

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE LA ACOMETIDA Y LAS SALIDAS  
ELÉCTRICAS INTERNAS PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS  
ELÉCTRICAS EN EL BLOQUE 3A AULA 105, ETAPA 1**

**SHARON ELIETH GÓMEZ VÉLEZ  
JAIRO DE JESÚS GUTIÉRREZ UPEGUI  
JUAN CARLOS GARZÓN SOTO**

**INSTITUCION UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA  
MEDELLÍN  
2014**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA ACOMETIDA Y LAS SALIDAS  
ELÉCTRICAS INTERNAS PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS  
ELÉCTRICAS EN EL BLOQUE 3A AULA 105, ETAPA 1**

**SHARON ELIETH GÓMEZ VÉLEZ**

**JAIRO DE JESUS GUTIÉRREZ UPEGUI**

**JUAN CARLOS GARZÓN SOTO**

**Asesor**

**RODRIGO RUEDA GARCIA**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO**

**FACULTAD DE INGENIERIAS**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA**

**MEDELLÍN**

**2014**

## INTRODUCCIÓN

En el marco del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas “RETIE” y para el mejoramiento de la calidad de la educación superior en Colombia, así mismo buscando ayudar en el proceso de acreditación de calidad en la Institución Universitaria Pascual Bravo, de la ciudad de Medellín , y en especial para mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes de Tecnología eléctrica y afines, optamos por realizar este proyecto de grado que es requisito para obtener el título de tecnólogo en Eléctrica, y con el cual se quiere dar solución definitiva a la inadecuada instalación eléctrica provisional que se puede encontrar en la ubicación actual del laboratorio de máquinas eléctricas en el bloque 4D-101 y que será trasladado a el bloque 3A-105.

Con el presente proyecto hacemos uso de las habilidades y de los conocimientos adquiridos en la carrera de tecnología eléctrica, se pueden materializar los deseos de ingresar al ámbito del montaje y los diseños eléctricos y al mismo tiempo ponemos el empeño y la dedicación al servicio de la institución Universitaria Pascual Bravo poniendo a disposición de los estudiantes unas instalaciones eléctricas apropiadas para los módulos de aprendizaje D’LORENZO, que cualifican la calidad y la seguridad en los momentos en que se hagan prácticas de máquinas eléctricas en el laboratorio.

Es grato demostrar que con la ayuda de las directivas de la institución Universitaria Pascual Bravo se pudo encontrar un espacio más adecuado para la reubicación del laboratorio de máquinas eléctricas y que a partir de la intervención y adecuación de las redes eléctricas, los docentes y estudiantes podrán hacer uso de los módulos de aprendizaje D’LORENZO y hacer sus prácticas adecuadamente.

## TABLA DE CONTENIDO

Pág.

|  |    |
|--|----|
| TABLA DE CONTENIDO .....   | 4  |
| 1 LISTA DE TABLAS.....   | 6  |
| 2 LISTA DE ILUSTRACIONES.....  | 7  |
| 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....   | 8  |
| 2. JUSTIFICACIÓN .....   | 9  |
| 3. OBJETIVOS .....   | 10 |
| 3.1 GENERAL.....   | 10 |
| 3.2 ESPECÍFICOS.....   | 10 |
| 4. ALCANCE DEL TRABAJO .....   | 11 |
| 5. ANTECEDENTES .....  | 12 |
| 6. REFERENTES TEÓRICOS.....  | 13 |
| 6.1 MARCO TEÓRICO .....  | 13 |
| 6.1.1 ¿Qué es el cobre? .....  | 13 |
| 6.1.1.1 Función. ....  | 14 |
| 6.1.1.2 El Cobre como conductor eléctrico. ....  | 14 |
| 6.1.1.3 Aislamiento del conductor.....   | 16 |
| 6.1.1.4 Materiales aislantes.....  | 17 |
| 6.1.1.5 Tipos de chaquetas.....  | 17 |
| 6.1.2 Canalizaciones. ....   | 21 |
| 6.1.2.1 Tuberías tipo EMT.....   | 22 |
| 6.1.2.2 Canalizaciones superficiales metálicas y no metálicas (canaletas).....                 | 24 |
| 6.1.2.3 Canalizaciones eléctricas prefabricadas o electroductos.....                           | 24 |
| 6.1.3 Coordinación de protecciones .....   | 26 |
| 6.1.3.1 Determinación de sistema de puesta a tierra del proyecto y conceptos<br>generales..... | 26 |
| 6.1.3.2 Objetivos de las protecciones.....   | 30 |
| 6.1.3.3 Función principal.....   | 30 |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 6.1.3.4  | Tipos de fallas. ....                                      | 31 |
| 6.1.3.5  | Consecuencias de las fallas. ....                          | 31 |
| 6.1.3.6  | Consideraciones básicas para un sistema de protección..... | 32 |
| 6.1.3.7  | Causas de las fallas. ....                                 | 32 |
| 6.1.3.8  | Clases de fallas. ....                                     | 32 |
| 6.1.3.9  | Funciones de un sistema de protección.....                 | 33 |
| 6.1.3.10 | Protecciones termomagnéticas. ....                         | 34 |
| 6.1.3.11 | Normatividad sobre protecciones .....                      | 39 |
| 6.1.4    | Cálculos de regulación de tensión.....                     | 42 |
| 6.1.4.1  | Caída de tensión. ....                                     | 42 |
| 7.       | METODOLOGIA DEL DISEÑO .....                               | 47 |
| 7.1      | Definición del tipo de carga .....                         | 48 |
| 7.1.1    | Calculo de las cargas. ....                                | 48 |
| 7.1.2    | Calculo de regulación de tensión.....                      | 49 |
| 7.1.3    | Ruta de los circuitos ramales.....                         | 49 |
| 7.1.4    | Características del cableado.....                          | 50 |
| 7.1.5    | Características de la tubería. ....                        | 50 |
| 3        | METODOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN. ....                       | 51 |
| 8.       | CONCLUSIONES.....  | 54 |
| 9.       | RECOMENDACIONES .....                                      | 55 |
| 4        | Bibliografía .....   | 56 |
| 10.      | ANEXOS.....  | 57 |

## 1 LISTA DE TABLAS

|  | Pág. |
|--|------|
| Tabla N°1. Valores de $\text{Sen } \phi$ correspondientes según el factor de potencia. | 44   |

## 2 LISTA DE ILUSTRACIONES

Pág.

|  |    |
|--|----|
| Ilustración 1. Capacidad de corriente permitida en conductores aislados para 60 °C: no más de tres conductores que transportan corriente en canalización cable o tierra (directamente enterrados), con base en una temperatura ambiente de 30 °C ..... | 18 |
| Ilustración 2. Capacidad de corriente permitida en conductores aislados para 75 °C: no más de tres conductores que transportan corriente en canalización cable o tierra (directamente enterrados), con base en una temperatura ambiente de 30 °C ..... | 19 |
| Ilustración 3. Capacidad de corriente permitida en conductores aislados para 90 °C: no más de tres conductores que transportan corriente en canalización, cable o tierra (directamente enterrados) con base en una temperatura ambiente de 30 °C. .... | 21 |
| Ilustración 4. Tubería EMT.....  | 22 |
| Ilustración 5. Esquema TT. ....  | 27 |
| Ilustración 6. Esquema TNS. ....   | 27 |
| Ilustración 7. Esquema TN-C-S. ....  | 28 |
| Ilustración 8. Protecciones Baja Tensión. ....   | 29 |
| Ilustración 9. Proceso que sigue la señal de falla y equipos que intervienen. ....   | 30 |
| Ilustración 10. Partes de un interruptor termo magnético. ....   | 36 |
| Ilustración 11. Curva característica de disparo de interruptor termo magnético tipo "C" .....  | 38 |
| Ilustración 12. Circuito eléctrico equivalente para la impedancia de los conductores. ....   | 44 |
| Ilustración 13. Ubicación del proyecto .....   | 46 |
| Ilustración 14. Instalaciones eléctricas antiguas aula 105 del bloque 3 A.....   | 47 |
| Ilustración 15. Salidas monofásicas existentes.....  | 48 |
| Ilustración 16. Tablero T3A-105.....   | 51 |
| Ilustración 17. Salidas eléctricas expuestas. ....   | 52 |
| Ilustración 18. Tablero T3A-105 con protecciones internas. ....  | 53 |

## 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

¿Por qué no existe un laboratorio adecuado de Máquinas Eléctricas con redes eléctricas apropiadas para los módulos de prácticas de máquinas eléctricas, disponiendo del espacio y de los equipos adecuados para realizar las prácticas de forma segura y confiable?

La Institución Universitaria Pascual Bravo, de la Ciudadela Universitaria Pedro Nel Gómez adscrita a la alcaldía de Medellín tiene como política el mejoramiento continuo de la calidad de la educación superior, dicha entidad cuenta con treinta y ocho años formando tecnólogos, técnicos y en los últimos tres años ingenieros con competencias laborales y profesionales; tiene además treinta y dos laboratorios de los cuales cinco son administrados por el departamento de eléctrica

Se centra el trabajo en el laboratorio de Maquinas (4D-101) donde se encuentra que los módulos móviles D'LORENZO con los cuales los estudiantes del cuarto semestre en adelante realizan prácticas de laboratorio de máquinas eléctricas, no se encuentran ubicados en un espacio apropiado y tampoco se cuenta con las instalaciones eléctricas adecuadas para el suministro de energía a dichos módulos.

Así mismo el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas "RETIE" actualizado en julio de 2014 plantea que solo personal "idóneo" está autorizado para manipular señales eléctricas; para este caso que está enfocado a estudiantes que aún no cuentan con la matrícula profesional el trabajo autónomo deberá tener acompañamiento de personal idóneo y además las redes eléctricas deben estar en condiciones adecuadas para disminuir el riesgo para la vida y bienes del estado en la manipulación de señales eléctricas.



## 2. JUSTIFICACIÓN

Los estudiantes de la Institución Universitaria Pascual Bravo necesitan para su formación académica un laboratorio adecuado para hacer prácticas con máquinas eléctricas, teniendo como base una correcta y segura instalación eléctrica para los módulos D'LORENZO y así cumplir con las horas autónomas expresadas en la siguiente relación "por una hora de acompañamiento del docente, el estudiante debe tener dos horas de trabajo autónomo" y generarse evidencia de dicha relación de estudio.

Se tendrán unas instalaciones eléctricas para suministrar energía eléctrica a los módulos de prácticas D'LORENZO cumpliendo con las exigencias de las normas de energía (RETIE) y seguridad industrial, buscando la protección de la vida y de los bienes de la Institución Universitaria Pascual Bravo; a partir de la ejecución del proyecto se garantiza que la infraestructura permita una disponibilidad de energía eléctrica adecuada para el correcto funcionamiento de los módulos D'LORENZO.

Es así como en caso de un evento no fortuito la ARL y los seguros de la Institución Universitaria Pascual Bravo puedan cubrir cualquier situación no deseada que ocurra con objeto de la manipulación de señales eléctricas, para lo cual la Institución Universitaria Pascual Bravo podrá demostrar que las redes y equipos del laboratorio de máquinas del bloque 3A-105 cumplen con los requisitos exigidos desde el punto de vista de la seguridad y la confiabilidad.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 GENERAL**

Diseñar e implementar las instalaciones eléctricas para el laboratorio de Máquinas eléctricas con ocasión de la reestructuración de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

#### **3.2 ESPECÍFICOS**

- Diseñar las redes eléctricas internas para los equipos del laboratorio de máquinas eléctricas desde el tablero de distribución interno T3A-105 hasta las salidas eléctricas trifásicas 5 hilos en el punto de ubicación de cada módulo, incluyendo su ruta en canalización expuesta y las protecciones necesarias.
- Implementar los circuitos y salidas necesarias para los equipos del laboratorio de máquinas eléctricas, según el alcance propuesto en el diseño y que está compuesto por un tablero de protecciones enchufables con protección general, circuitos ramales trifásicos 5 hilos por cada módulo canalizados en tubería expuesta y cajas de derivación metálicas expuestas.

#### 4. ALCANCE DEL TRABAJO

A partir del tablero de distribución ubicado en el pasillo noroccidental del bloque 3A de la Institución Universitaria Pascual Bravo se diseña y construye un alimentador constituido por 5 conductores de cobre con aislamiento THHN calibre No. 10 AWG, 3 conductores para fase, un conductor para neutro y un conductor para puesta a tierra, con una protección contra cortocircuito y sobrecarga de 3x30 amperios enchufable, con corriente de cortocircuito de 10KA y voltaje nominal de 220 V. Los conductores del alimentador se protegen al interior de una tubería metálica tipo EMT de 1" de diámetro y fijada a la pared con grapa metálica doble ala con sus respectivos anclajes, con un recorrido por el costado noroccidental del bloque 3A, a una altura promedio de 4 metros del nivel del piso, hasta llegar al aula 3A-105, donde llega a una protección contra cortocircuito y sobrecarga de 3x30 amperios tipo industrial, con corriente de cortocircuito de 25KA y voltaje nominal de 220 V, ubicada en el tablero interno del aula T3A-105.

Desde el tablero interno de protecciones T3A-105 se diseñan y se construyen cinco circuitos ramales trifásicos 5 hilos, 220 Vac, en cable de cobre calibre No.14 AWG para 3 conductores de fases, 1 conductor de neutro y 1 conductor de puesta a tierra, canalizados con una tubería tipo EMT de diámetro 1" la cual es reducida a partir de la tercer salida a un diámetro de  $\frac{3}{4}$ ", la tubería es fijada a la pared mediante grapas metálicas doble ala con sus respectivos anclajes, para algunos cambios de dirección se utiliza conduletas metálicas y en otros cambios de dirección se utilizan curvas de fábrica.

Cada circuito ramal llega a una caja 12x12x5 cms. metálica en la cual cada conductor es conectorizado utilizando conectores tipo resorte a un encauchado de 5x14 AWG conservando su respectivo código de colores, cada cable es identificado con el número de su respectiva protección y correspondiente a su respectivo módulo de prácticas D'LORENZO que alimenta.

El tablero de distribución T3A-105 es metálico marca TERCOL de fabricación serie, trifásico 5 hilos con espacio para protección principal, corriente nominal de 225 AMP, tensión nominal de 240 Voltios, 18 circuitos con barras de neutro y tierra independiente, color blanco con pintura de polvo electrostático resistente a la humedad y con frente muerto, sobrepuesto en la pared del costado nor-oriental del aula 3A-105, en su interior se alojan 5 protecciones contra cortocircuito y sobrecarga de 3x15 amperios enchufables, con corriente de cortocircuito de 10KA y voltaje nominal de 220 V que protegen cada circuito ramal que alimenta cada módulo de prácticas D'LORENZO.

## 5. ANTECEDENTES

Actualmente los módulos de prácticas para máquinas eléctricas D'LORENZO se encuentran ubicados en el laboratorio de máquinas eléctricas en el bloque 4D-101 de la Institución Universitaria Pascual Bravo, el espacio es provisional debido a el traslado del que fue objeto este laboratorio con motivo de la adecuación institucional realizada en el laboratorio de máquinas II.

Las instalaciones eléctricas provisionales realizadas para atender la alimentación eléctrica de estos módulos de prácticas, está constituida por: un cable encauchetado 4xNo.12 AWG sin canalización, alimentado desde un tablero de distribución no accesible y con una protección trifásica 3x63 AMP, fijada a la estructura de uno de los módulos sin ningún tipo de protección física y con partes energizadas expuestas. Ver ilustración 1.

Cada módulo esta alimentado desde una derivación del encauchetado principal 4xNo.12 AWG, que tiene una protección a su inicio trifásica de 63Amp sin canalización.

Este sistema de alimentación eléctrica provisional tiene los siguientes factores de riesgo:

Contacto directo por que no tiene aislado las partes energizadas de la protección.

Contacto indirecto: debido a fallas de aislamiento y falta del conductor de puesta a tierra.

Corto Circuito: Debido a fallas de aislamiento y equipos defectuosos.

Tensión de Contacto por posibles fallas a tierra.

Sobre Carga por la posibilidad de superar los límites nominales de los conductores.

## 6. REFERENTES TEÓRICOS

### 6.1 MARCO TEÓRICO

#### 6.1.1 ¿Qué es el cobre?

El cobre es un elemento con un número atómico 29. Su peso es de alrededor de 63,55 unidades de masa atómica y es clasificado por los científicos como un metal de transición. El cobre se ha utilizado durante más de 11.000 años. Se ha encontrado en los restos de las antiguas civilizaciones de Egipto, China, Europa y las Américas. También fue utilizado por los antiguos griegos, el Imperio Romano y la isla de Chipre. Fue utilizado por primera vez para crear herramientas. Los depósitos de mineral de cobre se encuentran en América del Norte, América del Sur y África. Los Estados Unidos producen alrededor de un tercio de cobre del mundo. Otros productores de cobre más importantes son Chile, Canadá, Zambia y Zaire.

#### - **Identificación.**

El cobre es un metal de color rojizo-marrón que se encuentra en la naturaleza en muchos minerales, como cuprita y azurita. El cobre también se extrae en el laboratorio a partir de sulfuros de cobre, óxidos y carbonatos.

#### - **Características únicas.**

Lo que hace especial a un metal de transición tal como el cobre son sus electrones de valencia, los electrones utilizados para interactuar con otros elementos y compuestos, existen en más de una concha. Una concha es una capa de electrones que sigue el centro del átomo en una órbita. Por el contrario, la mayoría de los otros elementos tienen electrones de valencia sólo en la capa más externa.

#### - **Beneficios de las características.**

Debido al estado raro de sus electrones de valencia, los metales de transición tienen varios estados de oxidación. El estado de oxidación es un número que indica la cantidad de electrones que se han eliminado de un átomo. Cuantos más electrones se remueven, mayor es el número de oxidación.

- **Características metálicas comunes.**

Algunos rasgos en común de los metales de transición con todos los demás metales son la ductilidad, maleabilidad y la capacidad de conducir electricidad y calor.

#### **6.1.1.1 Función.**

El cobre conduce bien la electricidad y se utiliza ampliamente en el cableado eléctrico. El cobre también se utiliza para las tuberías de agua y materiales de construcción. También encontrarás el cobre en elementos comunes, tales como joyas, monedas y utensilios de cocina. El latón y bronce son aleaciones de cobre. Algunos compuestos de cobre son tóxicos para los invertebrados como insectos y son utilizados como pesticidas.

#### **6.1.1.2 El Cobre como conductor eléctrico.**

- **¿Por qué el cobre es tan utilizado en sistemas eléctricos?**

La principal razón para utilizar el cobre es su excelente conductividad eléctrica o, en otras palabras, su baja resistencia eléctrica. La resistencia es indeseable, pues produce pérdidas de calor cuando el flujo eléctrico circula a través del material. El cobre tiene la resistencia eléctrica más baja de todos los metales no preciosos.

- **¿Existen otros materiales que puedan ser utilizados como conductores eléctricos?**

Sí, casi todos los materiales conducen la electricidad en un cierto grado. Pero para ser un serio candidato a ser utilizado como conductor eléctrico, un material debe combinar una conductividad muy alta con pocas pero importantes características mecánicas. Por esa razón, prácticamente, los materiales más utilizados como conductores son los metales

Los llamados superconductores son materiales especiales que tienen, en ciertas circunstancias específicas, una conductividad eléctrica casi perfecta. Algunos de los materiales superconductores son aleaciones de cobre. Los superconductores deben ser operados a muy bajas temperaturas (temperaturas inferiores a  $-200^{\circ}\text{C}$  para algunos materiales) y eso es muy difícil desde el punto de vista práctico en un gran sistema.

Europa, por ejemplo, tiene 7 millones de kilómetros entre líneas y cables de electricidad, imagine tratar de mantenerlos a  $-200^{\circ}\text{C}$ . Esto no sólo es virtualmente imposible, sino que además requeriría de una gran cantidad de energía para mantener el enfriamiento. Los superconductores, sin embargo, son muy útiles en

circunstancias específicas, por ejemplo, donde debe ser transportada una gran cantidad de energía eléctrica o donde los espacios son limitados, como es el caso de grandes áreas urbanas con gran densidad de energía, y en subestaciones de transmisión.

Aparte de los superconductores, cuatro metales sobresalen por su gran conductividad: la plata, el oro, el cobre y el aluminio. Debido a que la plata y el oro son demasiado costosos, el cobre y el aluminio son los principales candidatos. Otros metales tienen mucha mayor resistencia, por lo que son menos pertinentes.

- **¿Tienen el cobre y el aluminio la misma conductividad?**

No exactamente. La resistencia del aluminio es 65% más alta que la de cobre. Como resultado de esto, para conducir la misma corriente eléctrica, un cable de aluminio necesitará una sección transversal un 65% más grande que la de un cable de cobre.

Pero esa no es toda la historia. Además de menos conductivo, el aluminio es tres veces más liviano que el cobre. Como resultado de esto, el cobre y el aluminio tienen cada uno sus propias áreas de aplicación.

- **¿Cuáles son ejemplos típicos para los campos de aplicación de ambos metales?**

Para cables aéreos, el peso de los cables es el factor decisivo, por eso el aluminio es el que más se usa. Esto significa conductores más voluminosos, pero no es significativo a la hora de diseñar una línea aérea.

Para cables bajo tierra que transportan alto voltaje, el cobre es el más pertinente; en este caso el mayor costo de este material se debe a su aislamiento. El aluminio puede significar un conductor de mayor área, por lo que se necesitará una mayor cantidad de material de aislamiento para rodearlo, lo que puede redundar en un cable de mayor costo. Consecuentemente, en este caso, se prefiere a menudo el menor volumen que ofrece el cobre.

Otra ventaja del cobre para aplicaciones bajo tierra es su alta resistencia contra la corrosión. Esta es la razón por la que las líneas aéreas en zonas costeras, son a menudo construidas en cobre en vez de aluminio.

- **¿Qué conductor usar en cables eléctricos de hogares y oficinas?**

En casas y oficinas, el cobre se utiliza por razones prácticas. Los terminales de conexión como para enchufes hechos de aluminio serían mucho más grandes, lo que resultaría muy poco práctico. Los cables también serían más gruesos y se necesitarían ductos o bandejas más grandes. Además, como los cables de cobre

son hechos por un número importante de finos hilos de ese material, son altamente flexibles y fáciles de pasar a través de los ductos.

Existe otra razón del porqué se prefiere el cobre en los edificios, y es que éste permite que un alambre y un terminal de prensa puedan ser conexiados sin deformaciones del conductor, situación que es altamente conveniente. Estas conexiones no pueden ser hechas en alambres de aluminio. Bajo la presión del tornillo, el aluminio podría dilatarse, disminuyendo su área activa, lo que deriva en una conexión debilitada, con gran riesgo de sobre temperatura y la probabilidad del fuego asociado.

- **¿Existen otros criterios importantes aparte de la conductividad y densidad?**

Sí existen. El cobre posee excelentes características que lo convierten en el conductor por excelencia en equipos eléctricos. Mecánicamente, es un material más fuerte que el aluminio, y consecuentemente más durable. Esto es especialmente verdadero para aplicaciones en entornos exigentes, tales como guarniciones de alambre para coches, alambre magnético para motores eléctricos o cables de poder en entornos industriales.

Además, posee un bajo coeficiente de dilatación térmica, que implica una baja expansión cuando se calienta; esto implica proveer menos espacio libre para la expansión del material en los equipos. El cobre, además, tiene una mayor capacidad térmica que el aluminio (cuando se hace referencia a unidad por volumen), lo que significa que se puede disipar más calor durante procesos pasajeros.

Los diseños en cobre generalmente derivan en aplicaciones eléctricas más compactas. Esta compactación, además, economiza en los materiales no conductores del aparato. Como resultado, un diseño basado en el uso de cobre puede terminar siendo más liviano que su equivalente en aluminio, a pesar del mayor peso específico que tiene el cobre.

Texto anterior tomado de: (Eléctrica, 2014)

### **6.1.1.3 Aislamiento del conductor.**

#### **6.1.1.3.1 Aislamiento termoplástico:**

- PVC - (policloruro de vinilo).
- PE - (polietileno).
- PCP - (policloropreno), neopreno o plástico.



#### 6.1.1.3.2 Aislamiento termoestable:

- XLPE - (polietileno reticulado).
- EPR - (etileno-propileno).
- MICC - Cable cobre-revestido Mineral-aislado.

#### 6.1.1.4 Materiales aislantes.

##### 6.1.1.4.1 Cables en papel impregnado:

- Papel impregnado con mezcla no migrante.
- Papel impregnado con aceite fluido.
- Cables con aislamientos poliméricos extrusionados:
- Polietileno reticulado.(XLPE)
- Goma etileno propileno (HEPR)
- Polietileno termoplástico de alta densidad (HDPE).<sup>2</sup>

##### 6.1.1.5 Tipos de chaquetas.

- **TW:** Thermoplastic Building Wire Moisture (Water) Resistant: alambre o cable aislado con PVC resistente a la humedad, 60 °C; Aplicaciones: Se usan en circuitos principales o ramales y en general para instalaciones eléctricas interiores y exteriores de iluminación, de tipo residencial, comercial e industrial.
- **THHN:** Thermoplastic High Heat Nylon: alambre o cable con aislamiento de PVC y cubierta de nylon, 90 °C en ambiente seco, 600 volts.

Pueden instalarse en cárcamos, ductos y canalizaciones, en sitios secos o mojados.

Es un conductor de cobre recocido sólido o cableado, aislado con PVC.

#### Características

- Tensión máxima de operación: 600 V.
- Temperatura máxima de operación: 60 °C.
- Resistente a la humedad, grasas y ácidos.

- Retardante a la llama. XLPE - (Poliétileno Reticulado Plástico termoendurecible resistente a la humedad y retardante a la llama.

- Colores disponibles: negro, blanco, rojo, azul, verde, amarillo y naranja.

**Norma NTC 1332 y UL 83.**

Alambres y cables TW

En canalización, cable o tierra (directamente enterrados) con base en una temperatura ambiente de 30 °C.

Alambres y cables TW  
Wires and TW cables

| Calibre     | Construcción | Espesor de aislamiento |      | Diámetro exterior |      | Masa total |        | Capacidad de corriente |
|-------------|--------------|------------------------|------|-------------------|------|------------|--------|------------------------|
|             | N° hilos     |                        |      |                   |      |            |        |                        |
| Size        | Construction | Insulation thickness   |      | Overall diameter  |      | Total mass |        | Ampacity               |
|             | N° wires     |                        |      |                   |      |            |        |                        |
| AWG / kcmil | N°           | mm                     | mils | mm                | in   | kg/km      | lb/kft | A*                     |
| 14          | 1            | 0,76                   | 30   | 3,15              | 0,12 | 26         | 18,1   | 20                     |
| 12          | 1            | 0,76                   | 30   | 3,57              | 0,14 | 39         | 26,5   | 25                     |
| 10          | 1            | 0,76                   | 30   | 4,11              | 0,16 | 59         | 39,4   | 30                     |
| 8           | 1            | 1,14                   | 45   | 5,54              | 0,22 | 98         | 65,6   | 40                     |
| 14          | 7            | 0,76                   | 30   | 3,36              | 0,13 | 29         | 19,4   | 20                     |
| 12          | 7            | 0,76                   | 30   | 3,84              | 0,15 | 42         | 28,3   | 25                     |
| 10          | 7            | 0,76                   | 30   | 4,45              | 0,18 | 63         | 42,1   | 30                     |
| 8           | 7            | 1,14                   | 45   | 5,98              | 0,24 | 103        | 69,9   | 40                     |
| 6           | 7            | 1,52                   | 45   | 7,7               | 0,27 | 167,5      | 112    | 55                     |

**Ilustración 1. Capacidad de corriente permitida en conductores aislados para 60 °C: no más de tres conductores que transportan corriente en canalización cable o tierra (directamente enterrados), con base en una temperatura ambiente de 30 °C**

- **THW:** Thermoplastic Heat and Water Resistant (Termoplástico resistente al agua y al calor) Se usa en circuitos principales o ramales y en general para instalaciones eléctricas interiores y exteriores de iluminación, de tipo residencial, comercial e industrial. Pueden instalarse en cárcamos, ductos y

canalizaciones, en sitios secos o mojados. Es un conductor de cobre recocido sólido o cableado, aislado con PVC.

### Características

Tensión máxima de operación: 600 V.

Temperatura máxima de operación: 75°C.

Retardante a la llama.

Resistente a la humedad, grasas y ácidos.

Colores disponibles: negro, blanco, rojo, azul, verde, amarillo, y naranja (calibres 14 a 8 AWG). Negro (calibres 6 AWG y mayores).

**Norma: NTC 1332 y UL 83.**

THW  
THW

| Calibre<br>Size<br>AWG / kcmil | Construcción<br>N° hilos | Espesor de aislamiento |      | Diámetro total   |       | Masa total |        | Capacidad de corriente |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------|------|------------------|-------|------------|--------|------------------------|
|                                | Construction<br>N° wires | Insulation thickness   |      | Overall diameter |       | Total mass |        | Ampacity               |
|                                |                          | mm                     | mils | mm               | in    | kg/km      | lb/kft | A*                     |
| 14                             | 1                        | 0,76                   | 30   | 3,15             | 0,124 | 26         | 17,8   | 20                     |
| 12                             | 1                        | 0,76                   | 30   | 3,57             | 0,141 | 39         | 26,5   | 25                     |
| 10                             | 1                        | 0,76                   | 30   | 4,11             | 0,162 | 58         | 39,4   | 35                     |
| 8                              | 1                        | 1,14                   | 45   | 5,54             | 0,218 | 96,5       | 65,6   | 50                     |
| 14                             | 7                        | 0,76                   | 30   | 3,36             | 0,132 | 28         | 19,4   | 20                     |
| 12                             | 7                        | 0,76                   | 30   | 3,84             | 0,151 | 41         | 28,3   | 25                     |
| 10                             | 7                        | 0,76                   | 30   | 4,45             | 0,175 | 61         | 42,1   | 35                     |
| 8                              | 7                        | 1,14                   | 45   | 5,98             | 0,232 | 103        | 69,2   | 50                     |
| 6                              | 7                        | 1,52                   | 60   | 7,7              | 0,298 | 165        | 112    | 65                     |
| 4                              | 7                        | 1,52                   | 60   | 8,92             | 0,345 | 247        | 167    | 85                     |
| 2                              | 7                        | 1,52                   | 60   | 10,4             | 0,403 | 374        | 252    | 115                    |
| 1                              | 19                       | 2,03                   | 80   | 12,5             | 0,482 | 485        | 326    | 130                    |
| 1/0                            | 19                       | 2,03                   | 80   | 13,5             | 0,522 | 596        | 401    | 150                    |
| 2/0                            | 19                       | 2,03                   | 80   | 14,7             | 0,565 | 736        | 494    | 175                    |
| 3/0                            | 19                       | 2,03                   | 80   | 16               | 0,616 | 910        | 611    | 200                    |
| 4/0                            | 19                       | 2,03                   | 80   | 17,4             | 0,672 | 1127       | 757    | 230                    |
| 250                            | 37                       | 2,41                   | 95   | 19,3             | 0,748 | 1349       | 903    | 255                    |
| 300                            | 37                       | 2,41                   | 95   | 28,8             | 0,801 | 1599       | 1069   | 285                    |
| 350                            | 37                       | 2,41                   | 95   | 22               | 0,851 | 1844       | 1235   | 310                    |
| 400                            | 37                       | 2,41                   | 95   | 23,2             | 0,896 | 2092       | 1400   | 335                    |
| 500                            | 37                       | 2,41                   | 95   | 25,4             | 0,979 | 2582       | 1728   | 380                    |
| 600                            | 61                       | 2,79                   | 110  | 28,2             | 1,09  | 3099       | 2081   | 420                    |
| 700                            | 61                       | 2,79                   | 110  | 30               | 1,15  | 3582       | 2407   | 460                    |
| 750                            | 61                       | 2,79                   | 110  | 30,9             | 1,19  | 3827       | 2571   | 475                    |
| 800                            | 61                       | 2,79                   | 110  | 31,7             | 1,22  | 4067       | 2733   | 490                    |
| 900                            | 61                       | 2,79                   | 110  | 33,3             | 1,28  | 4555       | 3058   | 520                    |
| 1000                           | 61                       | 2,79                   | 110  | 34,8             | 1,34  | 5033       | 3382   | 545                    |

**Ilustración 2. Capacidad de corriente permitida en conductores aislados para 75 °C: no más de tres conductores que transportan corriente en canalización cable o tierra (directamente enterrados), con base en una temperatura ambiente de 30 °C**

- **THHN/THWN:** Thermoplastic High Heat Nylon, Se usa en instalaciones eléctricas de fuerza, control y alumbrados en interiores o exteriores de tipo residencial, comercial e industrial. Pueden instalarse en cárcamos, ductos, bandejas y canalizaciones, en sitios secos y mojados.

### **Construcción**

Conductor de cobre blando, aislado con PVC para 90 °C, con chaqueta de nylon.

### **Características**

- Tensión máxima de operación: 600 V.
- Temperatura máxima de operación: 90 °C, en ambiente húmedo o seco. 75 °C en ambiente mojado.
- Resistente a la humedad, al calor, abrasión, elementos químicos, aceites y gasolina.
- Retardante a la llama.
- Colores disponibles: negro, blanco, rojo, azul, verde, amarillo y naranja (calibres 14 a 8 AWG). Negro (calibres 6 AWG y mayores).

**Norma:** NTC 1332 y UL 83.

| Calibre     | N° hilos | Espesor de aislamiento |      | Espesor chaqueta de nailon |      | Diámetro exterior |       | Masa total |        | Capacidad de corriente |
|-------------|----------|------------------------|------|----------------------------|------|-------------------|-------|------------|--------|------------------------|
| Size        | N° wires | Insulation thickness   |      | Nylon sheath thickness     |      | Overall diameter  |       | Total mass |        | Ampacity               |
| AWG / kcmil | N°       | mm                     | mils | mm                         | mils | mm                | in    | kg/km      | lb/kft | A*                     |
| 14          | 1        | 0,38                   | 15   | 0,10                       | 4    | 2,69              | 0,106 | 23,3       | 15,6   | 25                     |
| 12          | 1        | 0,38                   | 15   | 0,10                       | 4    | 3,11              | 0,123 | 35,1       | 23,6   | 30                     |
| 10          | 1        | 0,51                   | 20   | 0,10                       | 4    | 3,91              | 0,154 | 55,9       | 37,5   | 40                     |
| 8           | 1        | 0,76                   | 30   | 0,13                       | 5    | 5,15              | 0,203 | 91,2       | 61,3   | 55                     |
| 14          | 7        | 0,38                   | 15   | 0,10                       | 4    | 2,90              | 0,114 | 24,7       | 16,6   | 25                     |
| 14          | 19**     | 0,38                   | 15   | 0,10                       | 4    | 2,90              | 0,113 | 24,5       | 16,5   | 25                     |
| 12          | 7        | 0,38                   | 15   | 0,10                       | 4    | 3,38              | 0,133 | 37,2       | 25,0   | 30                     |
| 12          | 19**     | 0,38                   | 15   | 0,10                       | 4    | 3,30              | 0,131 | 37,0       | 24,9   | 30                     |
| 10          | 7        | 0,51                   | 20   | 0,10                       | 4    | 4,26              | 0,168 | 59,2       | 39,8   | 40                     |
| 10          | 19**     | 0,51                   | 20   | 0,10                       | 4    | 4,19              | 0,165 | 58,9       | 39,6   | 40                     |
| 8           | 7        | 0,76                   | 30   | 0,13                       | 5    | 5,5               | 0,216 | 96,3       | 64,7   | 55                     |
| 6           | 7        | 0,76                   | 30   | 0,13                       | 5    | 6,41              | 0,252 | 146,0      | 98,1   | 75                     |
| 4           | 7        | 1,02                   | 40   | 0,15                       | 6    | 8,18              | 0,322 | 233,8      | 157    | 95                     |
| 2           | 7        | 1,02                   | 40   | 0,15                       | 6    | 9,65              | 0,380 | 358,0      | 241    | 130                    |
| 1           | 19       | 1,27                   | 50   | 0,18                       | 7    | 11,2              | 0,442 | 454,2      | 305    | 150                    |
| 1/0         | 19       | 1,27                   | 50   | 0,18                       | 7    | 12,2              | 0,482 | 562,9      | 378    | 170                    |
| 2/0         | 19       | 1,27                   | 50   | 0,18                       | 7    | 13,3              | 0,525 | 698,8      | 470    | 195                    |
| 3/0         | 19       | 1,27                   | 50   | 0,18                       | 7    | 14,6              | 0,576 | 869,6      | 584    | 225                    |
| 4/0         | 19       | 1,27                   | 50   | 0,18                       | 7    | 16,0              | 0,632 | 1083       | 728    | 260                    |
| 250         | 37       | 1,52                   | 60   | 0,20                       | 8    | 17,8              | 0,700 | 1286       | 864    | 290                    |
| 300         | 37       | 1,52                   | 60   | 0,20                       | 8    | 19,1              | 0,753 | 1529       | 1027   | 320                    |
| 350         | 37       | 1,52                   | 60   | 0,20                       | 8    | 20,4              | 0,803 | 1772       | 1191   | 350                    |
| 400         | 37       | 1,52                   | 60   | 0,20                       | 8    | 21,5              | 0,848 | 2013       | 1352   | 380                    |
| 500         | 37       | 1,52                   | 60   | 0,20                       | 8    | 23,7              | 0,931 | 2495       | 1676   | 430                    |
| 600         | 61       | 1,78                   | 70   | 0,23                       | 9    | 26,2              | 1,032 | 3001       | 2017   | 475                    |
| 750         | 61       | 1,78                   | 70   | 0,23                       | 9    | 28,8              | 1,134 | 3720       | 2500   | 535                    |
| 1000        | 61       | 1,78                   | 70   | 0,23                       | 9    | 32,6              | 1,283 | 4914       | 3302   | 615                    |

**Ilustración 3. Capacidad de corriente permitida en conductores aislados para 90 °C: no más de tres conductores que transportan corriente en canalización, cable o tierra (directamente enterrados) con base en una temperatura ambiente de 30 °C.**

(Procables, 2014)

### 6.1.2 Canalizaciones.

Las canalizaciones son conductos cerrados, de sección circular, rectangular o cuadrada, de diferentes tipos (canaletas, tubos o conjunto de tubos, prefabricadas con barras o con cables, ductos subterráneos, entre otros) destinadas al alojamiento de conductores eléctricos de las instalaciones.

Las partes de canalizaciones que estén expuestas o a la vista, deben marcarse en franjas de color naranja de al menos 10 cm de anchas para distinguirlas de otros usos.

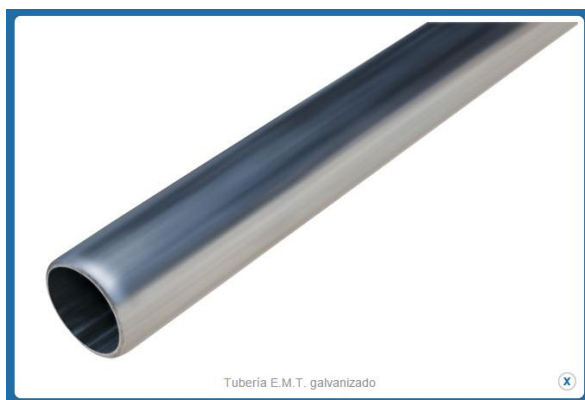
- a. Cuando en una misma canalización se instalen conductores eléctricos con cableados o tuberías para otros usos, debe existir una separación física entre ellos.
- b. Cuando las condiciones específicas de la instalación lo requieran, las canalizaciones y accesorios deben cumplir los requisitos establecidos para esa condición.
- c. En la escogencia e instalación del tipo de canalización, se deben evaluar las condiciones particulares de la instalación y su ambiente y aplicar los elementos más apropiados teniendo en cuenta los usos permitidos y las prohibiciones, de los elementos disponibles en el mercado.

#### **6.1.2.1 Tuberías tipo EMT.**

Tubos para Instalaciones Eléctricas = Conduit EMT (Electrical Metallic Tubing)

La tubería eléctrica metálica (E.M.T.) está diseñada especialmente para la conducción de cables eléctricos para zonas industriales, comerciales y residenciales, también es muy útil para cableado estructurado, manteniendo el cableado aislado, protegiéndolo contra todo tipo de amenazas que pudieran dañarlo.

La tubería E.M.T. puede ser utilizada oculta o expuesta en todas las condiciones atmosféricas. Tiene un acabado galvanizado en su exterior que permite una alta resistencia a la corrosión a largo tiempo.



**Ilustración 4. Tubería EMT.**

### **6.1.2.1.1 Requisitos de instalación.**

a. En ambientes corrosivos, con humedad permanente o bajo tierra, no se aceptan elementos metálicos para alojamiento de conductores, que no estén apropiadamente protegidos contra la corrosión y que no cumplan con la resistencia al impacto y al aplastamiento requeridas.

b. En edificaciones de más de tres pisos, las tuberías eléctricas no metálicas flexibles que por su composición química al momento de incendio pueda expedir gases que por su alto contenido de halógenos u otras sustancias puedan ser tóxicos, deben ir ocultas dentro de cielorrasos, cielos falsos, pisos, muros o techos, siempre y cuando los materiales constructivos usados tengan una resistencia al fuego de mínimo 15 minutos, o menos si se tiene un sistema contra incendio de regaderas automáticas en toda la edificación. Igual tratamiento de recubrimiento debe darse a las tuberías flexibles usadas en viviendas multifamiliares.

c. Los espacios entre elementos que soporten tuberías no metálicas, no podrán ser mayores a 1,2 m para tubería hasta de 19 mm de diámetro; 1,5 m para tuberías entre 25 y 51 mm; 1,8 m para tuberías entre 63 y 76 mm y 2,1 m para tuberías entre 89 y 102 mm.

d. No se podrán usar tuberías no metálicas, en espacios donde por efectos de la carga eléctrica en los conductores, se tengan temperaturas por encima de las tolerables por la tubería.

e. No se permite el uso de tubería eléctrica plegable no metálica, como soporte de aparatos, enterrada directamente en el suelo, ni para tensiones mayores de 600 V, a no ser que esté certificada para ese uso.

f. No deben instalarse tuberías no metálicas en lugares expuestos a daños físicos o a la luz solar directa, si no están certificadas para ser utilizadas en tales condiciones.

g. La resistencia al impacto o al aplastamiento transversal de tuberías no metálicas usadas en paredes, pisos de concreto o enterradas, no podrá ser menor a la especificada en normas internacionales o de reconocimiento internacional para ese producto y aplicaciones.

h. No se deben instalar tuberías no metálicas livianas Tipo A expuestas, ni en cielos falsos; solo se admiten si van embebidas en concreto o materiales resistentes al fuego mínimo de 15 minutos.

i. En construcciones con tuberías embebidas en concreto, los instaladores deben tener especial cuidado en que no se deformen o se obstruyan en el proceso de

vaciado del concreto o enterramiento. Previo al vaciado se debe asegurar que los extremos estén completamente taponados. Para tuberías no metálicas se recomienda calentar y comprimir las puntas expuestas para asegurar que no sean removidos los tapones hasta cuando se empalmen con otras tuberías o se instalen las cajas de conexión o paso.

j. En la juntas de dilatación se debe instalar canalización flexible conforme los requisitos del Código Sismo-resistente.

Nota: Tuberías no metálicas de material termoplástico reforzado con materiales como fibra de vidrio, pueden suplir las restricciones de los literales d y e, siempre que cumplan con la NEMA TC 14 o una norma internacional equivalente.

### **6.1.2.2 Canalizaciones superficiales metálicas y no metálicas (canaletas).**

#### **6.1.2.2.1 Requisitos de instalación.**

a. No se permite el uso de canaletas no metálicas en: instalaciones ocultas (excepto cuando atraviesan muros o paredes), donde estén expuestas a daño físico, en los espacios vacíos de ascensores, en ambientes con temperaturas superiores a las certificadas para la canalización o donde alojen conductores cuyos límites de temperatura del aislamiento excedan aquellos para los cuales se certifica la canaleta.

b. Deben instalarse de tal manera que se asegure la continuidad mecánica y la continuidad eléctrica por medio de puentes equipotenciales.

c. Deben estar sólidamente montadas y con encerramiento completo.

d. Se debe evitar la abrasión o el corte del aislamiento de los conductores, mediante el uso de pasacables, tubos o accesorios adecuados.

### **6.1.2.3 Canalizaciones eléctricas prefabricadas o electroductos.**

La canalización metálica prefabricada, conocida como electroducto, canalización eléctrica con barras incorporadas, canalización con barras, bus de barras, blindo barra, busways o busbar trunking system, contiene conductores desnudos o aislados (generalmente barras, varillas o tubos de cobre o aluminio), además de sus accesorios y fijaciones.

Este sistema y todos sus accesorios se utilizan generalmente para distribución de potencia en edificios, oficinas, hoteles, centros comerciales, instalaciones



agrícolas e industriales y está considerado como un sistema de cableado completo.

Según la IEEE Std. 141 los electroductos se clasifican en cuatro tipos:

- a. Electroducto alimentador. Debe disponer de baja impedancia y mínima caída de tensión a la potencia requerida.
- b. Electroducto de conexión rápida (plug-in). Permite fácil conexión y redistribución de cargas.
- c. Electroducto para iluminación. Provee potencia eléctrica y soportes mecánicos para iluminación o pequeñas cargas.
- d. Electroducto para equipos móviles como montacargas, grúas y herramientas.

#### **6.1.2.3.1 Requisitos de instalación.**

Para instalación se deben cumplir los requisitos establecidos en la Sección 364 de la NTC 2050 y en especial los siguientes:

- a. En instalaciones verticales en donde la canalización con barras incorporadas pasa a través de varios pisos, en cada uno de ellos se debe instalar un muro de al menos 11 cm en el piso, alrededor de la canalización y distanciado del borde del orificio al menos 30 cm, con el fin de proteger la canalización de derrames de líquidos.
- b. Cuando la etiqueta o placa no especifique los puntos de soporte, deben ser instalados a no más de 1,5 m.

Texto anterior tomado de: (REGLAMENTO TECNICO DE INSTALACIONES ELECTRICAS , 2012)

### **6.1.3 Coordinación de protecciones**

“Un sistema de suministro y transporte de Energía Eléctrica debe cumplir con varios requisitos indispensables para prestar un servicio con niveles altos de calidad y seguridad. Esto en parte se cumple mediante la aplicación de normas y procedimientos muy precisos durante las etapas de planeamiento, diseño, construcción y operación de los Sistemas de Potencia. Dichos sistemas quedarán expuestos a fallas cuyas causas son múltiples, que además de provocar daños severos son muchas veces impredecibles, por lo que es necesario proporcionarle a dichos sistemas los esquemas de protección debidamente calibrados con el fin de minimizar los efectos de las fallas, los tiempos de interrupción y mejorar la continuidad del servicio a los consumidores así como disminuir el número de usuarios afectados.

Un sistema de protección bien diseñado y adecuadamente coordinado es vital para asegurar que el sistema eléctrico de potencia opere dentro de los requerimientos y parámetros previstos. Al brindarle seguridad a redes y costosos equipos, también se está protegiendo una inversión de capital muy grande y se protege también a las personas. La operación automática permite aislar las fallas tan rápido como sea posible para minimizar los daños. Los costos económicos y los beneficios de un sistema de protección deben ser tenidos en cuenta con el fin de obtener un adecuado balance entre los requerimientos del sistema y los recursos financieros disponibles.

Ante la ocurrencia de una falla o de una condición anormal, el sistema de protección debe ser capaz de detectar el problema inmediatamente y aislar la sección afectada, permitiendo así que el resto del Sistema de Potencia permanezca en servicio y limitar la posibilidad de daño a los otros equipos.

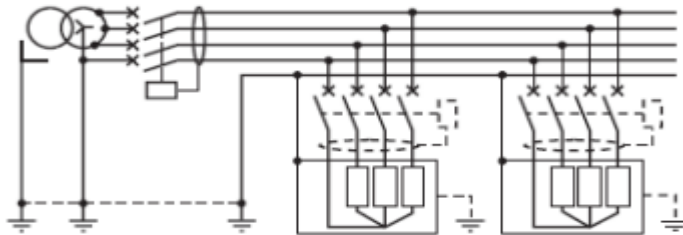
La protección debe ser lo suficientemente sensible para que opere con rapidez aún bajo fallas incipientes”.

Texto anterior tomado de: ("PROTECCION DE SISTEMAS ELECTRICOS", ; Castaño, Samuel Ramirez, 2003, pág. 1)

#### **6.1.3.1 Determinación de sistema de puesta a tierra del proyecto y conceptos generales.**

### 6.1.3.1.1 El esquema TT:

- Técnica para la protección de personas: las partes conductoras accesibles se conectan a tierra y se utilizan dispositivos de corriente diferencial residual (DDR).
- Técnica de funcionamiento: interrupción en caso de primer defecto de aislamiento.

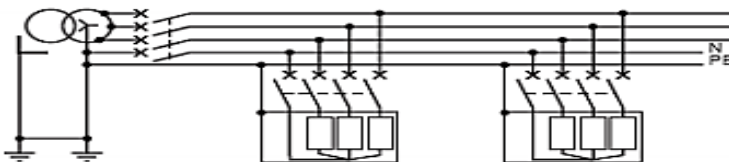


TT

Ilustración 5. Esquema TT.

### 6.1.3.1.2 El esquema TNS:

- Técnica para la protección de personas: es obligatorio interconectar y conectar a tierra las partes conductoras accesibles y el conductor neutro.
- Interrupción en caso de primer defecto, utilizando protección contra Sobrecorrientes (interruptor automático o fusibles).
- Técnica de funcionamiento: interrupción en caso de primer defecto de aislamiento.

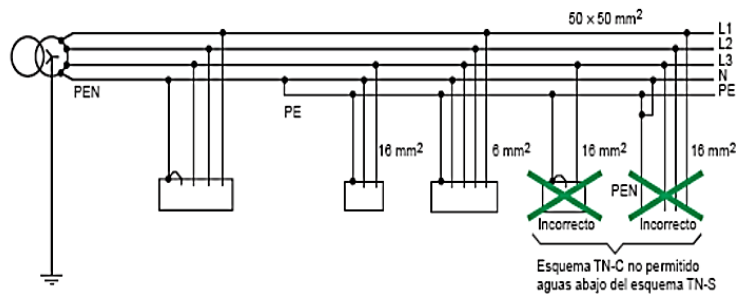


TNS

Ilustración 6. Esquema TNS.

### 6.1.3.1.3 Esquema TN-C-S

Los esquemas TN-C y TN-S se pueden utilizar en la misma instalación y es el sistema comúnmente utilizado en la ciudad de Medellín, sede del proyecto. En el esquema TN-C-S, el esquema TN-C (4 hilos) nunca se debe utilizar aguas abajo del esquema TN-S (5 hilos), puesto que cualquier interrupción accidental en el conductor neutro en la parte aguas arriba provocaría una interrupción en el conductor de protección en la parte aguas abajo y, por tanto, representaría un peligro.

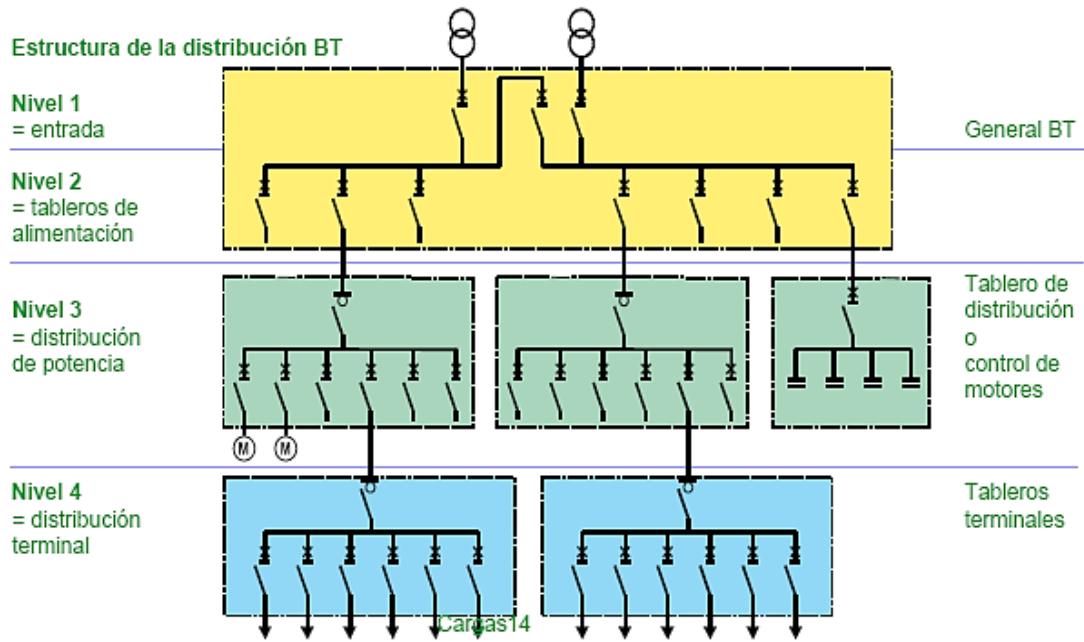


! Esquema TN-C-S.

**Ilustración 7. Esquema TN-C-S.**

#### 6.1.3.1.4 Estructura de coordinación de protecciones en baja tensión.

## Protecciones en BT



Schneider Electric - Pedro Cediel

### Ilustración 8. Protecciones Baja Tensión.

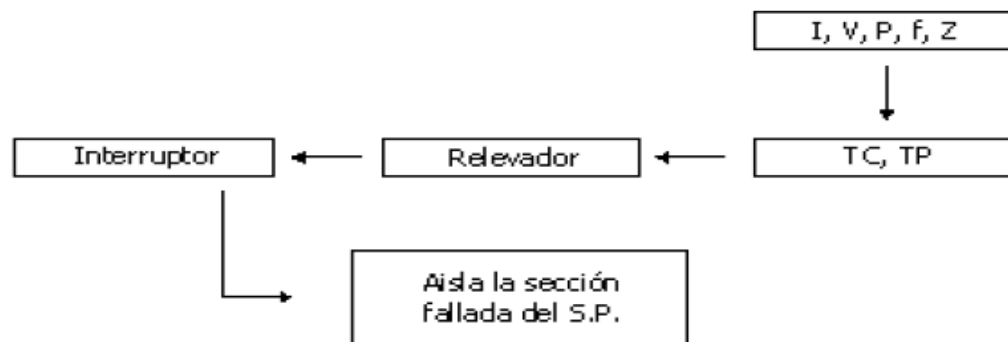
(COORDINACION DE PROTECCIONES Schneider Electric, pág. 6)

### 6.1.3.2 Objetivos de las protecciones.

Los objetivos generales de un sistema de protección se resumen así:

- Proteger efectivamente a las personas y los equipos.
- Reducir la influencia de las fallas sobre las líneas y los equipos.
- Cubrir de manera ininterrumpida el *Sistema de Potencia* (SP), estableciendo vigilancia el 100% del tiempo.
- Detectar condiciones de falla monitoreando continuamente las variables del Sistema de Potencia (I, V, P, F, Z).

La figura N° 8 muestra el proceso que sigue la señal de falla desde que es detectada por los transformadores de medida hasta que se produce el aislamiento de la falla y los equipos que intervienen.



### Proceso de la señal de falla y los equipos que intervienen.

**Ilustración 9. Proceso que sigue la señal de falla y equipos que intervienen.**

### 6.1.3.3 Función principal.

La función principal de un sistema de protección es fundamentalmente la de causar la pronta remoción del servicio cuando algún elemento del sistema de potencia sufre un cortocircuito o falla, o cuando opera de manera anormal.

Existe además una función secundaria la cual consiste en proveer indicación de la localización y tipo de falla.

#### **6.1.3.4 Tipos de fallas.**

Se define el término falla como cualquier cambio no planeado en las variables de operación de un sistema de potencia, también es llamada perturbación y es causada por:

- Falla en el sistema de potencia (Cortocircuito)
- Falla extraña al sistema de potencia (En equipo de protección)
- Falla de la red (Sobrecarga, fluctuación de carga, rayos, contaminación, sabotajes, daños).
- Falla tipo serie: Fase abierta. [Polo abierto de interruptor, ruptura del conductor de fase].

Las tasas de fallas en sistemas de baja tensión son mayores que las que se presentan en sistemas de alta tensión por la cantidad de elementos y equipos involucrados.

#### **6.1.3.5 Consecuencias de las fallas.**

Al cambiar las condiciones de operación de un sistema eléctrico se presentan consecuencias no deseadas que alteran el equilibrio esperado, ellas son:

- Las corrientes de cortocircuito causan sobrecalentamiento y la quema de conductores y equipos asociados, aumento en las flechas de conductores (Efectos térmicos), movimientos en conductores, cadenas de aisladores y equipos (Efectos dinámicos).
- Fluctuaciones severas de voltaje.
- Desbalances que ocasionan operación indebida de equipos.
- Fluctuaciones de Potencia.
- Inestabilidad del sistema de potencia.
  - **Fallas tipo derivación:**

El 72% de las fallas son monofásicas.

El 22% de las fallas involucran dos fases.

El 6% de las fallas son trifásicas.

- Prolongados cortes de energía que causan desde simples incomodidades hasta grandes pérdidas económicas a los usuarios, dependiendo de si este es residencial, comercial o industrial.
- Daños graves a equipos y personas.
- Aparición de tensiones peligrosas en diferentes puntos del sistema.

#### **6.1.3.6 Consideraciones básicas para un sistema de protección.**

Si fuese posible diseñar y construir un sistema eléctrico y el equipo usado en él de tal manera que no ocurran fallas y prevenir las condiciones de sobrecarga, virtualmente no se necesitaría equipo de protección. Para la mayoría de las causas de las fallas, es evidente que un sistema libre de fallas puede no ser construido económicamente.

#### **6.1.3.7 Causas de las fallas.**

- Sobre voltajes debido a las descargas atmosféricas.
- Sobre voltajes debido al suicheo y a la ferorrresonancia.
- Rompimiento de conductores, aisladores y estructuras de soporte debido a vientos, sismos, hielo, árboles, automóviles, equipos de excavación, vandalismo, etc.
- Daño de aislamientos causado por roedores, aves, serpientes, etc.
- Incendio.
- Fallas de equipos y errores de cableado.

#### **6.1.3.8 Clases de fallas.**

**1. Fallas temporales:** Son las fallas que pueden ser despejadas antes de que ocurran serios daños, o porque se auto despejan o por la operación de dispositivos de despeje de falla que operan lo suficientemente rápido para prevenir los daños.

Algunos ejemplos son: arcos en la superficie de los aisladores iniciados por las descargas atmosféricas, balanceo de conductores y contactos momentáneos de ramas de árboles con los conductores. La mayoría de las fallas en líneas aéreas son de carácter temporal pero pueden convertirse en permanentes si no se despejan rápidamente, o porque se auto despejan o porque actúan las protecciones de sobrecorriente.



**2. Fallas permanentes:** Son aquellas que persisten a pesar de la velocidad a la cual el circuito es desenergizado o el número de veces que el circuito es desenergizado.

Algunos ejemplos: cuando dos o más conductores desnudos en un sistema aéreo entran en contacto debido a ruptura de conductores, crucetas o postes; los arcos entre fases pueden originar fallas permanentes, ramas de árboles sobre la línea, etc.

En sistemas subterráneos la mayoría de las fallas son de naturaleza permanente ya que la desconexión, a pesar de la velocidad de desenergización, no restaurará la fortaleza del aislamiento del equipo fallado (cable, equipo de interrupción, transformadores, etc.) al nivel al cual resista la re-aplicación del voltaje normal de 60 Hz.

El aislamiento del cable falla debido a sobre voltajes y rupturas mecánicas, los cuales son ejemplos de fallas permanentes en sistemas subterráneos.

#### **6.1.3.9 Funciones de un sistema de protección.**

1. Aislar las fallas permanentes.
2. Minimizar el número de salidas y de fallas permanentes.
3. Minimizar el tiempo de localización de las fallas.
4. Prevenir daños a los equipos.
5. Minimizar la probabilidad de ruptura de conductores.
6. Minimizar la probabilidad de falla disruptiva.
7. Minimizar los riesgos.

##### **- Principios generales.**

La protección de sistemas eléctricos es considerada como un arte y una ciencia, bien fundamentada por principios científicos y de ingeniería que son seguidos cuando se calculan las corrientes de falla, se determinan las características nominales requeridas de los equipos y luego se determina si los sistemas de protección se coordinan adecuadamente.

Se consideran además otras técnicas que no están muy bien definidas como las reglas para especificar las zonas de protección, ubicación de los equipos de protección y tipos de equipos de protección de acuerdo a su ubicación. Otras consideraciones que son características de cada sistema de potencia tales como

la localización y naturaleza de las cargas y las condiciones ambientales del circuito a proteger deben ser tenidas en cuenta en el diseño de sistemas de protección.

- **Tiempos de eliminación de fallas.**

Los tiempos de eliminación de las fallas varían de acuerdo con la tecnología utilizada.

- **Filosofía del despeje de fallas.**

**Disparo indeseado:** Este es más severo en una línea adyacente a la línea fallada (Disparo no selectivo), un buen SP debe ser capaz de soportarlo. No obedece a una falla real y más bien puede ser el resultado de un sistema de protección mal ajustado o a problemas en servicios auxiliares.

En condiciones de alta carga, la pérdida de dos líneas puede hacer perder estabilidad. Se entiende por *seguridad de la protección* la probabilidad de no tener un disparo indeseado.

**Omisión de disparo durante cortocircuito:** Es la peor de las operaciones incorrectas, puede ser ocasionada por fallas del sistema de protección o del interruptor, conlleva a problemas de estabilidad y apagones. Se entiende por *fiabilidad de la protección* la probabilidad de no tener una omisión de disparo. "Es preferible el disparo indeseado a una omisión de disparo"

- **Operación incorrecta.**

Es la combinación de disparo indeseado con la omisión de disparo durante cortocircuito. Se entiende por *confiabilidad de la protección* la posibilidad de no tener una operación incorrecta.

- **Confiabilidad, fiabilidad y seguridad.**

El sistema de protección de líneas se diseña con alta fiabilidad y el sistema de protección de barras es diseñado con alta seguridad.

Alta Fiabilidad + Alta Seguridad = Confiabilidad.

("PROTECCION DE SISTEMAS ELECTRICOS", ; Castaño, Samuel Ramirez, 2003, pág. 65)

### **6.1.3.10 Protecciones termomagnéticas.**

Son dispositivos capaces de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos. Su funcionamiento se basa en

dos de los efectos producidos por la circulación de corriente eléctrica en un circuito: el magnético y el térmico (efecto Joule). El dispositivo consta, por tanto, de dos partes, un electroimán y una lámina bimetálica, conectadas en serie y por las que circula la corriente que va hacia la carga.

No se debe confundir con un interruptor diferencial o disyuntor.

Al igual que los fusibles, los interruptores termo magnéticos protegen la instalación contra sobrecargas y cortocircuitos.

#### - **Funcionamiento.**

Al circular la corriente por el electroimán, crea una fuerza que, mediante un dispositivo mecánico adecuado (M), tiende a abrir el contacto C, pero sólo podrá abrirlo si la intensidad I que circula por la carga sobrepasa el límite de intervención fijado.

Este nivel de intervención suele estar comprendido entre 3 y 20 veces la intensidad nominal (la intensidad de diseño del interruptor termo magnético) y su actuación es de aproximadamente unas 25 milésimas de segundo, lo cual lo hace muy seguro por su velocidad de reacción.

Esta es la parte destinada a la protección frente a los cortocircuitos, donde se produce un aumento muy rápido y elevado de corriente.

La otra parte está constituida por una lámina bimetálica que, al calentarse por encima de un determinado límite, sufre una deformación y pasa a la posición señalada en línea de trazos lo que, mediante el correspondiente dispositivo mecánico (M), provoca la apertura del contacto C.

Esta parte es la encargada de proteger de corrientes que, aunque son superiores a las permitidas por la instalación, no llegan al nivel de intervención del dispositivo magnético. Esta situación es típica de una sobrecarga, donde el consumo va aumentando conforme se van conectando aparatos.

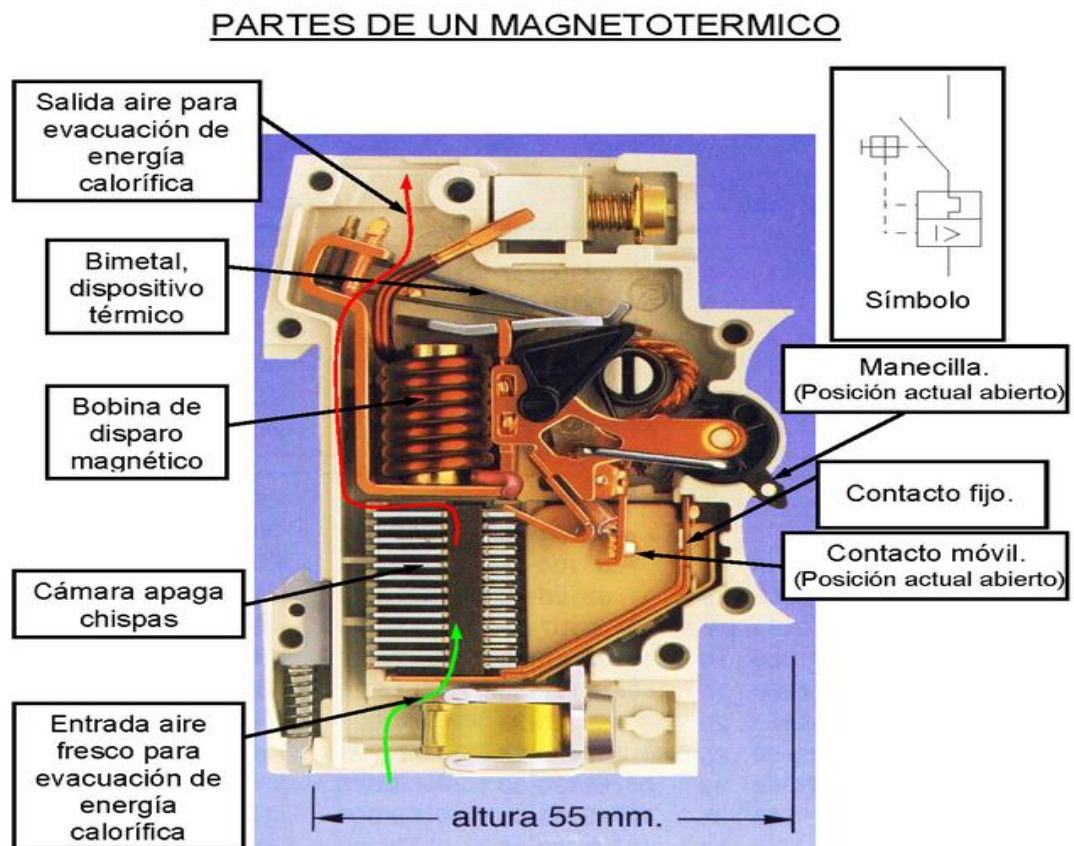
Ambos dispositivos se complementan en su acción de protección, el magnético para los cortocircuitos y el térmico para las sobrecargas. Además de esta desconexión automática, el aparato está provisto de una palanca que permite la desconexión manual de la corriente y el rearme del dispositivo automático cuando se ha producido una desconexión. No obstante, este rearme no es posible si persisten las condiciones de sobrecarga o cortocircuito.

Incluso volvería a saltar, aunque la palanca estuviese sujeta con el dedo, ya que utiliza un mecanismo independiente para desconectar la corriente y bajar la palanca.

El dispositivo descrito es un interruptor termo magnético unipolar, por cuanto sólo corta uno de los hilos del suministro eléctrico. También existen versiones bipolares y para corrientes trifásicas, pero en esencia todos están fundados en los mismos principios que el descrito.

Se dice que un interruptor es de corte omnipolar cuando interrumpe la corriente en todos los conductores activos, es decir las fases y el neutro si está distribuido.

Las características que definen un interruptor termo magnético son el amperaje, el número de polos, el poder de corte y el tipo de curva de disparo (B,C,D ,MA).



**Ilustración 10. Partes de un interruptor termo magnético.**

Imagen tomada de:(wikipedia)

- **Corrientes de sobrecarga**

Desconexión de las corrientes de sobrecarga en un periodo de segundos hasta unos minutos

Se generan corrientes de sobrecarga cuando los equipos terminales captan una corriente superior a la corriente asignada determinada. Estas situaciones surgen por ejemplo por un accionamiento bloqueado. Las corrientes de arranque temporales de las máquinas también son corrientes de sobrecarga. Se presentan solo de manera calculable, pero pueden variar dependiendo de carga de la máquina en el momento de arranque.

Hay que tener en cuenta estas condiciones al seleccionar los fusibles o interruptores de protección para estos circuitos eléctricos. Una desconexión segura debería llevarse a cabo en un periodo de entre segundos hasta unos minutos.

- **Corrientes de cortocircuito**

Desconexión de corrientes de cortocircuito en un rango de milisegundos

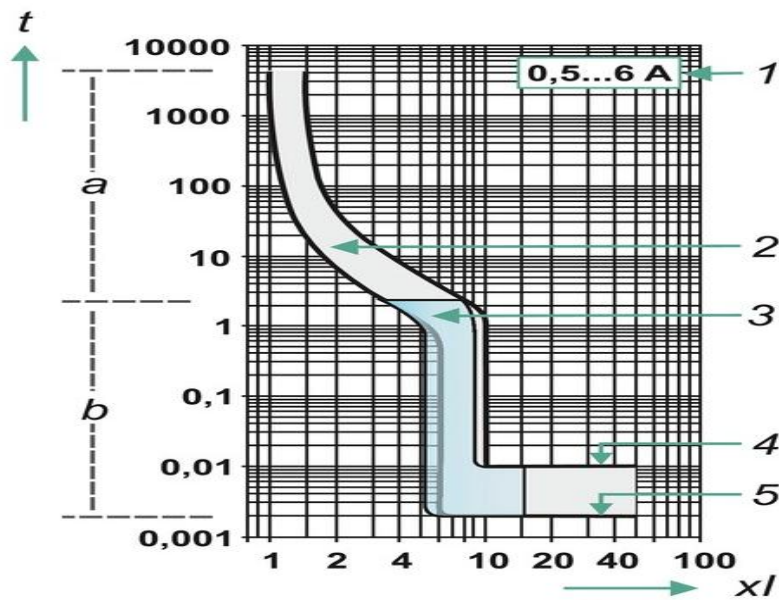
Los cortocircuitos pueden surgir tras daños en el aislamiento entre los conductores que conducen tensión de servicio. Algunos de los módulos de protección para la desconexión de corrientes de cortocircuito son fusibles o interruptores de seguridad con diferentes mecanismos de disparo.

Las corrientes de cortocircuito deberían desconectarse en un **rango de milisegundos** de manera segura.

- **Corrientes residuales**

Las corrientes de fuga se producen debido a un aislamiento dañado y en caso de cortocircuitos entre partes que conducen tensión y puestas a tierra. Este tipo de errores pueden provocar tensiones de contacto muy peligrosas para personas y animales.

Los interruptores diferenciales desconectan zonas de la instalación en las que aparecen este tipo de errores en milisegundos.



**Ilustración 11. Curva característica de disparo de interruptor termo magnético tipo "C"**

Este tipo Interruptores de protección están disponibles normalmente con tres curvas características diferentes (B, C, D). De este modo son adecuados para diferentes requisitos. En la curva característica típica están representadas cada una de las áreas y funciones.

Para la imagen anterior se define:

a = área de trabajo disparo térmico

b = área de trabajo disparo magnético

t = tiempo de conmutación (en segundos)

XI = múltiplo de la corriente nominal /factor de disparo

1 = rango de corriente, para la curva característica rige

2 = rango de disparo DC (gris)

3 = rango de disparo AC (azul)

4 = máximo de disparo

5 = mínimo de disparo

(Phoenix Contact española)

### **6.1.3.11 Normatividad sobre protecciones**

#### **6.1.3.11.1 NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC-2050**

- **SECCION 240 Protección contra sobrecorriente.**
- **SECCION 240-1.**

ALCANCE. Las Partes A hasta G de esta Sección tratan de los requisitos generales de la protección contra sobrecorriente y los dispositivos de protección contra sobrecorriente de no más de 600 V nominales. La Parte H trata de la protección contra sobrecorriente de instalaciones de más de 600 V nominales.

Nota. La protección contra sobrecorriente de los conductores y equipos se instala de modo que abra el circuito si la corriente alcanza un valor que pudiera causar una temperatura excesiva o peligrosa de los conductores o su aislamiento. Véase también el Artículo 110-9, para requisitos de la capacidad de interrupción, y el Artículo 110-10, para requisitos de protección contra corrientes de falla.

- **SECCION 240-2.**

Protección de los equipos. Se deben proteger los equipos contra sobrecorrientes de acuerdo con las secciones de este Código que tratan de cada equipo.

- **SECCION 240-3.**

Protección de los conductores. Los conductores que no sean cordones flexibles y cables de artefactos eléctricos, se deben proteger contra sobrecorriente según su capacidad de corriente tal como se especifica en el Artículo 310-15 de la misma norma.

- **SECCIÓN 240-6. Corrientes nominales normalizadas.**

Fusibles e interruptores automáticos de disparo fijo. Las capacidades de corrientes nominales estándar de los fusibles e interruptores automáticos de circuito de tiempo inverso, son: 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000 y 6000A. Además, se tienen valores nominales de 16, 63, 160, 630 y 1250 A, para los cuales los conectores deben ser adecuados para la sección transversal en mm<sup>2</sup> (calibre AWG) de los conductores inmediatamente superiores que se vayan a conectar.

Excepción. Como corrientes normalizadas de los fusibles también se tienen: 1, 3, 6, 10 y 601 A.

b) Interruptores automáticos de disparo ajustable. La capacidad nominal de corriente de los interruptores automáticos de disparo ajustable, que tengan medios externos fácilmente accesibles para regular el ajuste de disparo, debe ser el valor máximo de ajuste posible (corriente nominal o sobrecarga).

Excepción. Los interruptores automáticos que tengan tapas desmontables y sellables sobre los medios de ajuste o estén situados detrás de las puertas cerradas de los armarios de los equipos o detrás de las puertas cerradas accesibles sólo al personal calificado, podrán tener capacidades de corrientes nominales iguales a las del sensor de retardo, una vez ajustado.

Nota. No es la intención prohibir el uso de fusibles e interruptores automáticos de circuitos de tiempo inverso con corrientes nominales que no estén normalizadas.

- **240-8. Fusibles o interruptores automáticos de circuito en paralelo.**

Los fusibles, interruptores de CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO NTC 2050 (Primera actualización) Capítulo 293 circuito o combinaciones de ambos no se deben conectar en paralelo.

Excepción. Los interruptores automáticos o fusibles montados en paralelo en fábrica y certificados como una sola unidad.

- **240-9. Dispositivos térmicos.**

Los relés térmicos y otros dispositivos no proyectados para abrir cortocircuitos no se deben usar para la protección de conductores contra sobrecorrientes producidas por cortocircuitos o fallas a tierra, pero se permite su uso para proteger contra sobrecargas a los conductores de los circuitos de motores si están protegidos según el Artículo 430-40.

- **240-10. Protección suplementaria contra sobrecorriente.**

Cuando se utilice protección suplementaria contra sobrecorriente en elementos de alumbrado, artefactos y otros equipos o para los circuitos y componentes internos de los equipos, no se debe usar como sustituto de los dispositivos de protección contra sobrecorriente de los circuitos ramales ni en lugar de la protección de los circuitos ramales tal como especifica la Sección 210. Los dispositivos suplementarios de sobrecorriente no tienen que ser fácilmente accesibles.

- **240-11. Definición de dispositivo de protección contra sobrecorriente tipo limitador de corriente.**

Un dispositivo protector contra sobrecorriente por limitación de corriente es un dispositivo que, cuando interrumpe corrientes dentro de su rango de funcionamiento, reduce la corriente que pasa por el circuito en falla hasta una



cantidad sustancialmente menor a la que se conseguiría en el mismo circuito si el limitador fuese sustituido por un conductor macizo de impedancia comparable.

- **240-12. Coordinación de los sistemas eléctricos.**

Cuando se requiera un cierre programado para minimizar el riesgo o riesgos para las personas y equipos, se permite un sistema de coordinación basado en las dos siguientes condiciones:

- 1) Protección coordinada contra cortocircuitos.
- 2) Indicación de sobrecarga mediante sistemas o dispositivos de supervisión.

Nota. La coordinación se define como la localización adecuada de una condición de falla para limitar los cortes a los equipos afectados, acompañada por la escogencia de dispositivos selectivos de protección contra fallas. El sistema de supervisión puede hacer que esa situación produzca una alarma que permita tomar medidas correctoras o sacar ordenadamente el circuito, minimizando así los riesgos para las personas y daños para los equipos.

- **240-13. Protección contra falla a tierra de los equipos.**

Se debe proteger a los equipos contra fallas a tierra de acuerdo con lo establecido en el Artículo 230-95 para sistemas eléctricos en estrella conectados a tierra sólidamente, de más de 150 V a tierra pero que no superen los 600 V entre fases, para cada dispositivo individual utilizado como medio de desconexión de la red de una edificación o estructura que sea de 1000 A nominales o más.

Excepciones:

- 1) Las disposiciones de esta Artículo no se aplican a un medio de desconexión de procesos industriales continuos, en los que la parada desordenada podría aumentar los riesgos o producir otros nuevos.
- 2) Las disposiciones de protección contra fallas a tierra de este Artículo no se aplican a las bombas contra incendios.
- 3) Las disposiciones de este Artículo no se deben aplicar si los medios de desconexión estén protegidos por dispositivos de protección contra falla a tierra de acometida o de alimentador.

Texto anterior tomado textualmente de: (NTC 2050, 1998)

#### **6.1.4 Cálculos de regulación de tensión.**

El caso del estudio de este proyecto de grado para obtener el título de Tecnólogo Eléctrico, la institución Pascual Bravo nos brindó la oportunidad de instalar un circuito eléctrico que este en capacidad de operar el laboratorio de máquinas eléctricas que será trasladado al bloque 3 A, lo cual nos servirá poner en práctica los cálculos matemáticos, las distintas leyes eléctricas y fenómenos físicos aprendidos a lo largo de la Tecnología, como tensión o voltaje, resistencia, fuerza, vector, dirección entre muchos más.

Uno de los aspectos primordiales en la instalación del cable alimentador al cuarto de máquinas, tiene que ver con el dimensionamiento de los conductores que lo conforman, las condiciones de instalación y la carga (corriente) de cada uno de los equipos que serán instalados en el nuevo laboratorio de máquinas, que garanticen el correcto funcionamiento de cada uno de los equipos lo que técnicamente es llamado es el porcentaje de Caída de Tensión o porcentaje de regulación el cual lo encontramos en casi cualquier circuito de distribución.

En este documento se dan a conocer los fundamentos técnicos y teóricos involucrados en el cálculo de la caída porcentual de tensión en la instalación del laboratorio de máquinas. Para ilustrar la aplicación se incluyen datos y conceptos tomados del Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050).

##### **6.1.4.1 Caída de tensión.**

La caída de tensión en el conductor se origina debido a la resistencia eléctrica al paso de la corriente. Esta resistencia depende de la longitud del circuito, el material, el calibre y la temperatura de operación del conductor. Al no existir un conductor perfecto, pues todos presentan resistencia al paso de la corriente por muy pequeña que sea, por este motivo ocurre que un conductor incrementa la oposición al paso de la corriente, a medida que también va aumentando su longitud. Si esta resistencia aumenta, por consiguiente aumenta el desgaste de fuerza, es decir, la caída de tensión. Podríamos decir que la caída de tensión de un conductor viene determinada por la relación que existe entre la resistencia que ofrece este al paso de la corriente, la carga prevista en el extremo más lejano del circuito y el tipo de tensión que se aplicará a los extremos.

Al suministrar corriente a una carga por medio de un conductor, se experimenta una caída en la tensión y una disipación de energía en forma de calor. En circuitos de corriente continua (c.c.) la caída de tensión se determina por medio de la siguiente fórmula, conocida como la Ley de Ohm:

$$V = I \cdot R$$

Dónde:

V = es la caída de tensión

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

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

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

$$V = I \cdot Z \quad \text{Siendo } Z \text{ la impedancia.}$$

### **Impedancia Eficaz**

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

$$Z_{EF} = R \cos \Theta + X \sin \Theta$$

Donde:

$\Theta$  es el ángulo del factor de potencia del circuito.

R es la resistencia a corriente alterna de conductor.

X es la reactancia del conductor.

Por otro lado, tenemos:

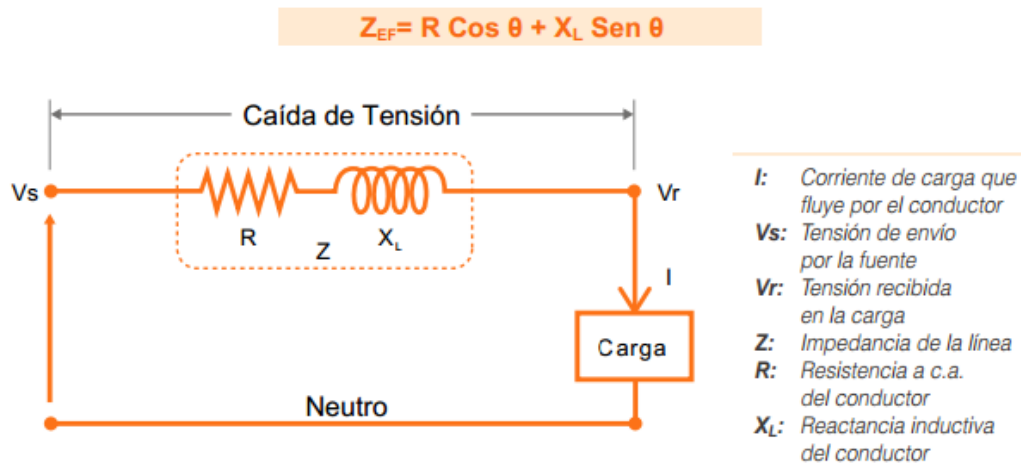
$$X = X_L - X_C$$

Dónde:

$X_L$  es la reactancia inductiva

$X_C$  es la reactancia capacitiva

Considerando que las distancias de las redes eléctricas en sistemas de distribución de cables para media tensión implican longitudes cortas, se pueden despreciar los efectos capacitivos. Así mismo, para sistemas de distribución de cables de baja tensión estos efectos capacitivos también son despreciables debido a las bajas tensiones de operación (menos de 600V); por lo tanto se pueden tener en cuenta solamente la resistencia y la reactancia inductiva, simplificando los cálculos con una muy buena aproximación a la realidad Reemplazando en la fórmula la reactancia  $X$  por la reactancia inductiva  $X_L$  (es decir, despreciando la reactancia capacitiva), la impedancia eficaz se define así:



**Ilustración 12. Circuito eléctrico equivalente para la impedancia de los conductores.**

Conociendo los valores de resistencia a la corriente (R), de reactancia inductiva ( $X_L$ ) y el factor de potencia ( $FP = \cos \phi$ ), es posible calcular la impedancia eficaz ( $Z_{EF}$ ), para lo cual se incluyen en la tabla 1 los valores de  $\text{Sen } \phi$  correspondientes.



Tabla N°1. Valores de Sen  $\phi$  correspondientes según el factor de potencia.

| F.P<br>Cos $\phi$ | = | Sen<br>$\phi$ |
|-------------------|---|---------------|
| 1.00              |   | 0             |
| 0.95              |   | 0.31          |
| 0.90              |   | 0.44          |
| 0.85              |   | 0.53          |
| 0.80              |   | 0.60          |
| 0.75              |   | 0.66          |
| 0.70              |   | 0.71          |

Los cables de baja tensión son utilizados en alambrado eléctrico en edificaciones, en circuitos alimentadores, ramales y redes interiores secundarias industriales.

En la tabla 2 se muestran los valores de resistencia eléctrica y reactancia inductiva para instalación de tres conductores de fase en conduit; como se observa en la ilustración 2, se incluyen los conductores de neutro y de tierra

NOTA: para el cálculo del calibre del conductor se tendrá en cuenta la potencia de cada uno de los módulos de prácticas D'Lorenzo, la distancia del último módulo (cola de circuito), el calibre del conductor y la distancia que hay desde el tablero de servicios generales T3A hasta el tablero interno T3A-105.



**Ilustración 13. Ubicación del proyecto**

Imagen adaptada de google maps.

## 7. METODOLOGIA DEL DISEÑO

Para la metodología de diseño para el trabajo de grado diseño e implementación de la acometida y las salidas eléctricas internas para el laboratorio de máquinas eléctricas en el bloque 3A aula 105, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Se realizó un levantamiento del estado del aula 105 del bloque 3A de la Institución Universitaria Pascual Bravo y el estado de las instalaciones eléctricas de la misma.



**Ilustración 14. Instalaciones eléctricas antiguas aula 105 del bloque 3 A.**

Foto de los autores del proyecto.

Se encontró que las instalaciones eléctricas tienen un sistema monofásico. Esta aula será adecuada como laboratorio de máquinas y por esto se hace necesario la instalación de un sistema de energía trifásico para poder poner en funcionamiento cinco módulos didácticos marca D'Lorenzo para que los estudiantes de máquinas puedan realizar las prácticas de laboratorio.



### **Ilustración 15. Salidas monofásicas existentes.**

Foto de los autores del proyecto.

#### **7.1 Definición del tipo de carga**

Se tuvo en cuenta que las cargas que alimentará la instalación eléctrica trifásica proyectada son los módulos didácticos marca D'Lorenzo. Estos módulos se alimentarán del circuito trifásico que se construirá. También se dejará la disponibilidad de los toma corrientes monofásicos existentes.

##### **7.1.1 Calculo de las cargas.**

Potencia de cada módulo: 1,1 KW

Voltaje= 208v trifásico.

$$\text{Corriente nominal} = \frac{1100 \text{ w}}{208 \text{ v} \times \sqrt{3}} = 3,05 \text{ A}$$

$$\text{Corriente de conductor} = \frac{1100 \text{ w}}{208 \text{ v} \times \sqrt{3}} = 3,05 \text{ A} \times 1,25 = 3,81 \text{ A}$$

$$\text{Cantidad} = 5 \text{ modulos} \times 3,05 \text{ A} = 15,25 \text{ A}$$



### 7.1.2 Cálculo de regulación de tensión.

$$\text{Regulación de voltaje Módulo 5 (\%)} = \frac{D \times I \times 78,72}{MCM \times \left(\frac{V}{100}\right)} = \frac{17 \text{ mts} \times 3,05 \text{ amp} \times 78,72}{4110 \times \left(\frac{208 \text{ v}}{100}\right)} = 0,48\%$$

$$\text{Regulación de voltaje Módulo 4 (\%)} = \frac{D \times I \times 78,72}{MCM \times \left(\frac{V}{100}\right)} = \frac{12 \text{ mts} \times 3,05 \text{ amp} \times 78,72}{4110 \times \left(\frac{208 \text{ v}}{100}\right)} = 0,34\%$$

$$\text{Regulación de voltaje Módulo 3 (\%)} = \frac{D \times I \times 78,72}{MCM \times \left(\frac{V}{100}\right)} = \frac{10 \text{ mts} \times 3,05 \text{ amp} \times 78,72}{4110 \times \left(\frac{208 \text{ v}}{100}\right)} = 0,28\%$$

$$\text{Regulación de voltaje Módulo 2 (\%)} = \frac{D \times I \times 78,72}{MCM \times \left(\frac{V}{100}\right)} = \frac{8 \text{ mts} \times 3,05 \text{ amp} \times 78,72}{4110 \times \left(\frac{208 \text{ v}}{100}\right)} = 0,22\%$$

$$\text{Regulación de voltaje Módulo 1 (\%)} = \frac{D \times I \times 78,72}{MCM \times \left(\frac{V}{100}\right)} = \frac{6 \text{ mts} \times 3,05 \text{ amp} \times 78,72}{4110 \times \left(\frac{208 \text{ v}}{100}\right)} = 0,17\%$$

$$\text{Regulación de voltaje alimentador ppal.} = \frac{D \times I \times 78,72}{MCM \times \left(\frac{V}{100}\right)} = \frac{30 \text{ mts} \times 15,25 \text{ amp} \times 78,72}{10380 \times \left(\frac{208 \text{ v}}{100}\right)} = 1,67\%$$

Luego de calcular las cargas y teniendo en cuenta las distancias de los módulos y del alimentador principal, se concluye que el porcentaje de regulación se encuentra entre los límites máximos permitidos, 2% para circuitos alimentadores y 3% para circuitos ramales o que la combinación de ambas no supere el 5%, según la norma NTC 2050 sección 210-19 apartado A nota 4.

### 7.1.3 Ruta de los circuitos ramales.

Los circuitos ramales para cada uno de los módulos se instalarán con cinco conductores de cobre N° 14 AWG THHN, que corresponden a tres conductores de fase, un conductor de neutro y un conductor de puesta a tierra.

Se define la ruta de los circuitos ramales para éstos módulos de la siguiente manera: Los cables se conducirán por tubería metálica de 1" y ¾" la cual queda adosada en el costado nor-occidental del aula 105 del bloque 3A de la Institución Universitaria Pascual Bravo. Y en el mismo costado del aula en mención se instala el tablero de distribución de circuitos. Ver anexo 2. Diseño eléctrico aula 3A-105

#### **7.1.4 Características del cableado.**

Para esta instalación se utilizará cable de cobre N° 10 AWG THHN para el alimentador general del tablero interno T3A-105 desde el tablero de servicios generales T3A y cada circuito ramal para los módulos será alimentado con cinco conductores de cobre N° 14 AWG THHN, que corresponden a tres conductores de fase, un conductor de neutro y un conductor de puesta a tierra.

#### **7.1.5 Características de la tubería.**

Los conductores de los circuitos ramales se alojarán para las instalaciones eléctricas internas en tubería metálica tipo EMT de  $\frac{3}{4}$  " y 1" de diámetro, la cual se instalará con anclajes y elementos de fijación adecuado, por las paredes del aula, el alimentador será en tubería metálica tipo EMT de 1" de diámetro, igualmente instalada con anclajes y elementos de fijación adecuados, adosados a las paredes del corredor del bloque 3 A desde el tablero de servicios generales T3A. Hasta el tablero interno T3A- 105.

#### **NOTA ACLARATORIA DE DISEÑO:**

Todos los elementos utilizados en esta instalación deben cumplir con los requisitos exigidos por la normatividad actual y poseer certificación RETIE.

### 3 METODOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN.

Tomando como base para la construcción el diseño eléctrico expuesto en el anexo 2, y teniendo definida la fecha del montaje, se procede a ejecutar las labores bajo los siguientes lineamientos.

Se hace solicitud escrita al jefe de departamento de eléctrica de la Institución Universitaria Pascual Bravo, para que autorice realizar el montaje en la fecha definida, así mismo para que autorice el ingreso de los materiales y herramientas para la ejecución.

Se procede con el montaje por parte de los integrantes del proyecto de grado, previa verificación del cumplimiento de las normas de seguridad industrial.

Se divide en 2 grupos las tareas a ejecutar y se definen y se procede con el montaje con los siguientes detalles constructivos:

Desde el tablero interno de protecciones T3A-105 se instalan cinco circuitos ramales trifásicos 5 hilos, 220 Vac, en cable de cobre calibre No.14 AWG para 3 conductores de fases, 1 conductor de neutro y 1 conductor de puesta a tierra, canalizados con una tubería tipo EMT de diámetro 1" la cual es reducida a partir de la tercer salida a un diámetro de  $\frac{3}{4}$ ", la tubería es fijada a la pared mediante grapas metálicas doble ala con sus respectivos anclajes, para algunos cambios de dirección se utilizan conduletas metálicas y en otros cambios de dirección se utilizan curvas de fábrica. Ver ilustración 15 e ilustración 16.



**Ilustración 16. Tablero T3A-105.**

Foto de los autores del proyecto.

Cada circuito ramal llega a una caja 12x12x5 cms. metálica en la cual cada conductor es conectorizado utilizando conectores tipo resorte a un encauchetado de 5x14 AWG conservando su respectivo código de colores, cada cable es identificado con el número de su respectiva protección y correspondiente al respectivo módulo de prácticas D'LORENZO que alimenta. Ver ilustración 16.



**Ilustración 17. Salidas eléctricas expuestas.**

El tablero de distribución T3A-105, trifásico 5 hilos con espacio para protección principal, corriente nominal de 225 AMP, tensión nominal de 240 Voltios, 18 circuitos con barras de neutro y tierra independiente, color blanco con pintura de polvo electrostático resistente a la humedad y con frente muerto, sobrepuesto en la pared del costado nor-oriental del aula 3A-105, en su interior se instalan 5 protecciones contra cortocircuito y sobrecarga de 3x15 amperios enchufables, con corriente de cortocircuito de 10KA y voltaje nominal de 220 V que protegen cada circuito ramal que alimenta cada módulo de prácticas D'LORENZO.



**Ilustración 18. Tablero T3A-105 con protecciones internas.**

Foto de los autores del proyecto.

## 8. CONCLUSIONES

- La ejecución de este proyecto permitió complementar los conocimientos en diseño y construcción de instalaciones eléctricas, adquiridos durante nuestro proceso de formación como tecnólogos electricistas en la Institución Universitaria Pascual Bravo.
- Este proyecto de grado permite mitigar los riesgos de contacto directo, contacto indirecto y sobrecarga en las instalaciones eléctricas para alimentar los modulos de prácticas de máquinas eléctricas.
- Se dota a la Institución Universitaria Pascual Bravo de unas instalaciones eléctricas confiables, seguras y en cumplimiento de los reglamentos técnicos actuales.

## 9. RECOMENDACIONES

- El diseño y montaje se hace con **circuitos exclusivos** para atender los requerimientos eléctricos de los módulos de prácticas de máquinas eléctricas D'LORENZO existentes en el laboratorio de máquinas eléctricas.
- Se recomienda al área de servicios generales de la Institución Universitaria Pascual Bravo hacer un mantenimiento preventivo y correctivo de las instalaciones eléctricas al interior del tablero de servicios generales del bloque T3A, ya que se pueden presentar fallas y confusiones debido a la inadecuada marcación de los circuitos del tablero así como riesgo de electrocución al personal que manipula las protecciones que contiene este tablero.

#### 4 Bibliografía

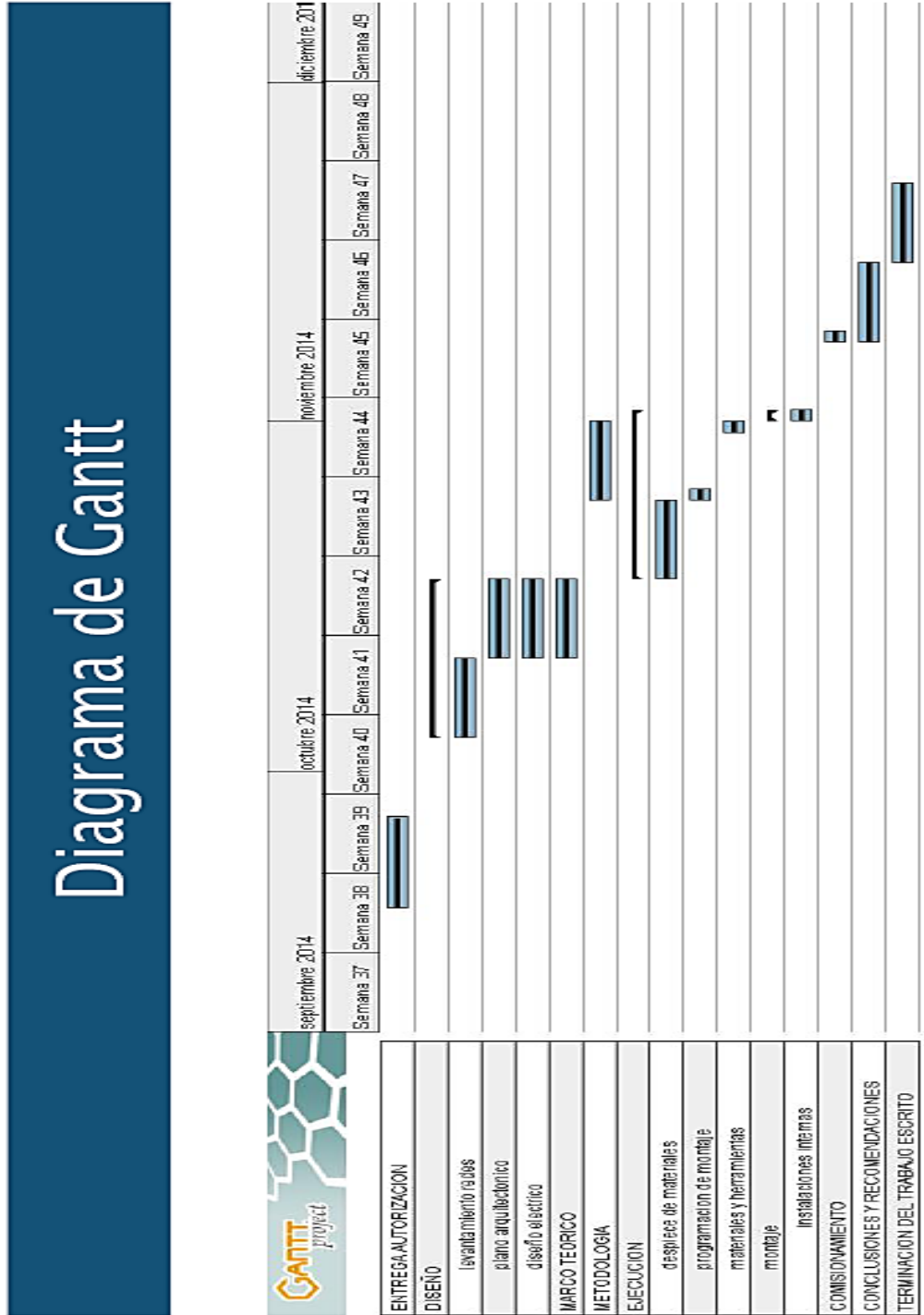
- "PROTECCION DE SISTEMAS ELECTRICOS", ; Castaño, Samuel Ramirez. (2003). *Biblioteca Digital Universidad Nacional de Colombia*. Recuperado el 15 de Octubre de 2014, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/3392/1/samuelramirezcastano.2003.pdf>
- COORDINACION DE PROTECCIONES Schneider Electric. (s.f.). *Schneider Electric Colombia*. Recuperado el 15 de 10 de 2014, de [www.schneiderelectric.com.co](http://www.schneiderelectric.com.co)
- Eléctrica, A. (5 de Octubre de 2014). *Afinidad electrica*. Recuperado el 5 de Octubre de 2014, de *Afinidad electrica*: <http://www.afinidadelectrica.com/articulo.php?IdArticulo=147>
- NTC 2050. (1998). *CODIGO ELECTRICO COLOMBIANO*. ICONTEC.
- Phoenix Contact España. (s.f.). *Phoenix Contact España*. Recuperado el 17 de 10 de 2014, de [https://www.phoenixcontact.com/online/portal/es?1dmy&urile=wcm%3apath%3a/eses/web/main/products/technology\\_pages/subcategory\\_pages/circuit\\_breaker/f8d86030-3d6e-4064-a9c5-9b1c292afe81/f8d86030-3d6e-4064-a9c5-9b1c292afe81](https://www.phoenixcontact.com/online/portal/es?1dmy&urile=wcm%3apath%3a/eses/web/main/products/technology_pages/subcategory_pages/circuit_breaker/f8d86030-3d6e-4064-a9c5-9b1c292afe81/f8d86030-3d6e-4064-a9c5-9b1c292afe81)
- Procables. (7 de Octubre de 2014). *Procables S.A* . Recuperado el 7 de Octubre de 2014, de *Procables de Colombia*: [http://www.procables.com.co/downloads/catalogoconductores\\_de\\_cobre\\_aislado.pdf](http://www.procables.com.co/downloads/catalogoconductores_de_cobre_aislado.pdf)
- REGLAMENTO TECNICO DE INSTALACIONES ELECTRICAS . (2012). MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA . En RETIE, *REGLAMENTO TECNICO DE INSTALACIONES ELECTRICAS* (págs. 98-104). Bogotá Colombia: CIDET.
- Scame. (8 de Octubre de 2014). *Scame* . Recuperado el 8 de Octubre de 2014, de *Scame* : <http://www.scame.com/es/prodotto/sez/sez2b.asp>
- wikipedia. (s.f.). *wikipedia*. Recuperado el 17 de 10 de 2014, de [http://es.wikipedia.org/wiki/Interrupcion\\_magnetica](http://es.wikipedia.org/wiki/Interrupcion_magnetica)



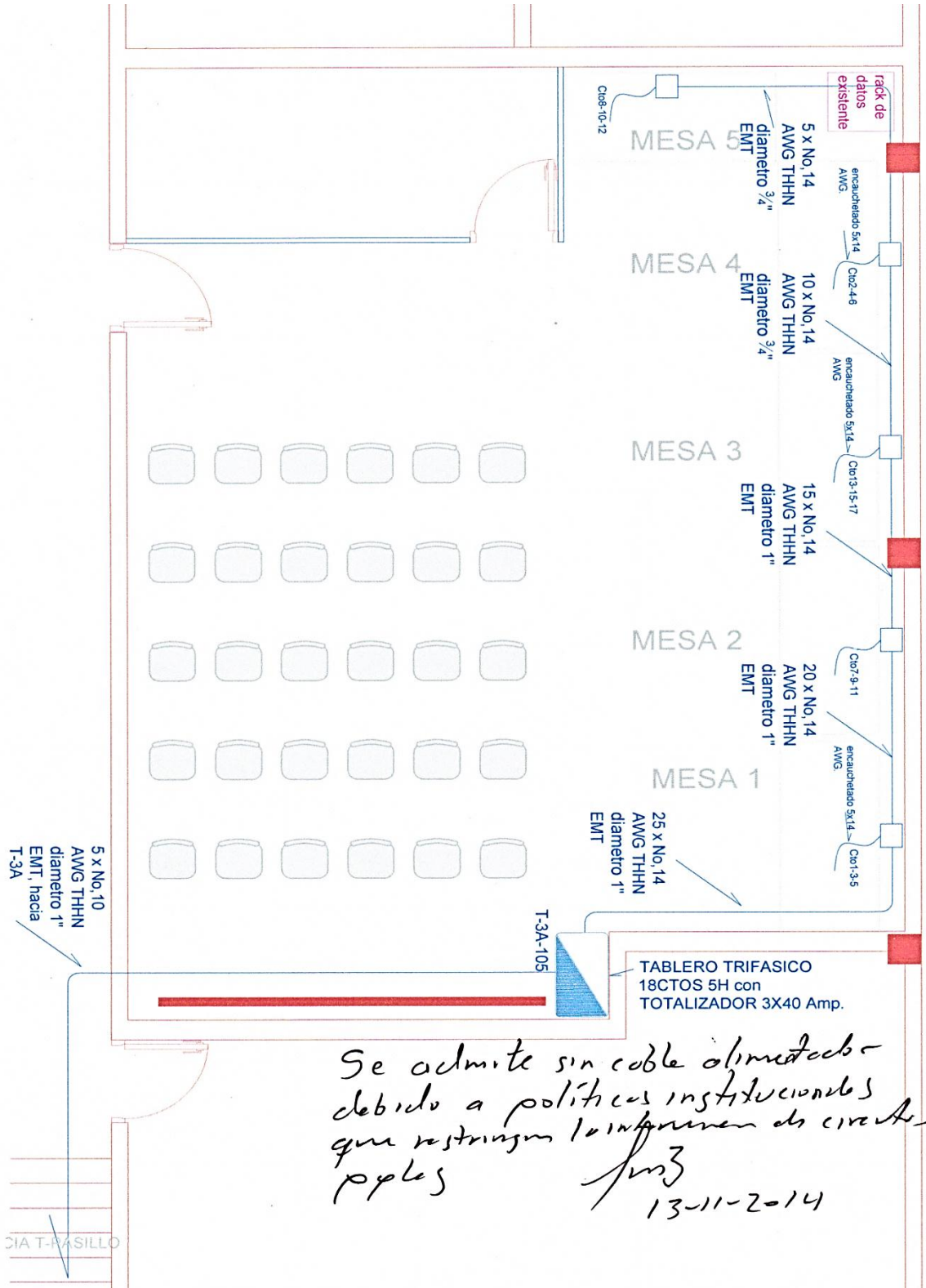
## 10. ANEXOS

Anexo 1: Cronograma de actividades.

PROYECTO DE GRADO  
19/09/14-22/11/14



Anexo 2: Diseño eléctrico aula 3A-105.




Anexo 3: Acta de entrega de elementos constituyentes proyecto de grado.

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE LA ACOMETIDA Y LAS SALIDAS ELECTRICAS INTERNAS PARA EL LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS EN EL BLOQUE 3A AULA 105, ETAPA 1 Y ETAPA 2.**

**INSTITUCION UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
ACTA DE ENTREGA DE ELEMENTOS CONSTITUYENTES DE PROYECTO DE GRADO.**

13/11/2014

| ITEM | DESCRIPCION  | UNIDAD | CANT. TOTAL | OBSERVACIONES |
|------|--|--------|-------------|---------------|
| 1    | <b>SUMINISTRO E INSTALACION DE:</b>  |        |             |               |
| 1,01 | Tablero eléctrico de distribución de 18 circuitos trifásico expuesto, para interruptor enchufable, trifásico, 5 hilos, con espacio para totalizador, con puerta y chapa. Marca Tercol. | Un     | 1           |               |
| 1,02 | Interruptor automático (breaker) tripolar enchufable 3x15 A, lcc>10 kA, 220 V. marca siemens.  | Un     | 5           |               |
| 1,03 | Interruptor automático (breaker) tripolar atornillable tipo industrial 3x30 A, lcc>25 kA, 220 V. Marca Schneider electric.   | un     | 1           |               |
| 1,04 | tubería EMT 3/4", incluye elementos de fijación y accesorios EMT   | ml     | 6           |               |
| 1,05 | tubería EMT 1", incluye elementos de fijación y accesorios EMT   | ml     | 7           |               |
| 1,06 | cable No. 14 AWG THHN-THWN 7 hilos para circuitos ramales trifásicos. Marca centelsa   | Un     | 241         |               |
| 1,07 | conduleta LB 1"  | un     | 3           |               |
| 1,08 | conduleta LB 3/4"  | un     | 1           |               |
| 1,09 | caja 12x12x5 para salidas electricas trifasica   | un     | 5           |               |
| 1,10 | Cable encauchetado 5x14 AWG para salidas electricas trifasicas incluye prensaestopa, conectores y marcacion. Marca procables   | ml     | 12          |               |
| 1,11 |  |        |             |               |
|      |  |        |             |               |
|      |  |        |             |               |
|      |  |        |             |               |
|      |  |        |             |               |
|      |  |        |             |               |

Vo. Bo. Jefe Departamento de Eléctrica:   
Ing. LUIS GIOVANNY BERRIO

FECHA: 13-11-2014

Representante de los estudiantes: Sharon Elieth Gómez Velez  
SHARON ELIETH GOMEZ VELEZ

FECHA: 13-11-2014

ejecutores de proyecto de grado:

SHARON ELIETH GOMEZ VELEZ  
JAIRO DE JESUS GUTIERREZ UPEGUI  
JUAN CARLOS GARZON SOTO  
MAURICIO URREGO MONSALVE  
LUIS ALEJANDRO AGUIRRE  
ALEXANDER BLANDON

Anexo 4: Acta de aprobación anteproyecto.



INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA  
**PASCUAL BRAVO**

Código: GDC-FR-14  
Versión 05

DUTE 002259

Medellín, 19 SEP 2014

Señor(es)  
SHARON ELIETH GOMEZ VELEZ  
JAIRO DE JESUS GUTIERREZ UPEGUI  
JUAN CARLOS GARZON SOTO  
Estudiantes de Tecnología Eléctrica  
Institución Universitaria Pascual Bravo  
Medellín

Asunto: Aprobación Anteproyecto

Cordialmente le informo que el Comité de Trabajos de Grado, aprobó su anteproyecto titulado **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA ACOMETIDA Y LAS SALIDAS ELECTRICAS INTERNAS PARA EL LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS EN EL BLOQUE 3A AULA 104, ETAPA 1”**. Para facilitar el proceso de verificación y ajustes al documento, deberán entregar los avances del proyecto del 04 de agosto al 29 de noviembre de 2014 y el trabajo de grado empastado el 22 de noviembre de 2014, fecha en la cual terminan las asesorías.

Es de anotar que si en los seis meses asignados no consiguen terminar su proyecto, pueden solicitar como máximo hasta dos prórrogas consecutivas, las cuales no excederán de seis meses cada una. Cada prórroga implica la cancelación del 50% del valor de un semestre académico vigente, en caso de no terminar el trabajo en la segunda prórroga, éste será cancelado.

Ahora bien, el proyecto terminado se recibe en el Departamento de Eléctrica, empastado y totalmente corregido con las normas ICONTEC, con los siguientes formatos debidamente diligenciados, los cuáles deben ser reclamados previamente:

- ❖ GDO-FR-101 Informe de asistencia a la asesoría.
- ❖ GDO-FR-103 Acta de evaluación final
- ❖ GDO-FR-104 Evaluación Asesoría y
- ❖ GDO-FR-71 Acta adicional de calificaciones. Además de una copia del trabajo impresa en papel y una copia del Trabajo en CD y la elaboración de un Artículo en inglés del trabajo de grado.

TECNOLOGÍA, INNOVACIÓN, CULTURA Y VIDA.

[www.pascualbravo.edu.co](http://www.pascualbravo.edu.co)



Institución Universitaria - adscrita al Municipio de Medellín.

PBX:4480520

Calle 73 73A-226 Via El Volador Medellín - Colombia



Medellín  
todos por la vida



Alcaldía de Medellín



A continuación se relacionan los datos del asesor técnico y metodológico asignado, para que por favor sea contactado por ustedes y al cual se le envía copia de este comunicado:

Asesor: Rodrigo Rueda García  
Correo: rrueda@bancolombia.com.co  
Teléfonos: 316 288 8835

Atentamente,

LUIS GIOVANNY BERRIO ZABALA  
Jefe Departamento de Eléctrica y Afines

*Adriana V.*

Anexo 5: costos de ítems ejecutados proyecto de grado.

| <b>DISEÑO E IMPLEMENTACION DE LA ACOMETIDA Y LAS SALIDAS ELECTRICAS INTERNAS PARA<br/>                     EL LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS EN EL BLOQUE 3A AULA 105,<br/>                     ETAPA 1 Y ETAPA 2.</b> |  |            |                        |                   |                     |
|--|--|------------|------------------------|-------------------|---------------------|
| <b>INSTITUCION UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO</b>   |  |            |                        |                   |                     |
| <b>ITEMS EJECUTADOS PROYECTO DE GRADO.</b>   |  |            |                        |                   |                     |
| <b>06/11/2014</b>  |  |            |                        |                   |                     |
| ITEM   | DESCRIPCION  | UNID<br>AD | CAN<br>T.<br>TOT<br>AL | VALOR<br>UNITARIO | VALOR<br>PARCIAL    |
| <b>1</b>   | <b>SUMINISTRO E INSTALACION DE:</b>  |            |                        |                   |                     |
|  |  |            |                        | \$ -              | \$ -                |
| 1,01   | Tablero eléctrico de distribución de 18 circuitos trifásico expuesto, para interruptor enchufable, trifásico, 5 hilos, con espacio para totalizador, con puerta y chapa. Marca Tercol. | Un         | <b>1</b>               | \$ 268.849        | \$ 268.849          |
| 1,02   | Interruptor automático (breaker) tripolar enchufable 3x15 A, lcc>10 kA, 220 V. marca siemens.  | Un         | <b>5</b>               | \$ 81.989         | \$ 409.945          |
| 1,03   | Interruptor automático (breaker) tripolar atornillable tipo industrial 3x30 A, lcc>25 kA, 220 V. Marca Schneider electric.   | un         | <b>1</b>               | \$ 108.591        | \$ 108.591          |
| 1,04   | tubería EMT 3/4", incluye elementos de fijacion y accesorios EMT   | ml         | <b>6</b>               | \$ 11.116         | \$ 66.696           |
| 1,05   | tubería EMT 1", incluye elementos de fijacion y accesorios EMT   | ml         | <b>7</b>               | \$ 18.086         | \$ 126.602          |
| 1,06   | cable No. 14 A/WG THHN-THw/N 7 hilos para circuitos ramales trifasicos. Marca centelsa   | ml         | <b>241</b>             | \$ 1.314          | \$ 316.674          |
| 1,07   | conduleta LB 1"  | un         | <b>3</b>               | \$ 13.515         | \$ 40.545           |
| 1,08   | conduleta LB 3/4"  | un         | <b>1</b>               | \$ 11.082         | \$ 11.082           |
| 1,09   | caja 12x12x5 para salidas electricas trifasica   | un         | <b>5</b>               | \$ 13.186         | \$ 65.930           |
| 1,10   | Cable encauchetado 5x14 A/WG para salidas electricas trifasicas incluye prensaestopa, conectores y marcacion. Marca procables  | ml         | <b>12</b>              | \$ 9.424          | \$ 113.088          |
| 1,11   |  |            |                        | \$ -              | \$ -                |
|  |  |            |                        | \$ -              | \$ -                |
|  | <b>SUBTOTAL</b>  |            |                        |                   | <b>\$ 1.528.002</b> |
|  | <b>IVA</b>   | <b>0%</b>  |                        |                   | <b>\$ -</b>         |
|  | <b>TOTAL</b>   |            |                        |                   | <b>\$ 1.528.002</b> |