | 220V    | 20,0     | 219,54  | 0,20           | 3x10A      | 3N° 10+2N° 12 THHN     | A,B,C,N,G |
|   | SUB TOTAL   |              | 121600           |           |         |          |         |                |            |                        |           |

Fuente: Estudiantes del proyecto.

Tabla 23. Cuadro de cargas aires acondicionados y motores.

| CUADRO DE CARGAS AIRE ACONDICIONADO Y MOTORES NUEVO BLOQUE DE AULAS |               |                  |           |            |         |          |           |                |                            |           |
|---|---------------|------------------|-----------|------------|---------|----------|-----------|----------------|----------------------------|-----------|
| CIRCUITO  | POTENCIA W    | TTAL POTENCIA VA | CORRIENTE | PROTECCION | VOL FTE | LONG MTS | VOL FINAL | $\Delta V(\%)$ | CAL COND(AWG)              | FASES     |
| AIRE ACOD   | 197500        | 197500           | 575,8     | 3x600A     | 220V    | 40       | 213,9     | 2,76           | 3N° 350MCM+2N° 250MCM THHN | A,B,C,N,G |
| ASCENSOR  | 21250         | 21250            | 62,0      | 3x70A      | 220V    | 40       | 214,12    | 2,67           | 3N° 6+2N° 8 THHN           | A,B,C,N,G |
| BOMBA H   | 21250         | 21250            | 62,0      | 3x70A      | 220V    | 20       | 217,06    | 1,33           | 3N° 6+2N° 8 THHN           | A,B,C,N,G |
|   | SUB TOTAL     |                  | 240000    |            |         |          |           |                |                            |           |
|   | TOTAL CARGA W |                  | 361600,0  |            |         |          |           |                |                            |           |

Fuente: Estudiantes del proyecto.

Tabla 24. Cuadro de cargas inductivas.

| FACTORES DE CARGA |        |                |               |
|-------------------|--------|----------------|---------------|
| DETALLE           | VA     | F.C            | TOTAL         |
| PRIMEROS          | 108480 | 100%           | 108480        |
| AIRE ACOD         | 197500 | 100%           | 197500        |
| RESTO             | 55620  | 80%            | 44496         |
|                   |        | <b>TOTAL W</b> | <b>350476</b> |
|                   |        | <b>kVA</b>     | <b>390</b>    |

Fuente: Estudiantes del proyecto.

Las caídas de tensión de los circuitos para todos los pisos fueron calculadas con este programa, así como las demás cargas cuyos resultados fueron tenidos en cuenta y se anexaron a las tablas 14, 15, calculados con un factor de potencia de 0,9.

Esta carga será suplida con un transformador trifásico de 400kVA tipo seco.

### 6.6.1. PORCENTAJE DE CARGA DEL TRANSFORMADOR.

Tabla 25. Porcentaje de carga del transformador.



Fuente: <http://prof.usb.ve/mmlozano/>



Con los datos de placas de los equipos y el área de la edificación apoyados en la norma NTC 2050 sección 210-19 y 210-20 se hallan los valores de las potencias requeridas como se muestra en la tabla 24 de la página 60.

Tabla. 26. Corriente de corto circuito de la red primaria.

| <b>Calculo de corriente de corto circuito</b>  |  |
|--|--|
| <b>Aporte de corriente de la red electrica</b> |  |
| Tension Nominal:                               | <b>13,2 kV</b>                                       |
| Icc:   | <b>4,3 kA sim</b>                                    |
| Sc <sub>cc</sub> :                             | 100 MVA  |
| Icc Asimetrica:                                | 8,89 kA asim   |
| Ra/Za:   | 0,242  |
| Za:  | 1,742 Ω  |
| Xa:  | 1,691 Ω  |
| Ra:  | 0,421 Ω  |
| Ra/Xa:   | 0,249  |
| Factor K:                                      | 1,463 <span style="float: right;">(IEC 60909)</span> |

**Metodo Explicado en:**

De Metz-Noblat, B. Cálculo de corrientes de cortocircuito (Cuaderno Tecnico n° 158).  
 Barcelona: Schneider , 2000.

Fuente: De Metz-Noblat, B. Cálculo de corrientes de cortocircuito (cuaderno técnico N° 158), Barcelona

Sschneider, 2000, <http://prof.usb.ve/mmlozano/>

Los valores del punto de conexión de la red suministrados por el operador de red (Empresas Públicas de Medellín), tabla 7. Son introducidos al programa.

## 6.6.2. CÁLCULO DE CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO DEL TRANSFORMADOR.

Tabla 27. Corriente de corto circuito del transformador.

Calculo de corriente de corto circuito

**Transformador trifásico**

Potencia: **400** kVA  
 Voltaje en lado de falla (V2): **0,22** kV  
 Voltaje de corto circuito %: **4** Tabla T1

V1: **13,2** kV

Ra: **0,49139016** Ohm  
 Xa: **1,71664665** Ohm

Rr: **0,0001365** Ohm reflejada  
 Xr: **0,00047685** Ohm reflejada

T1. Tensión de cortocircuito Vcc normalizada para los transformadores MT/BT de distribución pública.

|         |     |     |      |      |      |   |
|---------|-----|-----|------|------|------|---|
| kVA     | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 |   |
| Vcc (%) | 4   | 4,5 | 5    | 5,5  | 6    | 7 |

Menu Principal

Transformador

lcc Barra

Cargar Datos TX

Cargar Impedancia

Se tiene que:  $Z_t = V_{cc} \times \frac{V_n^2}{S_n}$  Z del transformador

Por lo tanto:  $Z_t = 4,84$  mΩ

Se tiene que:  $X_t \approx Z_t$  X del transformador

Por lo tanto:  $X_t = 4,84$  mΩ  $X_r = 0,476$ mΩ

Por lo tanto:  $R_t = 0,968$  mΩ  $R_r = 0,136$ mΩ

Luego:  $\frac{R_{total}}{X_{total}} = 0,21$

$Z_{total} = \sqrt{(R_t + R_r)^2 + (X_t + X_r)^2}$   $Z_t = 5,43$  mΩ

Se tiene que:  $I_{cc, sim} = \frac{V_n^2}{\sqrt{3} \times Z_t}$

Por lo tanto:  $I_{cc, sim} = \underline{23,39}$  **kA simetricos**

Luego tenemos que:  $K = 1,53$  , para  $\frac{R_t}{X_t} = 0,21$  (IEC 60909)

$I_{cc} = \sqrt{2} \times K \times I_{cc, sim}$

**Finalmente:  $I_{cc} = 50,54$  kA asimetricos**

Basado en la norma ITC 15-105 y IEC 60 909.

**Metodo Explicado en:**  
 De Metz-Noblat. B. Cálculo de corrientes de cortocircuito (Cuaderno Técnico nº 158).

Fuente: De Metz-Noblat. B. Cálculo de corrientes de cortocircuito (cuaderno técnico N° 158), Barcelona

Schneider, 2000, <http://prof.usb.ve/mmlozano/>

Tabla 28. Corriente corto circuito barraje 220v

| <b>Calculo de corriente de corto circuito</b> |                     |                 |
|---|---------------------|-----------------|
| Tension del sistema:                          | 0,22 kV             |                 |
| Lugar:  | Barra 220           |                 |
| <b>Impedancias del sistema</b>                |                     |                 |
| Equipo  | R                   | X               |
| Red   | 0,421               | 1,691           |
| Cable   | 0,001               | 0,001           |
|   |                     |                 |
|   |                     |                 |
|   |                     |                 |
| <b>Total</b>                                  |                     |                 |
| Rt =  | 0,4217 Ω            |                 |
| Xt =  | 1,6914 Ω            |                 |
| Zt =  | 1,7432 Ω            |                 |
| lcc =   | 0,07 kA sim         |                 |
| R/X =   | 0,25                |                 |
| Factor K =                                    | 1,46                | <i>IEC60909</i> |
| <b>lcc asimetrica =</b>                       | <b>0,15 kA asim</b> |                 |

Metodo Explicado en:

De Metz-Noblat, B. Cálculo de corrientes de cortocircuito (Cuaderno Tecnico nº 158).

Barcelona: Schneider , 2000.

Fuente: De Metz-Noblat.B. Cálculo de corrientes de cortocircuito (cuaderno técnico N° 158), Barcelona

Sschneider, 2000, <http://prof.usb.ve/mmlozano/>

## 6.6.3. SELECCIÓN TRANSFORMADOR.

Tabla 29. Cálculos para la selección del transformador y protecciones.

### Cálculos Eléctricos Para Transformador

Menu Principal

Nombre del Proyecto: EDIFICIO NUEVO BLOQUE DE AULAS INSTITUCION UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
 Código: N.A Fecha: 31/12/2013  
 Nombre del transformador: TRANSFORMADOR PPAL DE 400kVA SECO

---

**Datos Eléctricos**

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| Potencia: 400 KVA               | Clase del transformador: Transformadores Trifásicos seco |
| Tipo de alimentación: Trifásico | Enfriamiento: (IEEE C57.93)                              |
| Impedancia base: 435,60 mΩ      | TIPO AA Tipo seco, con enfriamiento propio.              |
| Frecuencia: 60 Hz               |  |
| Relación de Trans.: 60:1        |  |

**Primario**

|                               |
|-------------------------------|
| Tipo de conexión: Delta       |
| Hilos: 3                      |
| Voltaje de línea: 13,2 kV L-L |
| Voltaje de fase: 13,2 kV      |
| Corriente de línea: 17,50 A   |
| Corriente de Fase: 10,10 A    |
| Conexión del neutro: No tiene |

**Secundario**

|   |
|---|
| Tipo de conexión: Estrella                |
| Hilos: 3                                  |
| Voltaje de línea: 0,22 kV L-L (220 V)     |
| Voltaje(s) de fase: 0,12701706 kV (0 V)   |
| Corriente de línea: 1049,73 A             |
| Corriente de Fase: 1049,73 A              |
| Conexión del neutro: solidamente a tierra |

Cargas del TX

Carga del TX

## 361,60 kVA

90,40% Uso  
9,60% Reserva

---

**Alimentadores**

|   |                                  |                              |                 |  |  |   |                                  |                                |                 |  |  |
|---|----------------------------------|------------------------------|-----------------|--|--|---|----------------------------------|--------------------------------|-----------------|--|--|
| <p><b>Primario</b></p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Factor mult. de corriente: 125 %</td></tr> <tr><td>Corriente de diseño: 21,87 A</td></tr> <tr><td>Material: COBRE</td></tr> <tr><td>Voltaje de Operación Cable: 5001-35000 V</td></tr> <tr><td>Tabla de cables: Tabla 340.73 CEN 2004</td></tr> </table> | Factor mult. de corriente: 125 % | Corriente de diseño: 21,87 A | Material: COBRE | Voltaje de Operación Cable: 5001-35000 V | Tabla de cables: Tabla 340.73 CEN 2004 | <p><b>Secundario</b></p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Factor mult. de corriente: 125 %</td></tr> <tr><td>Corriente de diseño: 1312,16 A</td></tr> <tr><td>Material: COBRE</td></tr> <tr><td>Voltaje de Operación Cable: 0 - 2000 V</td></tr> <tr><td>Tabla de cables: Tabla 340.46 CEN 2004</td></tr> </table> | Factor mult. de corriente: 125 % | Corriente de diseño: 1312,16 A | Material: COBRE | Voltaje de Operación Cable: 0 - 2000 V | Tabla de cables: Tabla 340.46 CEN 2004 |
| Factor mult. de corriente: 125 %  |                                  |                              |                 |  |  |   |                                  |                                |                 |  |  |
| Corriente de diseño: 21,87 A  |                                  |                              |                 |  |  |   |                                  |                                |                 |  |  |
| Material: COBRE   |                                  |                              |                 |  |  |   |                                  |                                |                 |  |  |
| Voltaje de Operación Cable: 5001-35000 V  |                                  |                              |                 |  |  |   |                                  |                                |                 |  |  |
| Tabla de cables: Tabla 340.73 CEN 2004  |                                  |                              |                 |  |  |   |                                  |                                |                 |  |  |
| Factor mult. de corriente: 125 %  |                                  |                              |                 |  |  |   |                                  |                                |                 |  |  |
| Corriente de diseño: 1312,16 A  |                                  |                              |                 |  |  |   |                                  |                                |                 |  |  |
| Material: COBRE   |                                  |                              |                 |  |  |   |                                  |                                |                 |  |  |
| Voltaje de Operación Cable: 0 - 2000 V  |                                  |                              |                 |  |  |   |                                  |                                |                 |  |  |
| Tabla de cables: Tabla 340.46 CEN 2004  |                                  |                              |                 |  |  |   |                                  |                                |                 |  |  |

**Alimentadores**

|                                |
|--------------------------------|
| Fact. Temp: 36-40 °C           |
| Corriente nominal cable: 195 A |
| Conductores por fase: 1        |
| Cap. Total por fase: 195 A     |
| % carga en el cable: 11,22%    |
| % Reserva: 88,78%              |
| Calibre del neutro: AWG / MCM  |
| Conductores por neutro:        |

**Alimentadores**

|                                   |
|-----------------------------------|
| Fact. Temp: 36-40 °C              |
| Corriente nominal cable: 345,8 A  |
| Conductores por fase: 4           |
| Cap. Total por fase: 1383,2 A     |
| % carga en el cable: 94,86%       |
| % Reserva: 5,14%                  |
| Calibre del neutro: 400 AWG / MCM |
| Conductores del neutro: 2         |

**Datos de canalización**

**Primario**

|  |
|--|
| Calibre de conductores 1/0: AWG / MCM                |
| Aislante: THW  |
| Área del cable: 143,70 mm <sup>2</sup>               |
| Cantidad de cables: 3 (Fases + Neutro igual calibre) |
| Área Total: 431,09 mm <sup>2</sup>                   |
| Tamaño tubería: 4"                                   |
| Tipo: Tubo de PVC, Tipo A                            |
| Área Total: 8946,53 mm <sup>2</sup>                  |
| % de Ocupación: 4,82%                                |

**Datos de canalización**

**Secundario**

|  |
|--|
| Calibre de conductores: 400 AWG / MCM                |
| Aislante: THW  |
| Área del cable: 427,78 mm <sup>2</sup>               |
| Cantidad de cables: 8 (Fases + Neutro igual calibre) |
| Área Total: 3422,27 mm <sup>2</sup>                  |
| Tamaño tubería: 4"                                   |
| Tipo: Tubo de PVC Rígido, Sch. 40 y tubo de PE-      |
| Área Total: 8110,96 mm <sup>2</sup>                  |
| % de Ocupación: 42,19%                               |

**Protecciones**

Calibre

Pri rio    Secu ario

2/0    400

1    4

Fuente: De Metz-Noblat.B. Cálculo de corrientes de cortocircuito (cuaderno técnico N° 158), Barcelona

Sschneider, 2000, <http://prof.usb.ve/mmlozano/>

Tabla 30. Continuación calculo selección del transformador y protecciones.

| Primario  |                   |    | Secundario  |                   |    |
|---|-------------------|----|---|-------------------|----|
| Limitaciones sobre el lugar: <b>Cualquiera</b>          |                   |    | Tipo de protección: <b>Interruptor automático</b> |                   |    |
| % Impedancia del TX: <b>Más de 6% pero menos de 10%</b> |                   |    | Tipo de protección: <b>Interruptor automático</b> |                   |    |
| Tipo de protección: <b>Interruptor automático</b>       |                   |    | Tipo de protección: <b>Interruptor automático</b> |                   |    |
| <i>Tabla 450.3(A) CEN-2004</i>                          |                   |    | <i>Tabla 450.3(A) CEN-2004</i>                    |                   |    |
| Ajuste max. del dispositivo:                            | 400 % I de diseño |    | Ajuste max. del dispositivo:                      | 100 % I de diseño |    |
| Cap. de corriente del dispositivo:                      | <b>25 A</b>       | AF | Cap. de corriente del dispositivo:                | <b>1400 A</b>     | AF |
| Max corriente de ajuste:                                | 87,48 A           | AD | Max corriente de ajuste:                          | 1312,16 A         | AD |
| <b>Sistema de puesta a tierra</b>                       |                   |    |   |                   |    |
| Tipo de conductor: <b>Desnudo</b>                       |                   |    |   |                   |    |
| Cantidad de conexiones: <b>2 CEN 2004 tabla 250-122</b> |                   |    |   |                   |    |
| Calibre mínimo: <b>2/0</b>                              |                   |    |   |                   |    |
| AF: AMPERIOS FRAME<br>AD: AMPERIOS DE DISPARO           |                   |    |   |                   |    |

[Coordina protecciones](#)

**ICC TX 3F**

Indicador de temperatura

**Otras características**

Indicador de presión

Indicador de nivel de líquido

Indicador de sobrecarga

Instalado en

Interior

Exterior

Color de pintura: **ROJO**

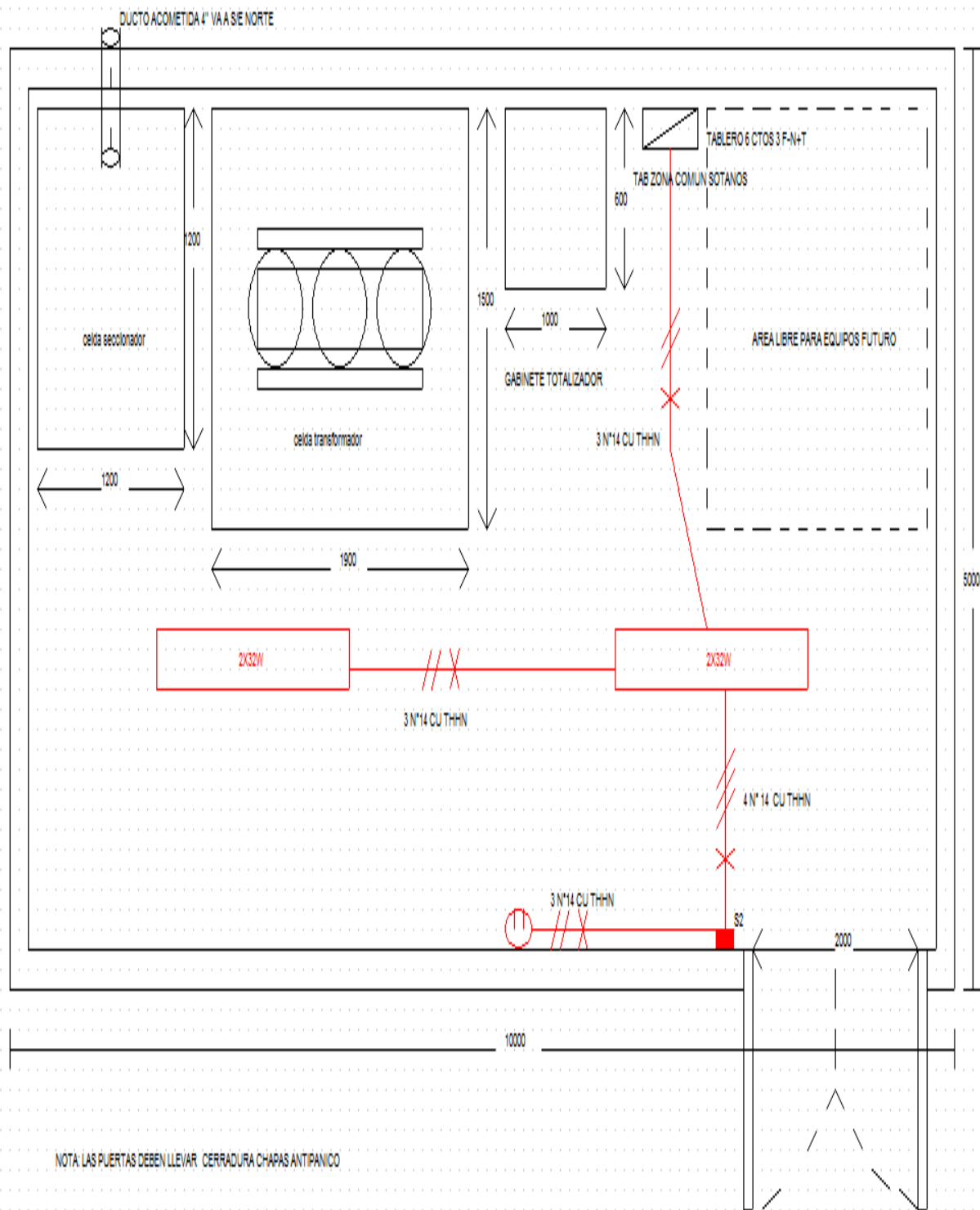
V3,7

Fuente: De Metz-Noblat.B. Cálculo de corrientes de cortocircuito (cuaderno técnico N° 158), Barcelona

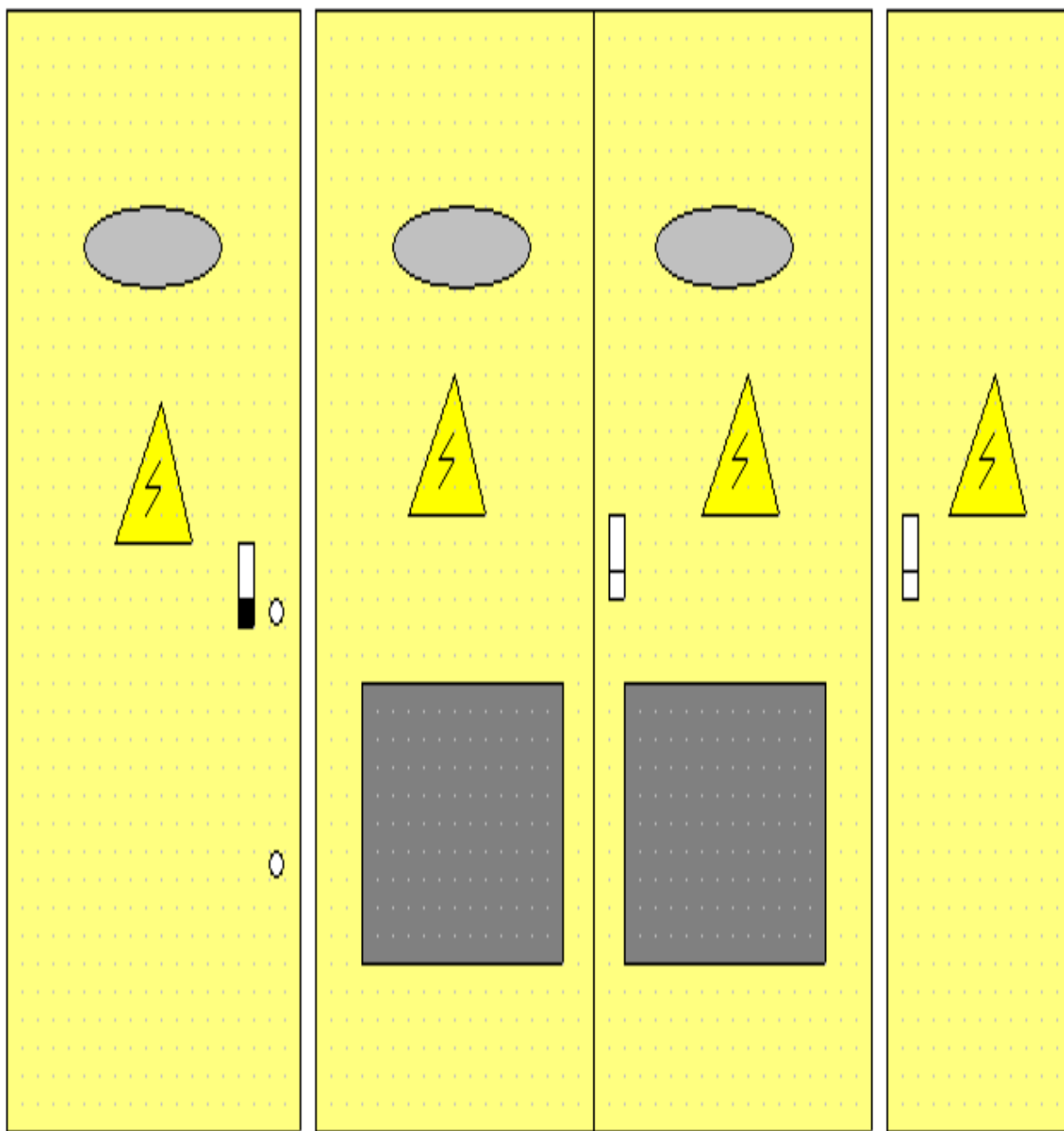
Sschneider, 2000, <http://prof.usb.ve/mmlozano/>

## 6.7. ANEXOS.

Plano 1. Ubicación elementos de la subestación y dimensionamiento.



Fuente: Estudiantes del proyecto.



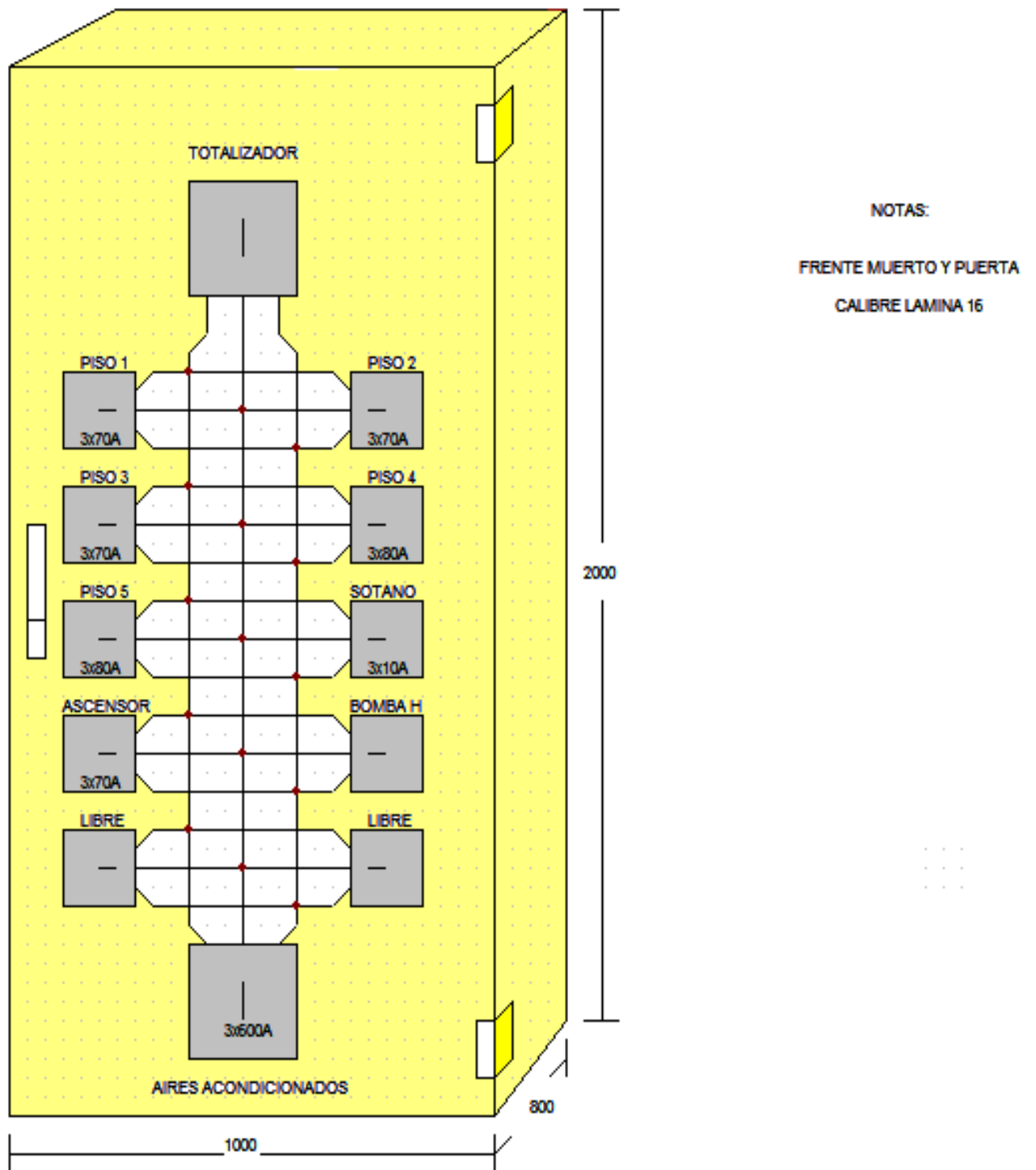
SECCIONADOR

TRANSFORMADOR

GABINETE TOTALIZADOR

Fuente: Estudiantes del proyecto

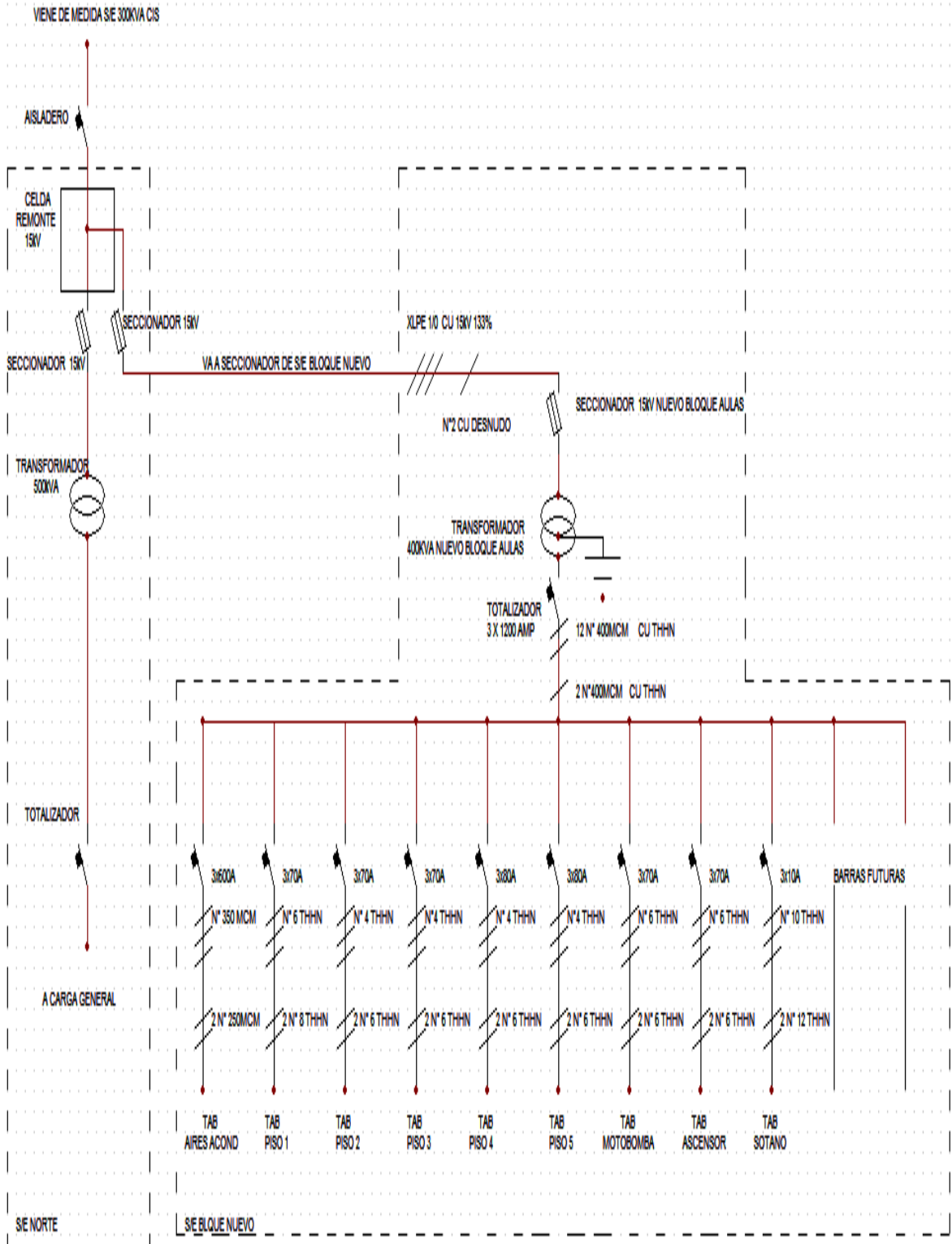
Plano 3. Dimensiones celda totalizador y distribución de protecciones.



Fuente: Estudiantes del proyecto

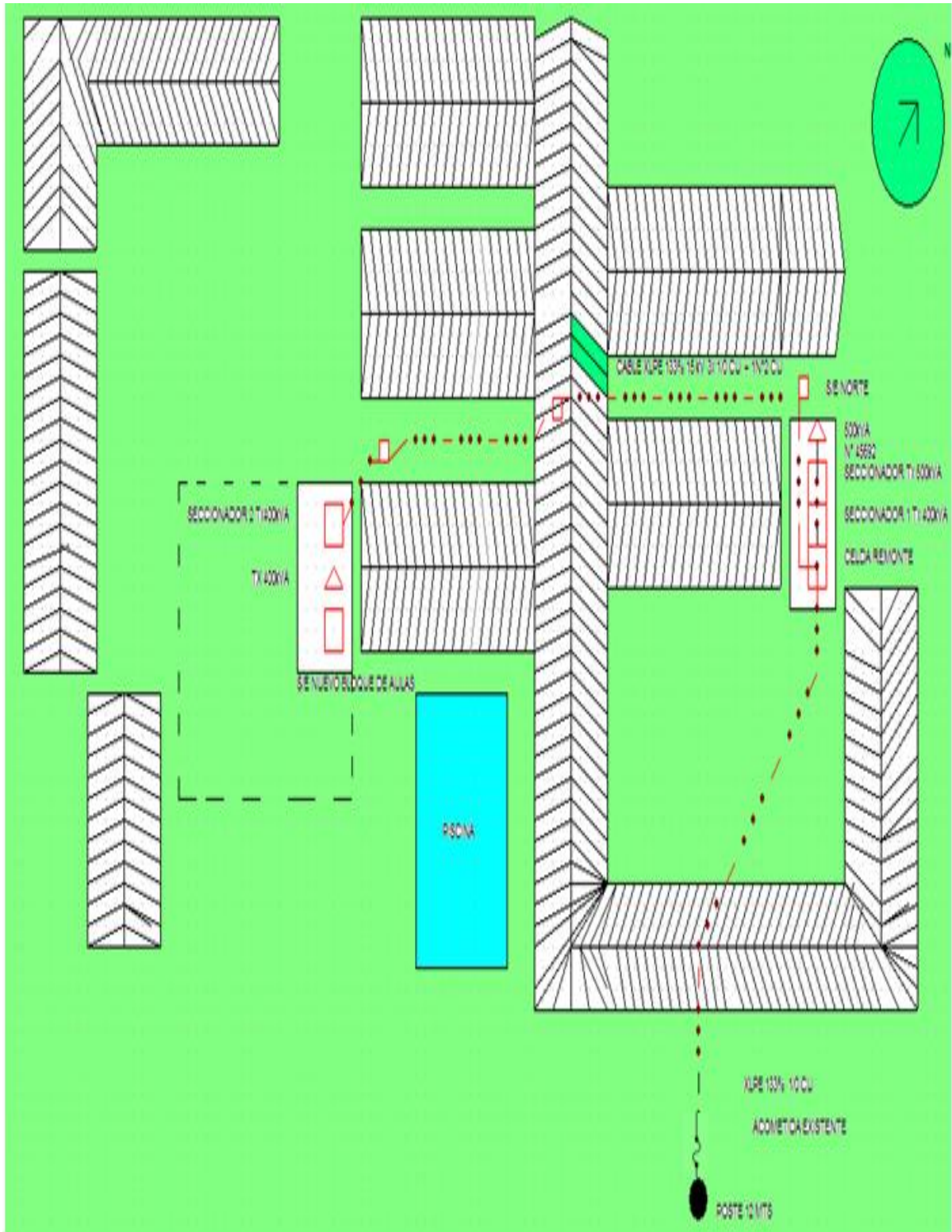


Plano 4. Diagrama unifilar.








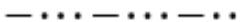







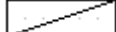

Fuente: Estudiantes del proyecto

Plano 5. Ubicación punto de conexión de la subestación. NORMA EPM RS0-001- RS3-002.



Fuente: Estudiantes del proyecto.

### 6.7.1. CONVENCIONES.

| DEFINICIÓN  | SÍMBOLO   |  |
|---|---|--|
|   | EXISTENTE.  | PROYECTADO.  |
| Aisladero cerrado   |                 |  |
| Seccionador.  |                 |  |
| Interruptores o breaker   |                 |  |
| Transformador trifásico 13.2kV  |  300kVA N° 45692 |  400kVA |
| Cable primario subterráneo % de<br>Aislamiento, material, calibre, neutro         |                 |         |
| ∅ Ducto, material de ducto.   |   |  |
| Puesta a tierra.  |                |  |
| Poste.  |               |  |
| Caja de paso o distribución.  |  RS3          |  RS3  |
| Conductores primarios, secundarios<br>y alumbrado, símbolo número de conductores. |               |  |
| Transformador potencia  |               |  |
| Tablero distribución  |               |  |
| Toma energía  |               |  |

## 6.8. PRESUPUESTO

Tabla 30. Costo y presupuesto.

| PRODUCTO  | CANTIDAD | U/M | PRECIO UNITARIO  | TOTAL                   |
|---|----------|-----|------------------|-------------------------|
| CABLE 10 XLPE 15kV 133% CU                                  | 540      | M   | 27.890,00        | 15.060.600,00           |
| CABLE DESNUDO N° 2  | 200      | M   | 7.200,00         | 1.440.000,00            |
| CABLE 350 MCM THHN  | 160      | M   | 42.538,00        | 6.806.080,00            |
| CABLE 250 MCM THHN  | 120      | M   | 32.886,00        | 3.946.320,00            |
| CABLE N° 6 THHN   | 400      | M   | 3.078,00         | 1.231.200,00            |
| CABLE N° 8 THHN   | 200      | M   | 1.987,00         | 397.400,00              |
| CABLE THHN N° 10  | 60       | M   | 1.346,00         | 80.760,00               |
| CABLE THHN N° 12  | 50       | M   | 967,00           | 48.350,00               |
| CABLE THHN N° 14  | 100      | M   | 660,00           | 66.000,00               |
| CABLE CU DESNUDO 2/0  | 100      | M   | 13.982,00        | 1.398.200,00            |
| CABLE THHN N° 4   | 400      | M   | 4.749,00         | 1.899.600,00            |
| TERMINAL DE OJO N° 400 MCM                                  | 30       | U   | 12.587,00        | 377.610,00              |
| TERMINAL DE OJO N° 2/0                                      | 10       | U   | 3.342,00         | 33.420,00               |
| TERMINAL DE OJO N° 4  | 15       | U   | 1.319,00         | 19.785,00               |
| TERMINAL DE OJO N° 6  | 15       | U   | 967,00           | 14.505,00               |
| TERMINAL DE OJO N° 350 MCM                                  | 6        | U   | 10.556,00        | 63.336,00               |
| SOLDADURA EXOTERMICA VIC - T - ELECTRODO 5/8 CABLE 2/0 -150 | 2        | U   | 11.810,00        | 23.620,00               |
| SOLDADURA EXOTERMICA VIC - CABLE 2/0-115                    | 4        | U   | 10.543,00        | 42.172,00               |
| SOLDADURA EXOTERMICA C/C-X - CABLE 2/0 -200                 | 10       | U   | 13.456,00        | 134.560,00              |
| VARILLA COPPERWELD 5/8 x 2,40                               | 6        | U   | 102.440,00       | 614.640,00              |
| SECCIONADOR 24KV  | 2        | U   | 6.928.950,00     | 13.857.900,00           |
| CELDA REMONTE 24KV  | 1        | U   | 2.703.000,00     | 2.703.000,00            |
| CELDA TRANSFORMADOR 400kVA SECO                             | 1        | U   | 4.151.700,00     | 4.151.700,00            |
| PROTECCION TERMOMAGNETICA 3x1400A- 400V 6kA IND             | 1        | U   | 9996000          | 9.996.000,00            |
| PROTECCION TERMOMAGNETICA 3x70A- 400V-6kA IND               | 5        | U   | 142010           | 710.050,00              |
| PROTECCION TERMOMAGNETICA 3x80A- 400V-6kA IND               | 2        | U   | 125950           | 251.900,00              |
| PROTECCION TERMOMAGNETICA 3x15A- 400V-ICC 6kA IND           | 1        | U   | 95000            | 95.000,00               |
| PROTECCION TERMOMAGNETICA 3x600A- 400V- ICC6kA IND          | 1        | U   | 2212000          | 2.212.000,00            |
| CURVA CONDUIT GALVANIZADA 4"                                | 1        | U   | 192930           | 192.930,00              |
| CURVA CONDUIT GALVANIZADA 1/2"                              | 3        | U   | 3254             | 9.762,00                |
| TUBOPVC 4" CONDUIT  | 200      | M   | 27434            | 5.486.800,00            |
| GAVINETE ML DIM PLANO N° 4                                  | 1        | U   | 2789654          | 2.789.654,00            |
| LUMINARIA 3x32 W T8   | 2        | U   | 32447            | 64.894,00               |
| TABLERO 6 CTOS TRIFASICO N+PT                               | 1        | U   | 84000            | 84.000,00               |
| TOMA DOBLE PT LEVITON                                       | 1        | U   | 3500             | 3.500,00                |
| INTERRUPTOR SENCILLO LEVITON                                | 1        | U   | 3500             | 3.500,00                |
| PUERTA DOBLE ALA TIPO SELOCIAS CON CHAPA ANTIPANICO         | 1        | U   | 3895321          | 3.895.321,00            |
| HERRAJES PARA CAJA DE PASO RS3                              | 3        | U   | 250895           | 752.685,00              |
| RIEL MECANO   | 1        | U   | 35000            | 35.000,00               |
| ABAZADERA CENO 50   | 10       | U   | 2600             | 26.000,00               |
| COSTOS LEGALIZACIONES                                       | 1        | U   | 3600350          | 3.600.350,00            |
| TRANSFORMADOR 400kVA/13,2kV/220 SECO BAJO EN PERDIDAS       | 1        | U   | 28090700         | 28.090.700,00           |
| IMPREVISTOS   | 1        | U   | 8246594          | 8.246.594,00            |
| MANO DE OBRA  | 1        | U   | 28789450         | 28.789.450,00           |
| <b>S:</b>   |          |     | <b>SUB TOTAL</b> | <b>\$150.429.247,00</b> |
|   |          |     | <b>IVA</b>       | <b>\$24.068.679,52</b>  |
|   |          |     | <b>TOTAL</b>     | <b>\$174.497.926,52</b> |

Fuente: Estudiantes del proyecto.



## 6.9. REGISTRO FOTOGRÁFICO.

Tabla 31. Registro fotográfico procedimiento medición de resistencia del terreno, subestaciones e inicio de obra



FOTO 2. DISTRIBUCIÓN CABLEADO TELURHOMETRO METREL EN TERRENO.



FOTO 3. REGISTRO DE UNA DE LAS 7 MEDIDAS REALIZADAS CON TELURHOMETRO METREL.



FOTO 4. SUBESTACIÓN 300kVa CIS.



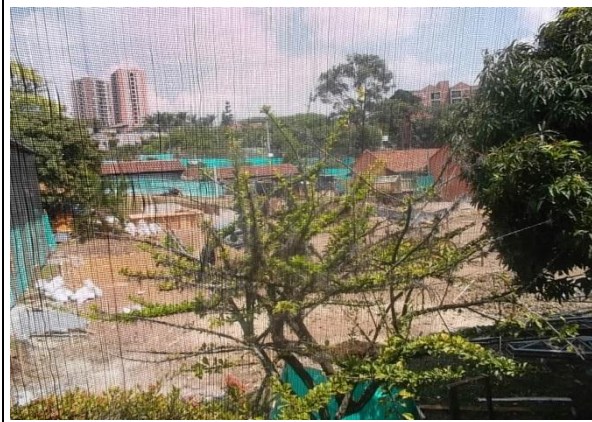
FOTO 5. M/L PRINCIPAL SUBESTACIÓN 300kVa CIS.



FOTO 6. SUBESTACIÓN NORTE 500Kva.



FOTO 7. CELDA DE MEDIDA FUERA DE SERVICIO.



**FOTO 8. INICIO CONSTRUCCIÓN NUEVO BLOQUE DE AULAS.**



**FOTO 9. LABORES DE CONSTRUCCIÓN.**

## **7. CONCLUSIONES.**

El alcance de este proyecto va enfocado solamente a la construcción del bloque nuevo de aulas 3B, no incluye cálculos de repotenciación, nuevas protecciones generales, y cambio los elementos de la medida.

En la actualidad la Institución Universitaria Pascual Bravo cuenta con una potencia instalada de 845kVA distribuidos en tres transformadores y sectores a saber: 300kVA en subestación CIS, 45kVA transformador en poste lado cancha de futbol, 500kVA en la subestación del bloque 5 zona norte, tiene integración de medida en media tensión, para el cual se han calculado los transformadores de corriente y potencial de acuerdo a la carga que hay en este momento instalada, es necesario hacer nuevamente los cálculos para los nuevos equipos de medida a ser instalados con el aumento de capacidad, el cual está estimado para 1245kVA, esta capacidad debe ser evaluada y proyectada a futuro teniendo en cuenta el crecimiento acelerado de las infraestructuras que no se vaya a quedar nuevamente limitada en potencia, los cálculos de la potencia arrojaron valores para un transformador de 400kVA, con un 90,40% de la carga, quedando una reserva del 9,60% equivalente al 38,4kVA.

Este diseño esta dado desde la subestación norte bloque 5 hasta la subestación del nuevo edificio bloque 3B.

## 8. RECOMENDACIONES

- Teniendo en cuenta que se va a hacer un aumento de capacidad se debe considerar hacer repotenciación de todos los equipos que se encuentran involucrados en el actual circuito como son: transformadores de corriente, transformadores de potencial, cables acometida aérea principal en media tensión.
- Se debe considerar, cambio de antigua celda de medida por celda de remonte o derivación eléctrica de la subestación norte hacia el nuevo bloque de aulas 3B, con miras a ganar espacio para la ubicación de los nuevos equipos (2 seccionadores y una celda de remonte) los dos nuevos seccionadores que van a proteger el transformador de 500kVA existente y el de 400kVA futuro bloque 3B.
- Evaluar si es conveniente instalar un transformador de mayor capacidad (450kVA) con miras a aumentar la reserva para futuras ampliaciones.
- La ejecución de los trabajos deben ser realizados por personal idóneo y certificado.
- Tener presente todas las canalizaciones de aguas lluvias, acueductos o alcantarillados en el momento de realizar la canalización subterránea para la distribución de la acometida en media tensión.



## BIBLIOGRAFÍA.

- Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE 31 de agosto de 2013
- Norma Técnica Colombiana NTC 2050, 2186-2, ANSI/ICEA S93-639, NEMA WC74
- Normas: EPM (Empresas Públicas de Medellín).

RS0-001  
RA6-014  
RA8-010  
RA8-013

- IEEE Std 811983, ASTM G 5795 a, ANSI/IEEE STANDARD 80-2000.
- IEB. Diseño de la malla de puesta a tierra para la subestación tipo interior de 225 kva, en las instalaciones de la escuela superior de administración pública (ESAP), localizadas en la ciudad de Bogotá.
- Estudio técnico para el sistema de protección contra descargas atmosféricas en la universidad de la Salle sede candelaria: Wilson Alberto Castiblanco Pardo.
- Protecciones Eléctricas Gilberto carrillo Caicedo.
- Cuaderno de aplicaciones técnicas nº 2. Subestaciones transformadores MT/BT: Teoría y ejemplos del cálculo de cortocircuito. Autor ABB.
- Instrucciones para el montaje de los seccionadores tipos GAV/V 17.5Kv P.T. en celda o cabina (Tipo3). Autor. SOCOL.

## **CIBERGRAFÍA.**

<http://www.buenastareas.com/ensayos/Subestaciones-Electricas-Maquinas-y-Equipo-Eléctrico/1817818.html>.

<http://www.paas.unal.edu.co/investigacion/RiskFile2008/Index.html>

<http://www.magnetron.com.co>

<http://prof.usb.ve/mmlozano/>

[http://www.paas.unal.edu.co/investigacion/RiskFile2008/calculos\\_Estructuras.php](http://www.paas.unal.edu.co/investigacion/RiskFile2008/calculos_Estructuras.php).

<http://www.schneider-electric.com.co/sites/colombia/es/soporte/cuadernos-tecnicos.page>.

[http://www.codensa.com.co/documentos/08\\_23\\_2005\\_11\\_02\\_34\\_AM\\_capsulados.pdf](http://www.codensa.com.co/documentos/08_23_2005_11_02_34_AM_capsulados.pdf).

<http://likinormas.micodensa.com/Home/DownloadPDF/1620>.

<https://www.epm.com.co/site/Home/Centrodedocumentos/Proveedoresycontratistas/NormasyEspecificaciones/Normasa%C3%A9reas.aspx>.

<http://socol.com.co/productos/celdas-con-seccionadores-aislados-en-sf6-uso-interior/>