



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA:**

Ingeniería en Eléctrico-Mecánica con Mención en Gestión Empresarial  
Industrial

**TÍTULO:**

“Análisis técnico para el diseño de una subestación en media tensión de  
1000 kva para la empresa Pinturas Unidas S.A.”

**AUTORA:**

Nieto Espinoza Andrea Maritza

**TUTOR:**

Ing. Lucero Figueroa Hugo Rubén, M. Sc.

**Guayaquil, Ecuador**

**2015**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA:**

Ingeniería en Eléctrico-Mecánica con Mención en Gestión Empresarial  
Industrial

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por Andrea Maritza Nieto Espinoza, como requerimiento parcial para la obtención del Título de Ingeniera Eléctrico-Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial.

**TUTOR**

---

Ing. Lucero Figueroa Hugo Rubén, M. Sc.

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

---

Ing. Heras Sánchez Miguel Armando, M. Sc.

**Guayaquil, Septiembre del año 2015**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA:**

Ingeniería en Eléctrico-Mecánica con Mención en Gestión Empresarial  
Industrial

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Andrea Maritza Nieto Espinoza**

**DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación “Análisis técnico para el diseño de una subestación en media tensión de 1000 kva para la empresa Pinturas Unidas S.A.” previa a la obtención del Título de Ingeniera Eléctrico-Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

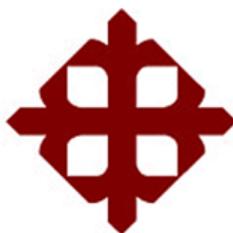
En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, Septiembre del año 2015**

**LA AUTORA**

---

Andrea Maritza Nieto Espinoza



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA:**

Ingeniería en Eléctrico-Mecánica con Mención en Gestión Empresarial  
Industrial

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Andrea Maritza Nieto Espinoza**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “Análisis técnico para el diseño de una subestación en media tensión de 1000 kva para la empresa Pinturas Unidas S.A.”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, Septiembre del año 2015**

**LA AUTORA**

---

Andrea Maritza Nieto Espinoza



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA:**

Ingeniería en Eléctrico-Mecánica con Mención en Gestión Empresarial  
Industrial

CALIFICACIÓN

---

## **AGRADECIMIENTO**

Primero y antes que nada, doy gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por haberme dado salud y la fortaleza necesaria para seguir adelante en mis estudios.

A mis padres, por el apoyo incondicional que me han brindado, sin duda son los principales percusores de este logro. A mis hermanos, por brindarme su amistad y entendimiento incondicional en todos los momentos de mi vida.

A mi tutor, por haberme guiado y poder hoy concluir con este proyecto.

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de tesis va dedicado primero a Dios, por llenarme de sabiduría y haberme guiado en toda mi trayectoria estudiantil.

A mi familia que me han apoyado cumplir esta meta. A mis padres por haberme financiado los estudios y haber sido participe de este trabajo que con esfuerzo y dedicación hoy en día se ha convertido en un sueño hecho realidad.

## RESUMEN

La Empresa Pinturas Unidas S.A. está dominando una gran parte del mercado de pinturas en el Ecuador, por lo tanto se analizó que para poder competir con las demás marcas, la empresa debe considerar el desarrollo de nuevas tecnologías para mejorar su producción, debido a esto Pinturas Unidas realizó la implantación de una línea de producción a 460 V, por lo que la empresa necesitará una subestación en media tensión para cubrir la demanda de esta nueva línea.

Teniendo en cuenta esto se propuso el diseño de una subestación en media tensión, para lo cual se necesita conocer las ecuaciones necesarias para la selección de los equipos que conforman una subestación, además toda instalación debe cumplir con los parámetros establecidos por las normas eléctricas. Para complementar este diseño se necesitó la investigación de campo y la recolección de información brindada por parte de la directiva de dicha empresa.

## **ABSTRACT**

United Paints Company S.A. is dominating much of the paint market in Ecuador therefore analyzed that in order to compete with other brands, the company should consider developing new technologies to improve production, because this Paintings United consider perform implantation of a production line to 460 V, so the company need a medium voltage substation to meet the demand of this new line.

Given that the design of a proposed substation medium voltage, for which one needs to know the equations necessary for the selection of equipment that make up a substation, plus installation must comply with all parameters set by electrical standards. To complement this design field research and collecting information provided by the directors of the company is needed.

# ÍNDICE

## CONTENIDO

### CAPÍTULO 1

|   |   |
|---|---|
| INTRODUCCIÓN.....                         | 1 |
| 1.1 Planteamiento del problema .....      | 2 |
| 1.2 Justificación .....                   | 2 |
| 1.3 Objetivos.....                        | 3 |
| 1.3.1 Objetivo General: .....             | 3 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos:.....         | 3 |
| 1.4 Tipo de Investigación .....           | 3 |
| 1.5 Hipótesis .....                       | 4 |
| 1.6 Metodología de la Investigación ..... | 4 |

### CAPÍTULO 2

#### FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

|  |   |
|--|---|
| 2.1 Sistemas de distribución de energía eléctrica..... | 5 |
| 2.2 Subestación Eléctrica .....                        | 5 |
| 2.3 Subestación Eléctrica en Alta tensión.....         | 5 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 2.4   | Subestación Eléctrica en Media tensión .....                                | 6  |
| 2.5   | Elementos que conforman una Subestación Eléctrica en<br>Media Tensión ..... | 6  |
| 2.5.1 | Transformador .....   | 6  |
| 2.5.2 | Celdas de Media Tensión Aisladas en SF6 .....                               | 15 |
| 2.5.3 | Seccionador - Fusible .....   | 18 |
| 2.5.4 | Interruptor termomagnético caja moldeada .....                              | 18 |
| 2.5.5 | Tableros de Distribución .....  | 19 |
| 2.5.6 | Conductor Eléctrico .....   | 19 |
| 2.5.7 | Sistema de Puesta a Tierra .....  | 20 |

### **CAPÍTULO 3**

#### **NATSIM (NORMAS DE ACOMETIDAS CUARTOS DE TRANSFORMADORES Y SISTEMAS DE MEDICIÓN PARA EL SUMINISTRO ELÉCTRICO)**

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 3.1 | Acometida En Media Tensión .....                      | 30 |
| 3.2 | Medición en Media Tensión .....                       | 30 |
| 3.3 | Ubicación del Equipo de Media Tensión en Postes ..... | 31 |
| 3.4 | Medidor Controlador en Media Tensión .....            | 31 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 3.5    | Canalización Para Acometidas De Media Tensión .....     | 31 |
| 3.6    | Barras de Distribución.....                             | 32 |
| 3.7    | Cuarto Para Transformadores .....                       | 32 |
| 3.7.1  | Requerimientos.....                                     | 32 |
| 3.7.2  | Características Constructivas .....                     | 33 |
| 3.8    | Ductos para la entrada a Cuartos de Trasformadores..... | 34 |
| 3.9    | Transformadores .....                                   | 34 |
| 3.10   | Protección de transformadores en media tensión.....     | 35 |
| 3.10.1 | Caja Fusibles .....                                     | 35 |
| 3.10.2 | Celda de Media Tensión.....                             | 35 |

## **CAPÍTULO 4**

### ESTUDIO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS ACTUALES

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 4.1 | Descripción de la red principal.....             | 36 |
| 4.2 | Descripción del cuarto de transformadores .....  | 38 |
| 4.3 | Descripción del Generador de Emergencia .....    | 40 |
| 4.4 | Diagrama Unifilar Actual .....                   | 41 |
| 4.5 | Protecciones Actuales .....                      | 42 |
| 4.6 | Descripción de la Acometida en Baja Tensión..... | 43 |

|     |                           |    |
|-----|---------------------------|----|
| 4.7 | Banco de Capacitores..... | 45 |
|-----|---------------------------|----|

## **CAPÍTULO 5**

### **DISEÑO DE LA SUBESTACIÓN EN MEDIA TENSIÓN**

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 5.1   | Cálculos para la selección de los equipos .....                                      | 47 |
| 5.2   | Cálculo para determinar la capacidad del transformador.....                          | 47 |
| 5.2.1 | Carga Instalada .....  | 47 |
| 5.2.2 | Demanda Eléctrica .....  | 48 |
| 5.2.3 | Demanda Máxima Unitaria .....  | 48 |
| 5.2.4 | Factor de Simultaneidad.....   | 48 |
| 5.2.5 | Factor de Demanda .....  | 48 |
| 5.2.6 | Factor de Diversidad.....  | 49 |
| 5.2.7 | Factor de Coincidencia .....   | 49 |
| 5.2.8 | Factor de reserva.....   | 49 |
| 5.3   | Cálculo para encontrar el Calibre del Conductor .....                                | 49 |
| 5.4   | Conductores para motores .....   | 51 |
| 5.5   | Dimensionamiento de las Protecciones Eléctricas .....                                | 51 |
| 5.5.1 | Protección contra sobrecorriente para transformadores de más de 600 V nominales..... | 51 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 5.5.2 | Protección contra sobrecorriente para transformadores de 600 V nominales o menos..... | 52 |
| 5.5.3 | Protección contra sobrecarga de motores .....   | 52 |
| 5.6   | Dimensionamiento de las Barras Colectoras .....                                       | 53 |
| 5.7   | Diseño del Sistema Puesta a Tierra .....  | 53 |
| 5.7.1 | Cálculo del área del terreno.....   | 53 |
| 5.7.2 | Cálculo de la corriente simétrica de Falla .....                                      | 54 |
| 5.7.3 | Cálculo del calibre del conductor de puesta a tierra .....                            | 55 |
| 5.7.4 | Límites de tensiones.....   | 56 |
| 5.7.5 | Cálculo de la resistencia puesta a Tierra.....  | 58 |
| 5.7.6 | Número de Varillas .....  | 58 |
| 5.7.7 | Longitud Total del Conductor.....   | 58 |
| 5.8   | Selección de los Equipos.....   | 59 |
| 5.8.1 | Selección del Transformador.....  | 59 |
| 5.8.2 | Selección de Celdas .....   | 61 |
| 5.8.3 | Selección de la protección secundaria del transformador<br>1000 KVA.....              | 62 |
| 5.8.4 | Selección del conductor para el transformador 1000 kVA .....                          | 62 |
| 5.8.5 | Selección del tablero principal .....   | 63 |

|   |    |
|---|----|
| 5.8.6 Selección de las barras .....   | 64 |
| 5.8.7 Selección de las protecciones y conductores de las nuevas<br>cargas.....          | 64 |
| 5.8.8 Selección del Sistema de Puesta a Tierra .....                                    | 66 |
| 5.9 Rediseño del cuarto de transformadores, cuarto de tableros de<br>distribución ..... | 67 |
| 5.9.1 Rediseño del cuarto de transformadores.....                                       | 67 |
| 5.9.2 Rediseño del cuarto de tableros de distribución .....                             | 67 |

## **CAPÍTULO 6**

### ELABORACIÓN DEL PROYECTO PARA EL INCREMENTO DE CARGA PINTURAS UNIDAS

|  |    |
|--|----|
| 6.1 Ubicación.....                             | 68 |
| 6.2 Descripción del proyecto eléctrico .....   | 68 |
| 6.3 Detalles del proyecto Eléctrico.....       | 68 |
| 6.3.1 Sub-Estación del Transformador .....     | 68 |
| 6.3.2 Alimentación principal.....              | 70 |
| 6.3.3 Tableros de distribución.....            | 70 |
| 6.3.4 Determinación de la demanda máxima ..... | 70 |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| <b>CAPÍTULO 7</b> .....         | 73 |
| 7.1 Conclusiones .....          | 73 |
| 7.2 Recomendaciones .....       | 74 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 75 |
| ANEXOS.....                     | 78 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Fig. 1 Banco Trifásico – Unión de tres transformadores monofásicos. .</b>                             | <b>8</b>  |
| <b>Fig.2. Transformador Trifásico .....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>Fig. 3 Transformador trifásico conexión Y – Y.....</b>  | <b>10</b> |
| <b>Fig. 4 Transformador trifásico conexión <math>\Delta</math> – Y.....</b>                              | <b>11</b> |
| <b>Fig. 5 Transformador trifásico conexión Y- <math>\Delta</math> .....</b>                              | <b>12</b> |
| <b>Fig. 6 Transformador trifásico conexión <math>\Delta</math>- <math>\Delta</math> .....</b>            | <b>13</b> |
| <b>Fig. 7 Dimensiones de transformadores trifásicos de distribución .....</b>                            | <b>15</b> |
| <b>Fig. 8 Conexión de puesta a tierra de las 3 celdas .....</b>  | <b>16</b> |
| <b>Fig. 9 Celda QM Schneider.....</b>  | <b>17</b> |
| <b>Fig. 10 Celda Remonte GAM-2.....</b>  | <b>17</b> |
| <b>Fig. 11 Partes del Seccionador – Fusible .....</b>  | <b>18</b> |
| <b>Fig. 12 Interruptor termomagnético caja moldeada.....</b>   | <b>19</b> |
| <b>Fig. 13 Trayectoria de la corriente a través del cuerpo. ....</b>                                     | <b>21</b> |
| <b>Fig. 14 Método de Wenner.....</b>   | <b>24</b> |
| <b>Fig. 15 Descripción de instalación usando un electrodo de tierra tipo<br/>Varilla Copperweld.....</b> | <b>26</b> |
| <b>Fig. 16 Electrodo Tipo Placa .....</b>  | <b>26</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Fig. 17 Electrodo Tipo Horizontal .....</b>      | <b>26</b>  |
| <b>Fig. 18 Anillo de Tierra .....</b>               | <b>27</b>  |
| <b>Fig. 19 Electrodo Tipo Malla.....</b>            | <b>28</b>  |
| <b>Fig. 20 Pata de Ganso.....</b>                   | <b>28</b>  |
| <b>Fig. 21 Sistema Triángulo.....</b>               | <b>29</b>  |
| <b>Fig. 22 Poste CNEL-EP .....</b>                  | <b>37</b>  |
| <b>Fig. 23 Poste #1 Empres Pinturas Unidas.....</b> | <b>37</b>  |
| <b>Fig.24 Banco de transformadores 501 KVA.....</b> | <b>38</b>  |
| <b>Fig. 25 Transformador 300KVA.....</b>            | <b>39</b>  |
| <b>Fig.26 Generador de Emergencia Kholer .....</b>  | <b>41</b>  |
| <b>Fig. 27 Tablero de Distribución TDG .....</b>    | <b>43</b>  |
| <b>Fig. 28 Tablero de Distribución T.T.2 .....</b>  | <b>455</b> |
| <b>Fig. 29 Banco de Capacitores .....</b>           | <b>46</b>  |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |            |
|--|------------|
| <b>Tabla 1. Dimensiones de transformadores trifásicos de distribución ...</b>                    | <b>14</b>  |
| <b>Tabla 2. Resistividad de diversos suelos .....</b>  | <b>23</b>  |
| <b>Tabla 3. Diámetro interior para las tuberías de Acometidas de M/T.....</b>                    | <b>31</b>  |
| <b>Tabla 4. Ampacidad Barras de Cobre .....</b>  | <b>32</b>  |
| <b>Tabla 5. Área mínima, rectangular y libre de los transformadores .....</b>                    | <b>34</b>  |
| <b>Tabla 6. Características de los Transformadores de 167KVA.....</b>                            | <b>39</b>  |
| <b>Tabla 7. Características del Transformador de 300 KVA.....</b>                                | <b>40</b>  |
| <b>Tabla 8. Características del Generador.....</b>   | <b>41</b>  |
| <b>Tabla 9. Características de la Caja Portafusibles.....</b>                                    | <b>42</b>  |
| <b>Tabla 10 Característica celda QM .....</b>  | <b>42</b>  |
| <b>Tabla 11. Planilla de Circuitos-Banco de transformadores 500KVA ...</b>                       | <b>434</b> |
| <b>Tabla 12. Planilla de Circuitos-Transformador de 300 KVA .....</b>                            | <b>455</b> |
| <b>Tabla 13. Coeficiente de Simultaneidad.....</b>   | <b>48</b>  |
| <b>Tabla 14. Ajustes de disparo del dispositivo de protección contra<br/>sobrecorriente.....</b> | <b>52</b>  |
| <b>Tabla 15. Valores de resistencia de puesta a tierra .....</b>                                 | <b>58</b>  |
| <b>Tabla 16. Cuadro de Cargas - Equipos a 460 V. ....</b>  | <b>60</b>  |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tabla 17. Características del Transformador de 1000 KVA .....</b>   | <b>61</b> |
| <b>Tabla 18. Aplicación y voltaje de los conductores .....</b>         | <b>63</b> |
| <b>Tabla 19. Planilla de Circuitos-Transformador de 1000 KVA .....</b> | <b>65</b> |
| <b>Tabla 20. Cuadro de Cargas - Equipos a 460 V. ....</b>              | <b>71</b> |

## ABREVIATURAS

a: Relación de transformación del transformador

ANSI: American National Standards Institute

AWG: American Wire Gauge, calibre de alambre estadounidense

Cu: Cobre

IEC: International Electrotechnical Commission

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

I: Corriente Eléctrica

M/T: Media Tensión

MCM: Miles de Circular Mils

NEC: National Electric Code

NTC: Norma Técnica Colombiana.

NTE: Norma Técnica Ecuatoriana.

S/E: Subestación Eléctrica

VLP: Voltaje de línea del primario del transformador

## SÍMBOLOS

$\Omega$ : Ohmios

$\Phi$ : Diámetro

("): Pulgadas

V: Voltios.

KVAR: Kilo-voltamperios reactivos

KW Kilovatios

m: metros

cm: Centímetros

$^{\circ}\text{C}$ : Grados Centígrados

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUCCIÓN**

Pinturas unidas S.A., es una empresa dedicada a la producción de pinturas en el Ecuador, posee 3 plantas: resina, pintura, masilla. Actualmente la empresa posee un gran volumen de producción, por lo que se ha visto en la necesidad de implantar una nueva línea de producción, la cual tendrá maquinas nuevas con motores de gran capacidad a un nivel de voltaje de 460V. Para abastecer de energía a esta nueva línea la empresa necesitará de una subestación de 13,8 KV a 460 V, con la aplicación de esta estrategia la empresa logrará mejorar su calidad de producción en los procesos industriales.

El presente trabajo plantea el análisis para el diseño de una nueva subestación de 1000 KVA para Pinturas Unidas la cual cubrirá con la demanda de las nuevas cargas. El proyecto de investigación consta de 5 capítulos, los cuales exponen los conceptos básicos, Trata sobre la Normas de acometidas cuartos de transformadores y sistemas de medición para el suministro eléctrico, Se describe detalladamente las estaciones eléctricas actuales de la planta, también hace referencia a las características de los elementos y a la demanda actual de la empresa. Además da a conocer los criterios básicos para el diseño de una subestación eléctrica en media tensión y la aplicación de estos criterios para la selección de los equipos, así como las especificaciones técnica para el diseño de la subestación.

## **1.1 Planteamiento del problema**

Actualmente la empresa pintura unidas requiere de la implementación de una nueva línea de producción debido a la exigencia que demanda la elaboración de nuevos productos para ampliar su mercado, se hace necesario disponer de mayor energía, la nueva línea de producción será a 460 V por motivo de que se implementarán motores de gran capacidad a tensión reducida, esto ayudara a que pintura unidas no tenga problemas de penalización por un mal factor de potencia, por lo tanto para cumplir este requerimiento se realizará el diseño de una subestación en media tensión de 13.8 Kv a 460 V, la cual suministre energía de forma segura, confiable y flexible.

## **1.2 Justificación**

La empresa pinturas unidas ubicada en la ciudad de Guayaquil en el km 16.5 de la vía a Daule, cuya actividad comercial es fabricar pinturas de alta calidad en las líneas, Industriales, Automotriz, Arquitectónica y Madera, la cual tiene la necesidad de implementar una nueva línea de producción, debido a que ha expandido su mercado de pinturas tanto nacional como internacional, para la implementación de la nueva línea de producción es necesario realizar un análisis de las cargas futuras y existentes, esto nos servirá para el dimensionamiento de los centros de transformación necesarios, de manera que se pueda satisfacer la nueva demanda requerida por la empresa.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General:**

Realizar un análisis técnico para el diseño de un Subestación de 1000 KVA en la Empresa Pinturas Unidas que permita cubrir la nueva demanda requerida por las cargas futuras.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos:**

- Analizar el sistema actual de la subestación con que cuenta la planta.
- Desarrollar el estudio para determinar la demanda requerida por la Empresa.
- Investigar y determinar cuáles son los equipos y dispositivos necesarios para el diseño de una nueva subestación.
- Dimensionar los equipos que conformarán la subestación en media tensión.
- Coordinar el uso de las nuevas protecciones de la subestación con las existentes.
- Analizar las Normas Técnicas para la instalación de una subestación en una industria.
- Realizar los planos correspondientes a la nueva subestación.

#### **1.4 Tipo de Investigación**

Esta investigación es de carácter descriptiva, ya que se hace uso de la descripción actual del sistema eléctrico de la planta, además es explicativa

por qué parte de una investigación de conceptos generales para entender su función.

### **1.5 Hipótesis**

Al realizar el estudio de la demanda eléctrica de las nuevas cargas se conseguirá seleccionar la capacidad del transformador y demás elementos que suministra energía a la nueva línea de producción de la planta Pinturas Unidas.

### **1.6 Metodología de la Investigación**

La metodología de este proyecto se basa en una investigación de campo con un enfoque cuantitativa ya que trata de recopilar todo los datos posibles para lograr cumplir con el diseño. Mediante esta metodología se encontró las características de los elementos instalados en Pinturas Unidas, además se usará una metodología científica con el fin de recopilar información teoría que nos ayudará a la selección de normas técnicas y ecuaciones vinculadas en el diseño de una subestación en M/T.

## **CAPÍTULO 2**

### **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **2.1 Sistemas de distribución de energía eléctrica**

Un sistema de distribución está compuesto por equipos y dispositivos, los cuales brindan energía a los usuarios en distintos niveles de tensión, dependiendo de la carga que se consume. CONELEC clasifica a los consumidores como: consumidores comerciales y consumidores industriales.

Los consumidores industriales se caracterizan por tener energía en alta tensión para el uso de cualquier proceso industrial, por lo general cubren su demanda eléctrica por medio de subestaciones eléctricas, sin embargo los consumidores comerciales hacen uso de la energía para actividades personales o comerciales.

#### **2.2 Subestación Eléctrica**

Una subestación eléctrica es una instalación de un sistema eléctrico de potencia que permite modificar los niveles de tensión para el transporte, distribución o consumo, la cual está dotada de un conjunto de equipos que proporcionan seguridad y continuidad del servicio. Existen diferentes tipos de subestación dependiendo del nivel de tensión pueden ser de alta y media tensión. (ALTAMIRANO PEREZ, 2011)

#### **2.3 Subestación Eléctrica en Alta tensión**

Es aquella que reduce voltaje de 69 KV a 13.8 KV, por lo general se instalan en Industrias, Urbanizaciones; Estas ocupan grandes espacios por lo que son instaladas a la intemperie.

## **2.4 Subestación Eléctrica en Media tensión**

Este tipo de subestación se construye para uso comercial, hospitales, centro comerciales, Industrias donde su demanda no supere los 1MVA, estas reducen voltajes de 13.8 KV a 460 V, su instalación es menos costosa ya que no necesita muchos elementos.

## **2.5 Elementos que conforman una Subestación Eléctrica en Media Tensión**

### **2.5.1 Transformador**

Es una máquina estática que convierte los niveles de tensión y amperaje mediante el principio de inducción magnética. Está compuesto por dos o más bobinas aisladas eléctricamente las cuales están enrolladas sobre un núcleo ferromagnético común. Las bobinas o devanados se las denomina primario y secundario, en el cual el devanado de alta tensión es conectado a una fuente de energía eléctrica y el devanado de baja tensión es el encargado de suministrar energía a la cargas. (Chapman, 2005)

### **2.5.2.1 Cambiador de TAPS**

El cambiador de derivaciones es un dispositivo que se encuentra en los devanados de los transformadores tiene como función cambiar la relación de vueltas del transformador, normalmente tiene cuatro tomas, permiten ajustes de hasta 5% por arriba o por debajo de la tensión nominal del transformador. (Chapman, 2005)

### **2.5.2.2 Tipos de refrigeración**

De acuerdo a la norma ASA C57-1948, existen diversos tipos de refrigeración:

Para Transformadores de tipo Seco son los siguientes:

- AA - transformadores tipo seco con enfriamiento propio.
- AFA – transformadores tipo seco con enfriamiento forzado.
- AA/AFA – transformadores tipo seco con enfriamiento natural y refrigeramiento con aire forzado.

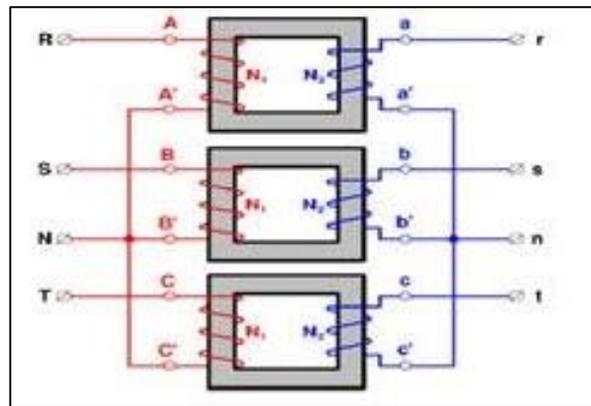
Para transformadores sumergidos en líquidos y refrigeración con aire tenemos los siguientes:

- OA – Transformadores sumergidos en aceite con enfriamiento natural.
- OA/FA - Transformadores sumergidos en líquido aislante con enfriamiento propio y con enfriamiento por aire forzado.
- OA/FOA/FOA - Transformador sumergido en líquido aislante con enfriamiento propio/con aceite forzado – aire forzado/con aceite forzado/con aire forzado.

### **2.5.2.3 Transformadores Trifásicos**

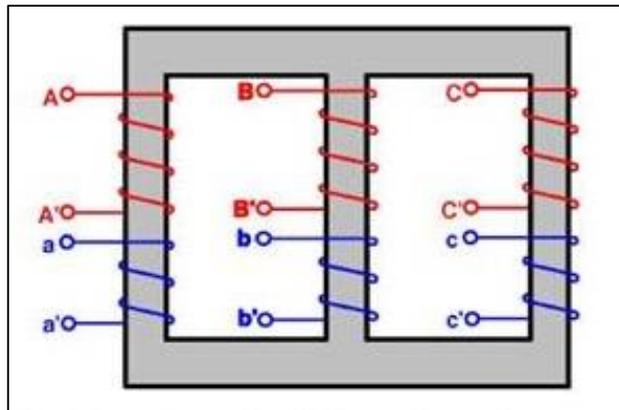
Los transformadores trifásicos son aquellos que en su lado primario y secundario constan de tres bobinas enrolladas en un mismo núcleo o la vez puede estar constituido de tres transformadores monofásicos. Actualmente las empresas que fabrican transformadores y los consumidores prefieren un transformador trifásico que es más económico y eficiente que usar un banco de transformadores.

**Fig. 1 Banco Trifásico – Unión de tres transformadores monofásicos.**



Fuente: (Canaza Caldas , 2012)

**Fig.2. Transformador Trifásico**



Fuente: (Canaza Caldas , 2012)

#### 2.5.2.4 Conexiones de transformadores trifásicos

Para conectar un transformador trifásico o tres transformadores monofásicos se utilizan las conexiones en Y (ye) o en  $\Delta$  (delta) las cuales se agrupan y nos dan cuatro tipos de conexiones:

- Y – Y
- Delta - Y
- Y - Delta
- Delta – Delta

## Conexión Y – Y

Para esta conexión, la corriente de línea va ser la misma que circula por cada devanado del transformador y el voltaje de línea es igual al voltaje de fase multiplicado por  $\sqrt{3}$ .

$$V_{Lp} = \sqrt{3}V_{Fp}$$

$$V_{Ls} = \sqrt{3}V_{Fs}$$

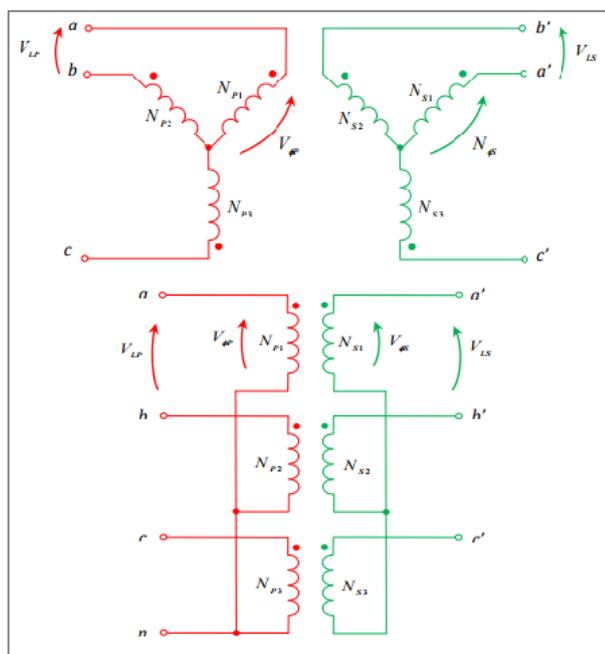
El número de vueltas del transformador está relacionado con el voltaje de línea del primario y del secundario.

$$\frac{V_{lp}}{V_{ls}} = a$$

Este tipo de conexión se utiliza cuando dispone de potencias pequeñas. Un transformador Y – Y goza de un neutro en ambos devanados los cuales pueden ser desconectados y como medida de seguridad conectarlos sólidamente a tierra cuando se presenten averías tales como el desequilibrio de las cargas o la elevación de los voltajes de terceras armónicas.

Inevitablemente la tercera armónica produce sobretensiones de hasta el 50% en cada una de las tres fases causando daño en los devanados.

Existe otra forma de resolver el problema de tercera armónica consiste en colocar un tercer devanado. Este terciario será conector en delta, produciendo un voltaje de la tercera armónica estos se sumaran y proporcionaran un flujo de corriente que suprime los voltajes de la tercera armónica.

**Fig. 3 Transformador trifásico conexión Y – Y**

Fuente: (Rodríguez, 2014)

**Conexión Delta – Y**

La conexión  $\Delta - Y$  en los transformadores trifásicos se utiliza para elevar el voltaje por lo que es más cotidiano observar este tipo de conexiones en las plantas de generación o transmisión. En esta conexión el voltaje de fase en el primario será igual al voltaje de línea del primario.

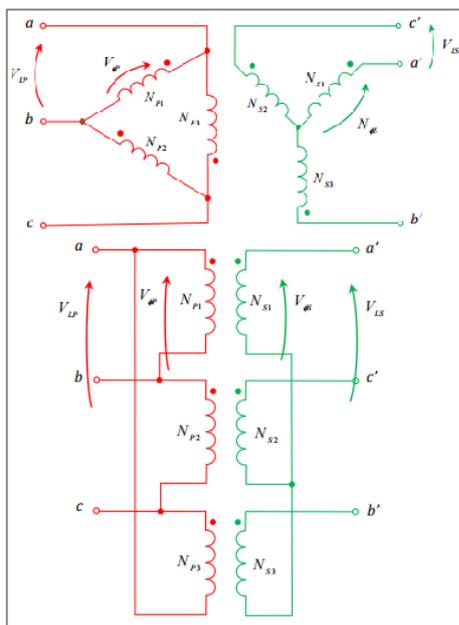
$$V_{Fp} = V_{Lp}$$

Mientras que el voltaje de línea del secundario es igual al voltaje de fase del secundario multiplicado por  $\sqrt{3}$ .

$$V_{Ls} = \sqrt{3}V_{Fs}$$

Al tener el secundario del transformador conectado en Y (Ye) nos favorece en la obtención de voltajes trifásicos y monofásicos, además en esta conexión los voltajes de la tercera armónica quedan eliminados.

**Fig. 4 Transformador trifásico conexión Δ – Y**



Fuente: (Rodríguez, 2014)

### Conexión Y – Δ

Este tipo de conexión generalmente se usa para disminuir un voltaje alto a uno medio o bajo. La corriente de fase es igual a la corriente de línea, además la corriente en el devanado secundario es alrededor del 58 % de la corriente de carga. En esta conexión el voltaje de línea en el secundario es igual al voltaje de fase secundario, mientras que el voltaje de línea en el primario es  $\sqrt{3}$  veces el voltaje de fase, estas ecuaciones representan la relación del voltaje primario y secundario.

$$V_{Lp} = \sqrt{3}V_{Fs}$$

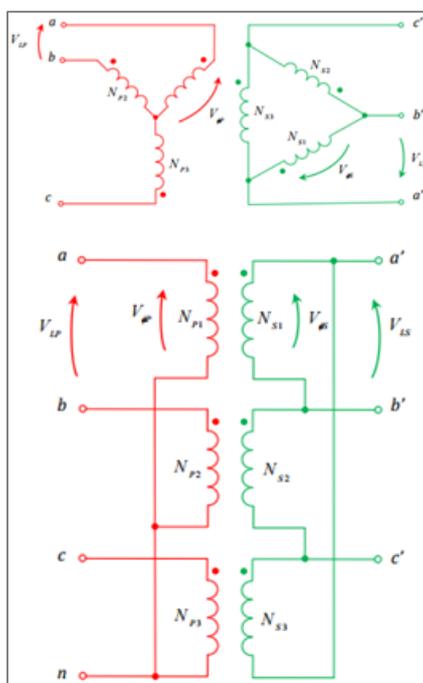
$$V_{Ls} = V_{Fs}$$

La relación de voltaje para cada fase:

$$\frac{V_{Fp}}{V_{Fs}} = a$$

La conexión Y-  $\Delta$  no presentan problemas con las cargas desbalanceadas, ni con los componentes de la tercera armónica, ya que cuando se conecta el secundario en  $\Delta$  se produce una corriente que actúa como corriente magnetizadora, por lo tanto esta corriente tiende a corregir la distorsión. (Rodríguez, 2014)

**Fig. 5 Transformador trifásico conexión Y-  $\Delta$**



Fuente: (Rodríguez, 2014)

### Conexión $\Delta - \Delta$

La relación entre los voltajes de línea y los voltajes de fase viene dado por:

$$V_{Lp} = V_{Fp}$$

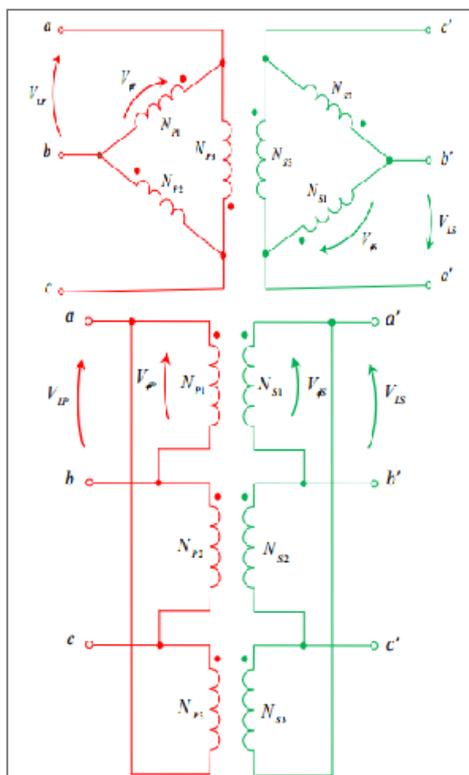
$$V_{Ls} = V_{Fs}$$

Por lo tanto la relación de transformación es la siguiente:

$$\frac{V_{Lp}}{V_{Ls}} = \frac{V_{Fp}}{V_{Fs}} = a$$

Este tipo de conexión se usa cuando se tiene un voltaje bajo, ya que el voltaje de línea es igual al voltaje de fase. Una ventaja de esta conexión es que no presenta problemas con los desplazamientos de fase, ni con las cargas desequilibradas, sin embargo la conexión  $\Delta - \Delta$  no posee una terminal neutra en cada lado. (Rodríguez, 2014)

**Fig. 6 Transformador trifásico conexión  $\Delta$ -  $\Delta$**



Fuente: (Rodríguez, 2014)

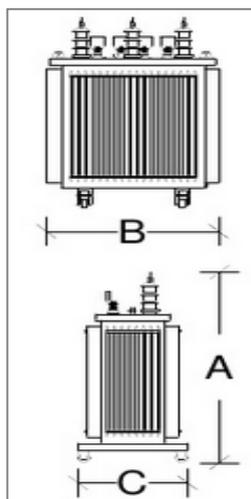
**Tabla 1. Dimensiones de transformadores trifásicos de distribución**

| Dimensiones de transformadores trifásicos de Distribución |               |              |     |     |
|---|---------------|--------------|-----|-----|
| Capacidad   | Marca Ejemplo | Dimensiones* |     |     |
| KVA   |               | A            | B   | C   |
| 50  | Marca 1       | 86           | 86  | 49  |
|   | Marca 2       | 122          | 87  | 71  |
|   | Marca 3       | 104          | 91  | 56  |
| 75  | Marca 1       | 88           | 95  | 56  |
|   | Marca 2       | 125          | 90  | 76  |
|   | Marca 3       | 112          | 99  | 68  |
| 100   | Marca 1       | 88           | 99  | 58  |
|   | Marca 2       | 125          | 93  | 91  |
| 112.5   | Marca 1       | 113          | 109 | 72  |
| 125   | Marca 1       | 132          | 93  | 97  |
| 150   | Marca 1       | 97           | 114 | 71  |
|   | Marca 2       | 116          | 113 | 92  |
| 160   | Marca 1       | 140          | 95  | 97  |
| 200   | Marca 1       | 107          | 118 | 72  |
|   | Marca 2       | 145          | 95  | 112 |
| 225   | Marca 1       | 120          | 126 | 92  |
| 250   | Marca 1       | 110          | 120 | 75  |
|   | Marca 2       | 148          | 101 | 98  |
| 300   | Marca 1       | 114          | 128 | 78  |
|   | Marca 2       | 152          | 103 | 106 |
|   | Marca 3       | 125          | 127 | 95  |
| 400   | Marca 1       | 127          | 141 | 99  |
| 500   | Marca 1       | 131          | 151 | 95  |
|   | Marca 2       | 165          | 117 | 115 |
|   | Marca 3       | 133          | 141 | 102 |
| 630   | Marca 1       | 146          | 162 | 133 |
| 750   | Marca 1       | 136          | 163 | 114 |
|   | Marca 2       | 172          | 126 | 135 |
| 800   | Marca 1       | 150          | 183 | 140 |
| 1000  | Marca 1       | 150          | 167 | 116 |
|   | Marca 2       | 186          | 133 | 130 |
|   | Marca 3       | 157          | 188 | 141 |
|   |               |              |     |     |

\* Dimensiones en Centímetros. Incluye Radiadores

Fuente: (NATSIM, 2012)

**Fig. 7 Dimensiones de transformadores trifásicos de distribución**



Fuente: (NATSIM, 2012)

### **2.5.2 Celdas de Media Tensión Aisladas en SF6**

Las celdas o cabinas aisladas en sf6 son usadas para la conexión y desconexión de sistemas de distribución a media tensión que alimentan a industrias. Están diseñadas para instalaciones con espacio reducido o alojamiento interior. El interruptor – seccionador y todas las partes vivas que conforman la celda están aisladas en SF6.

Las celdas son seguras y brindan mucha confiabilidad ya que el hexafluoruro de azufre tiene mayor rigidez que el aire a la misma presión por lo que lo hace un excelente medio para extinguir el arco eléctrico. Este tipo de celdas contiene interruptor - seccionadores de tres posiciones: cerrado, abierto o conectado a tierra, dispositivos para bloqueo, manómetros para el control de la presión del gas, bornes para la conexión de cables.

**Fig. 8 Conexión de puesta a tierra de las 3 celdas**

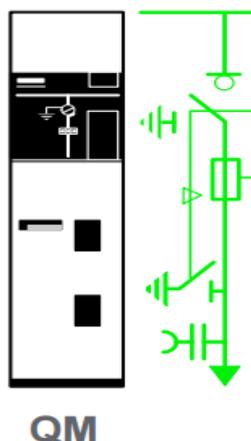
Fuente: (ORMAZABAL, 2015)

Para este diseño la subestación contará con celdas modulares, se escogió celda en SF6, a continuación se describe las características y los accesorios con los que cuentan las celdas QM y GAM-2.

#### **2.5.2.5 Características de las celdas QM**

- Seccionador de operación bajo carga en SF6
- Seccionador de puesta a tierra inferior
- Juegos de barras tripolares para conexión superior
- Mando seccionador manual CI1
- Indicador de presencia de tensión
- Varillaje para disparo tripolar por función fusible
- Base portafusibles para tres fusibles norma DIN
- Resistencia calefactora de 50 W

**Fig. 9 Celda QM Schneider**

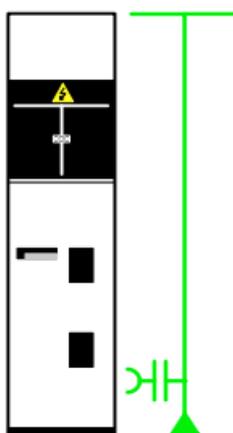


Fuente: (SCHNEIDER ELECTRIC, 2009)

### 2.5.2.6 Características de las celdas GAM-2

- Unidad de acometida de cables con barras horizontales
- Altura: 375-700 mm
- Juego aisladores soportes (horizontal)
- Juego de barras tripolares para conexión superior con celda
- Bordes para conexión inferior de cable seco unipolar

**Fig. 10 Celda Remonte GAM-2**



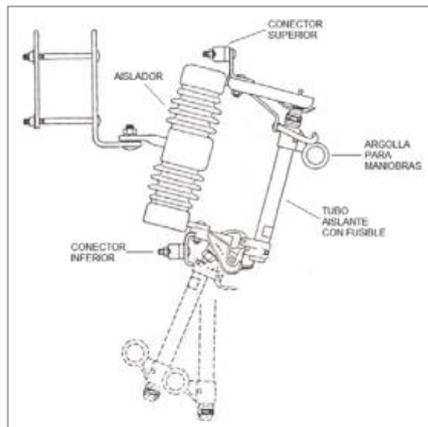
Fuente: (SCHNEIDER ELECTRIC, 2009)

### 2.5.3 Seccionador - Fusible

El seccionador – fusible es un equipo de maniobra y de protección que permite conexión y desconexión de circuitos eléctricos. El dispositivo de protección es el fusible que se encuentra dentro del cartucho de conexión y desconexión. El fusible se calibra de acuerdo al valor de la corriente de ruptura, la cual ya está determinada por el fabricante para cualquier corriente nominal que se desee emplear.

Los seccionadores – fusibles con diseñados para redes de media tensión de 13.8, 23, 34.5 KV. Estos ofrecen seguridad al interrumpir las fallas o sobrecargas mediante la fundición del fusible, para restablecer la conexión se debe reemplazar el elemento fusible.

**Fig. 11 Partes del Seccionador – Fusible**



Fuente: (AYALA PEREZ & GAVILANES AGUACONDO, 2008)

### 2.5.4 Interruptor termomagnético caja moldeada

Un interruptor termomagnético, es un dispositivo que tiene como función brindar protección a circuitos eléctricos, cuando se presentan cortocircuitos o sobrecarga. Poseen tres medios de desconexión: manual, térmico y magnético. Su funcionamiento se basa en el efecto Joule y

magnético, estos interruptores protegen toda instalación en baja tensión de hasta 600 V. Se debe tener en cuenta que el dimensionamiento del conductor no puede exceder de los valores recomendados por el fabricante. (LOPEZ FUENTE & VITERI MORALES, 2010)

**Fig. 12 Interruptor termomagnético caja moldeada**



Fuente: (SCHNEIDER ELECTRIC)

### **2.5.5 Tableros de Distribución**

El tablero de distribución es un equipo importante en una instalación eléctrica, debido a que está encargado de proporcionar protección, control y alimentación a los circuitos eléctricos en baja tensión.

### **2.5.6 Conductor Eléctrico**

El conductor eléctrico tiene como función conducir energía eléctrica de forma continua y segura a los elementos de la subestación. Para el transporte de energía eléctrica en baja tensión por lo general se usa conductores de cobre, los cuales tienen aislamiento de tipo THWN, THHN, THHW-LP, la selección del conductor de baja tensión depende de la corriente que vas a usar.

Para la instalación de alta y media tensión se utilizara cable recubierto de aluminio, por motivo de que el aluminio es un excelente conductor de calor y de electricidad.

### **2.5.7 Sistema de Puesta a Tierra**

Es la unión de varios conductores que tienen como objetivo brindar protección al personal y a los equipos ante la presencia de descargas atmosféricas o de sobretensiones producidas por la operación o maniobra de equipos de protección.

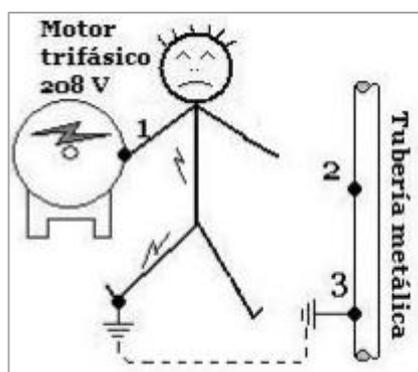
La malla de puesta a tierra se encarga de drenar inmediatamente a tierra las corrientes estáticas y de fuga para asegurar la operación óptima del equipo. (Días, 2001)

Los principales sistemas de tierra son:

- Tierra Física o sistema del electrodo de tierra, el cual consiste en conectar el sistema a un electrodo baja tierra.
- Tierra de protección contra rayos es un sistema que debe ser conectado al sistema de tierra del edificio para drenar la energía del rayo a tierra.
- Tierra del equipo o tierra de seguridad, este sistema consiste en conectar las partes metálicas de los equipos que pueden tener contacto con las personas con el fin de mantener una misma tierra de esta forma se facilita la manipulación de los equipos.
- Conductor conectado a tierra o conductor neutro, es aquel que trata el voltaje de un conductor con referencia al conductor neutro. (Días, 2001)

Existen muchos accidentes cuando se desconoce del peligro que representar un equipo mal aterrizado en una industria, por ejemplo cuando ocurre una falla de cortocircuito en el interior de un motor, el armazón metálico del motor se encuentra al mismo potencial a tierra que el conductor de fase, por lo que si una persona toca el armazón del motor y pisa otra superficie que esté conectada a tierra se produce una diferencia de potencial, donde la corriente seguirá una trayectoria como se puede observar en la figura. (Días, 2001)

**Fig. 13 Trayectoria de la corriente a través del cuerpo.**



Fuente: (Días, 2001)

Para el diseño de una malla de tierra es importante analizar el tipo de suelo, calcular la corriente de corto circuito, el área donde se va implementar y analizar las tensiones de paso y toque.

### **2.5.7.1 Factores que se deben analizar en el diseño de puesta a tierra**

La norma IEEE Std. 142-2007 es una recomendación para aterrizarse sistemas de potencial industrial y comercial, esta norma proporciona información sobre cómo aterrizar diversos dispositivos y equipos eléctricos, tales como: motores, interruptores, transformadores, seccionadores, entre

otros. Describe los sistemas de conexión a tierra entre los aparatos eléctricos y las varillas de tierra. La resistencia debe estar en un rango entre 1-5 ohmios los cuales son convenientes para plantas industriales. (Salinas Rojas & Cabrera Tituana, 2014)

### **2.5.7.2 Resistividad del terreno**

La resistividad del terreno es uno de los principales factores para el diseño de puesta a tierra. La resistividad del terreno no es nada más que la propiedad que tiene dicho terreno para conducir la corriente eléctrica. La ecuación para determinar la resistividad del terreno es directamente proporcional al área y a la resistencia del conductor e inversamente proporcional a su longitud. La unidad de medida es el ohmio-metro. (Guzmán Maridueña , 2015)

La ecuación de la resistividad en función de la resistencia es la siguiente:

$$\rho = \frac{A * R}{L}$$

El tipo de suelo es un factor muy importante para la determinación del valor de la resistividad de un terreno, en la tabla 3 se puede observar el valor de resistividad para varios tipos de suelo.

**Tabla 2. Resistividad de diversos suelos**

| Tipo de Suelo        | Resistividad ( $\Omega$ -m) |
|----------------------|-----------------------------|
| Suelo Húmedo         | 50                          |
| Suelo Arcilloso      | 100                         |
| Suelo Arenoso húmedo | 200                         |
| Suelo Rocoso         | 3000                        |
| Suelo Seco           | 1000                        |
| Suelo con cemento    | 1000                        |

Fuente: (Medina Martínez, Hernández Hernández , & Rabanal Alcántara, 2009)

### **2.5.7.3 Medición de la resistencia puesta a tierra y resistividad del terreno**

La medición de la resistencia del terreno debe de ser medida antes de realizar el diseño de puesta a tierra, ya que de este factor depende el buen funcionamiento de la protección. Existen diferentes métodos para calcular la resistividad del terreno, para el diseño de este proyecto se va hacer uso del método de Wenner.

#### **2.5.7.3.1 Método de Wenner**

La resistividad del terreno puede ser medida bajo el sistema del método de tres o cuatro electrodos, pero este método hace uso de los cuatro electrodos, porque es uno de los más confiables en la medición de terrenos con pacas profundas sin necesidad de enterrar estos electrodos a dichas profundidades. El procedimiento para la medición es el siguiente:

Incrustar en el terreno cuatro electrodos pequeños los que deben estar en línea recta separados a una distancia “a” entre ellos y a una profundidad “b”

que este comprendida entre “a” y  $3b/4$ , por último se debe realizar la circulación de una corriente de medición “I”, el cual recorre el terreno a través de dos electrodos externos y simultáneamente se mide la caída de tensión a través del uso de un voltímetro entre los dos electrodos interiores. (Guzmán Maridueña , 2015)

El valor de la resistencia se calcula a partir de esta ecuación

$$\rho = 2\pi aR$$

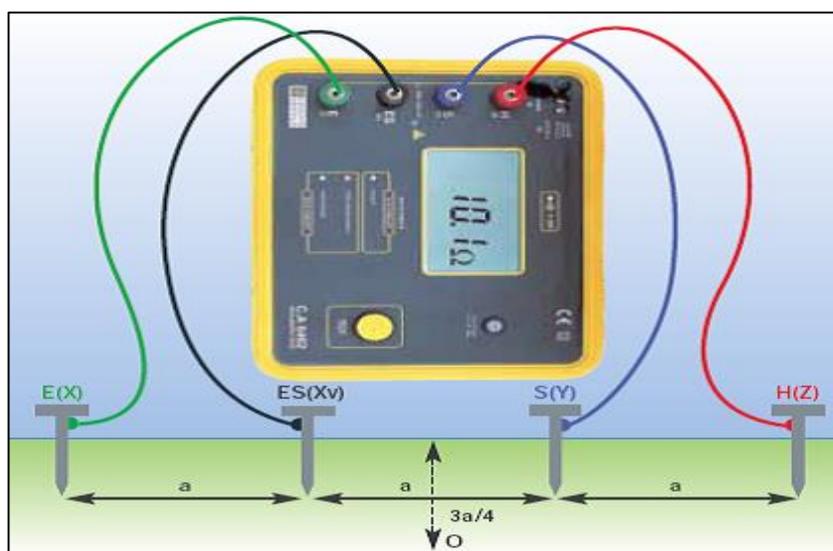
Dónde:

$\rho$ = Resistividad del Terreno ( $\Omega \cdot m$ )

a= Distancia entre electrodos (m)

R= Resistencia del Electrodo ( $\Omega$ )

**Fig. 14 Método de Wenner**



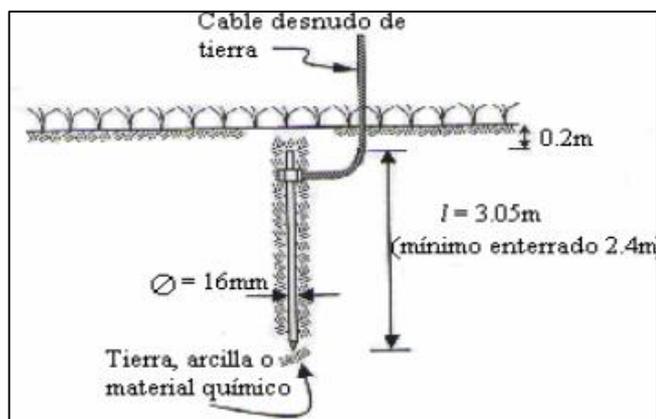
Fuente: (Mogollón Escobar, 2006)

## 2.5.7.4 Tipos de Electrodo

### 2.5.7.4.1 Varilla de Copperweld

La varilla de Copperweld es uno de los electrodos más usados debido a su bajo costo en mercado y su gran eficiencia en la protección contra sobretensiones. Las varillas están compuestas por acero y recubierto de una capa de cobre, al combinar estos elementos se puede obtener un electrodo con alta resistividad mecánica y con una gran capacidad de conducción, su longitud y diámetro varían de acuerdo a las normas utilizadas. El código NEC establece que si se utiliza varillas de tierra estas deben tener una longitud de 2.44 m (18 pies), un diámetro de  $13\text{mm}^2$  (1/2") o  $14.3\text{mm}^2$  (5/8"), se deben enterrar al menos tres picas de 1.5 m de longitud en forma vertical. (Medina Martínez, Hernández Hernández , & Rabanal Alcántara, 2009)

**Fig. 15 Descripción de instalación usando un electrodo de tierra tipo Varilla Copperweld**



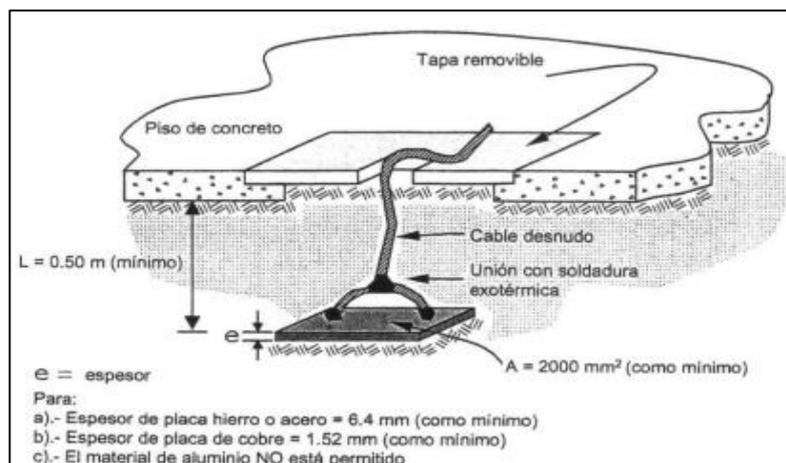
Fuente: (Mogollón Escobar, 2006)

### 2.5.7.4.2 Tipo Placa

El electrodo de placa, por lo general se usa en suelos con tendencia a una alta resistividad. Estas placas que pueden ser fabricadas de hierro o acero, deben tener una distancia inferior a  $0.2\text{m}^2$  de superficie en contacto

con el suelo y un espesor mínimo de 6.4 mm, en el caso que se elija placas de acero éstas deberán tener por lo menos 1.52 mm de espesor. (Tiuquina Pomatoca, 2010)

**Fig. 16 Electrodo Tipo Placa**

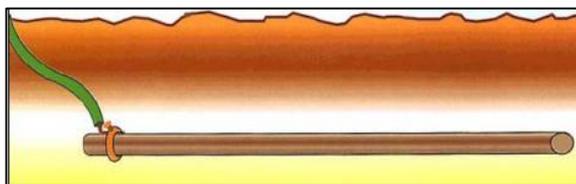


Fuente: (Medina Martínez, Hernández Hernández , & Rabanal Alcántara, 2009)

#### 2.5.7.4.3 Electrodo Horizontal

Estos electrodos son de cobre desnudo, se incrustan al terreno de forma horizontal a la superficie del suelo con un valor de profundidad de 50 cm. La instalación de este electrodo no es recomendable cuando se tiene terrenos rocosos ya que la excavación es costosa. (Mogollón Escobar, 2006)

**Fig. 17 Electrodo Tipo Horizontal**



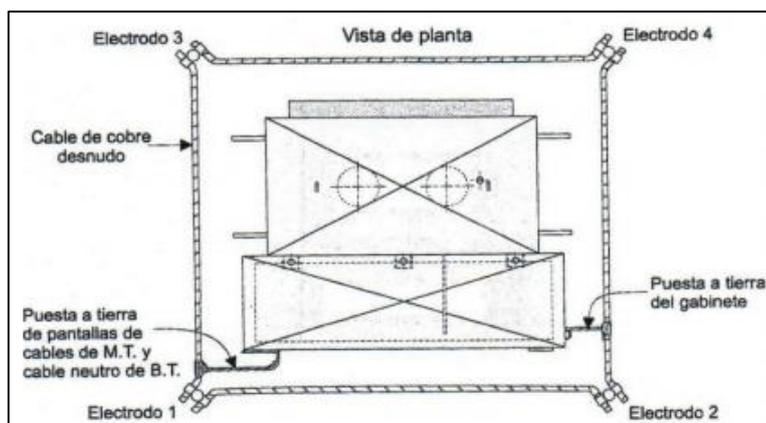
Fuente: (Mogollón Escobar, 2006)

## 2.5.7.5 Configuración de los Electrodo

### 2.5.7.5.1 Anillo de Tierra

El anillo de tierra habitualmente se emplea en Fábricas o sitios de comunicaciones con el fin de conseguir un plano equipotencial que rodee los equipos. El anillo es un conjunto de cable de cobre desnudo que se entierran a 800mm de profundidad y su calibre es 2 AWG. (Mogollón Escobar, 2006)

**Fig. 18 Anillo de Tierra**

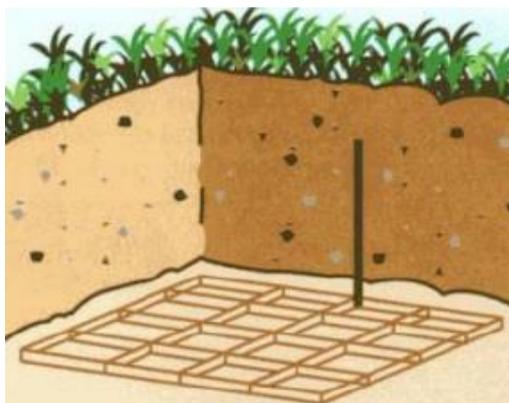


Fuente: (Medina Martínez, Hernández Hernández , & Rabanal Alcántara, 2009)

### 2.5.7.5.2 Malla

Este sistema de puesta a tierra es muy empleado en subestaciones de alta tensión, ya que reduce el riesgo de descargas eléctricas. Su diseño se basa en una red de conductores de cobre desnudo en la fig.27 se puede observar su configuración. (Medina Martínez, Hernández Hernández , & Rabanal Alcántara, 2009)

**Fig. 19 Electrodo Tipo Malla**



Fuente: (Mogollón Escobar, 2006)

### 2.5.7.5.3 Pata de Ganso

Se le llama así por su que sus tres jabalinas están enterradas en forma de pata de ganso, las cuales deben estar a 50 cm de profundidad.

**Fig. 20 Pata de Ganso**



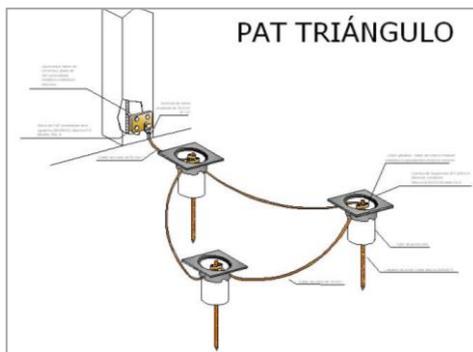
Fuente: (LPD, 2015)

### 2.5.7.5.4 Triángulo

Este tipo de conexión se realiza mediante la colocación de tres varillas dispuestas de manera que forman un triángulo, las cuales están unidas entre sí por un conductor del mismo calibre que deberá estar enterrado a 50 cm de

profundidad, la distancia entre varilla debe ser igual a la longitud de la varilla que se colocará o dependerá de la norma técnica que se utilice, el cable que se contacta a tierra deber tener una calibre N° 8 AWG en cobre.

**Fig. 21 Sistema Triángulo**



Fuente: (LPD, 2015)

## CAPÍTULO 3

### NATSIM (NORMAS DE ACOMETIDAS CUARTOS DE TRANSFORMADORES Y SISTEMAS DE MEDICIÓN PARA EL SUMINISTRO ELÉCTRICO)

#### 3.1 Acometida En Media Tensión

Se le llama así a los conductores que se mantiene enlazados a una red de distribución desde 600 voltios hasta 15 KV puede ser aérea o subterránea, la cual envía energía hasta los bushing del transformador; en diversas situaciones estos conductores suelen llegar a los equipos de medición o celdas modulares siempre y cuando el equipo se encuentre instalado, por lo general esta tipo de acometida se usa en zonas comerciales o Industrias. (NATSIM, 2012)

#### 3.2 Medición en Media Tensión

La medición en media tensión se utiliza con el fin de registrar la energía consumida por el consumidor, este tipo de medición se realizará cuando el consumidor llegue a poseer una demanda superior a 300 kilovatios e inferiores a 1000 kilovatios. El dispositivo de medición tendrá que ser instalado en poste que tenga las líneas primarias aéreas de distribución, o en cuartos de transformadores, para lo cual se utilizará transformadores de potencial y de corriente que se conectaran al medidor adecuado para cada consumidor. (NATSIM, 2012)

### 3.3 Ubicación del Equipo de Media Tensión en Postes

El equipo de medición será ubicado en los postes en caso de tener una medición indirecta, estos no podrán estar a la intemperie por lo que se recomienda utilizar una caja metálica, el cual deberá instalarse a una altura entre 1.80 m y 2.00 m con respecto al piso. (NATSIM, 2012)

### 3.4 Medidor Controlador en Media Tensión

El medidor controlador mide la energía activa de un conjunto de medidores individuales que se encuentren en un predio. Este tipo de medidor deberá ser instalado en subestaciones donde su capacidad supere a los 300 KVA, el cual debe ser ubicado en el lado de M/T, afuera del sitio donde se encuentre el cuarto de transformadores, este medidor irá dentro de un tablero metálico de 70 x 40 x 25 cm. (NATSIM, 2012)

### 3.5 Canalización Para Acometidas De Media Tensión

La canalización para acometidas subterráneas en media tensión se permitirá utilizar tubería plástica tipo pesada, con recubrimiento de hormigón (PVC), en cambio para la acometida que baja junto al poste y llega al medidor su canalización será por medio de tubería metálica rígida. (NATSIM, 2012)

**Tabla 3. Diámetro interior para las tuberías de Acometidas de M/T**

|  |     |        |
|--|-----|--------|
| Acometida con dos conductores (incluyendo el neutro) | 3 " | 75 mm  |
| Acometida con más de dos conductores                 | 4"  | 100 mm |
| Conductores de Señal                                 | 1 " | 32 mm  |

Fuente: (NATSIM, 2012)

### 3.6 Barras de Distribución

Las Barras de distribución se ubicarán dentro de los tableros eléctricos, se usan para distribuir energía, la selección de la temperatura de las barras estará determinada por la temperatura a plena carga de las cargas. Las Barras deberán ser de Cu con un espesor mínimo de 3 milímetros (1/8”), y con un ancho mínimo de 12.7 milímetros (1/2”), y estarán apoyado sobre aisladores de un espesor mínimo de 2.5 centímetros. Para determinar la longitud de las barras se debe considera el lugar donde serán ubicadas y el espacio que ocuparán los aisladores. La barra del neutro estará conectada sólidamente a Tierra. (NATSIM, 2012)

**Tabla 4. Ampacidad Barras de Cobre**

| AMPACIDAD DE BARRAS DE COBRE |          |
|------------------------------|----------|
| Dimensiones (Pulgadas)       | Amperios |
| 1/8” x 1/2”                  | 153      |
| 1/4” x 1/2”                  | 560      |
| 1/4” x 3”                    | 990      |
| 1/4” x 6”                    | 1.750    |

Fuente: (NATSIM, 2012)

### 3.7 Cuarto Para Transformadores

#### 3.7.1 Requerimientos

Si la demanda total excede a 30 KW el proyectista o propietario habilitará un cuarto destinado a alojar exclusivamente un trasformador o banco de transformadores particulares. El propietario será el responsable de proveer sus respectivos equipos de protección y accesorios. (NATSIM, 2012)

Por razones de seguridad, los cuartos de transformadores son de acceso restringido a personal calificado. En caso de que se requiera como protección una celda de media tensión, esta deberá ser ubicada de forma adyacente al cuarto de transformadores por lo que se hace necesario la construcción de una pared de mampostería para su separación. (NATSIM, 2012)

### **3.7.2 Características Constructivas**

El cuarto de transformadores puede ser construido con paredes de hormigón o de mampostería y columnas de hormigón armado. Los cuartos, por razones de seguridad, deberán tener una losa superior de hormigón, ubicada a una altura libre mínima de 2.5 m diseñada para soportar una carga máxima de acuerdo a su utilización. Ver Anexo 1, 2, 3. (NATSIM, 2012)

La ventilación del cuarto deberá ser la adecuada para mantener el equipo en buenas condiciones sin ocasionar la disminución de la capacidad nominal del mismo, por lo que se recomienda que su temperatura no exceda de 40°C. (NATSIM, 2012)

Las aberturas de ventilación deberán colocarse en las paredes laterales, cerca del techo y estarán cubiertas de rejas permanentes o persianas resistentes con el fin de que no ingrese ningún objeto sobre los transformadores. El área mínima, sumadas todas las aberturas de ventilación, será de tres pulgadas cuadradas por cada KVS del transformador instalado. (NATSIM, 2012)

**Tabla 5. Área mínima, rectangular y libre de los transformadores**

| <b>Capacidad transformadores Monofásicos</b> | <b>Dimensiones del cuarto</b> |
|--|-------------------------------|
| 1 transformador monofásico de 100 KVA        | 2.0 x 2.5 m                   |
| Banco de 2 o 3 transformadores de 150 KVA    | 3.0 x 2.5 m                   |
| <b>Capacidad transformadores trifásicos</b>  |                               |
| <b>Dimensiones del cuarto</b>                |                               |
| 1 transformador trifásico de 150 KVA         | 3.0 x 2.5 m                   |
| 1 transformador trifásico de 300 KVA         | 3.0 x 3.0 m                   |
| 1 transformador trifásico de 750 KVA         | 3.5 x 3.5 m                   |
| 1 transformador trifásico de 1.000 KVA       | 4.0 x 4.0 m                   |

Fuente: (NATSIM, 2012)

### 3.8 Ductos para la entrada a Cuartos de Transformadores

Se recomienda la utilización de ductos y codos de tubería metálica rígida, aprobados para uso eléctrico con un diámetro de 3" para sistemas monofásicos y de 4" para sistemas trifásicos. (NATSIM, 2012)

### 3.9 Transformadores

Si la demanda excede de 30 KW, el Consumidor suministrará e instalará sus propios transformadores dentro de un cuarto, cuya capacidad, voltaje primario, secundario y tipo de conexión se especificará en el diagrama unifilar del proyecto eléctrico. (NATSIM, 2012)

Si se estima la instalación de un banco de transformadores, cada unidad monofásica deberá ser tipo convencional y apropiado para ser utilizado en sistema eléctrico de 13,800 Y/7,977 voltios en el lado primario y 120/240 voltios en el lado secundario, con derivaciones de 2.5 % arriba y debajo de su voltaje nominal. (NATSIM, 2012)

En caso que la demanda supere los 1.000 KW y el Distribuidor suministre el servicio a un nivel de tensión de 69 KV, el Consumidor deberá considerar

la instalación de una subestación de reducción a esta tensión, cuyas características técnicas, detalles constructivos y de montaje serán puestos a consideración del Distribuidor. (NATSIM, 2012)

### **3.10 Protección de transformadores en media tensión**

#### **3.10.1 Caja Fusibles**

Caja de fusible es un equipo necesario para la protección de Los transformadores de media tensión en el lado primario, ya que ayudan a evitar daños cuando existe problema en la red de distribución, por lo que se debe instalar una caja fusible de 100 amperios 15 KV y un pararrayo de 10 KV en cada una de las fases de alimentación, estas cajas se instalarán en el poste de arranque si la red de distribución es aérea. (NATSIM, 2012)

#### **3.10.2 Celda de Media Tensión**

De acuerdo al estudio de mi proyecto se determinó que la industria consta de más de un transformador, por lo que considera que el consumidor debe instalar un interruptor automático principal para operación con carga o seccionadores fusibles para accionamiento simultaneo de las tres fases bajo carga, un juego de barras de alimentación en media tensión y como protección individual para cada transformador un interruptor automático o seccionadores fusibles similares al principal, es decir celdas modulares. (NATSIM, 2012)

## **CAPÍTULO 4**

### **ESTUDIO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS ACTUALES**

Para realizar el estudio de las instalaciones eléctricas actuales fue necesario hacer una visita técnica con el fin de desarrollar un levantamiento de campo y al adquirir esta información lograr estudiar el sistema eléctrico actual de la planta Pinturas Unidas S.A.

#### **4.1 Descripción de la red principal**

El servicio de energía eléctrica que alimenta a Pinturas Unidas está administrada por CNEL-EP- Unidad de Negocio Guayaquil, cerca de la plata existe la Subestación Germania ubicada en el km 16.5 vía Daule, la interconexión de la línea es mediante una acometida aérea de media tensión de 13200 voltios, la cual llega al poste de CNEL-EP donde se encuentra la caja de portafusibles de 15KV instalado por la CNEL-EP- Unidad de Negocio Guayaquil, la acometida aérea entra a la planta hacia el poste #1 instalado por el propietario de la planta, en este poste se encuentra los equipos de medición (TC) de 50KVA con relación 600/5 instalados por la CNEL-EP, una caja portafusibles de 100A-15KV, de donde sale el conductor hacia la tubería metálica, de ahí se origina la acometida subterránea. La red subterránea tendrá un trayectoria de 130 m mediante tres conductores # 2 de Cobre tipo XLPE para 15Kv más un conductor de igual calibre para el neutro, que pasan por dos tuberías de PVC 4" de diámetro, las cuales llegarán a una caja de paso de 80x80x80 que está ubicada cerca del cuarto de transformadores, la línea llega a las celdas de protección desde ahí salen los conductores que

llegan a los bushing de los transformadores. En el anexo E1 se aprecia el recorrido de la línea.

**Fig. 22 Poste CNEL-EP**



Fuente: Fotografía directa

Autor: Andrea Nieto

**Fig. 23 Poste #1 Empres Pinturas Unidas**



Fuente: Fotografía directa

Autor: Andrea Nieto

## 4.2 Descripción del cuarto de transformadores

La Empresa Pinturas Unidas S.A. cuenta con un cuarto de transformador de 3,20m de ancho y 6,20 de largo, su estructura es de hormigón armado, posee una ventilación en la parte superior del cuarto, el transporte del cableado de la acometida lo hace a través de parillas portacables, en el cuarto se encuentra un transformador trifásico con capacidad de 300 KVA, además posee un banco de transformadores compuesto por tres transformadores monofásicos de 167 KVA, los cuales cubren la demanda eléctrica actual de la empresa. En las Tablas 1 y 2 se describen las características de los transformadores. La conexión de los transformadores monofásicos es estrella aterrizada. Para conocer como están ubicados los transformadores en el anexo E2 se muestra el esquema del cuarto de transformación.

**Fig.24 Banco de transformadores 501 KVA**



Fuente: Fotografía directa

Autor: Andrea Nieto

**Tabla 6. Características de los Transformadores de 167KVA**

| Parámetro            | Descripción  |
|----------------------|--------------|
| Marca                | Westinghouse |
| Tipo                 | OS 65 CC     |
| Potencia Nominal     | 167 KVA      |
| N° de Fases          | 1            |
| Tensión primaria     | 13.2 KV      |
| Tensión secundaria   | 240-120 V    |
| Frecuencia           | 60 Hz        |
| Polaridad            | Adictiva     |
| Calentamiento Aceite | 60°C         |
| Clase                | OA           |
| Voltaje de ruptura   | 22 KV        |

Autor: Andrea Nieto

**Fig. 25 Transformador 300KVA**

Fuente: Fotografía directa

Autor: Andrea Nieto

**Tabla 7. Características del Transformador de 300 KVA**

| <b>Parámetro</b>        | <b>Descripción</b> |
|-------------------------|--------------------|
| Marca                   | Magnetron          |
| Tipo                    | Convencional       |
| Potencia Nominal        | 300 KVA            |
| N° de Fases             | 3                  |
| Tensión primaria        | 13.2 KV            |
| Tensión secundaria      | 220-127 V          |
| Frecuencia              | 60 Hz              |
| Calentamiento Aceite    | 60°C               |
| Calentamiento Devanados | 65°C               |
| Grupo de Conexión       | Dyn5               |
| Clase                   | OA                 |
| Refrigeración           | ONAN               |

Autor: Andrea Nieto

### **4.3 Descripción del Generador de Emergencia**

El Generador es una fuente de energía importante dentro de una planta ya que evita que existan problemas de producción cuando se producen cortes de energía; por lo que Pinturas Unidas lo usa como respaldo energético para alimentar las cargas del banco de transformador y del transformador de 300 KVA, su transmisión es de forma manual, el generador es procedente del grupo Kohler con una potencia de 500KW el cual está ubicado junto al cuarto de transformación. Las características técnicas de este generador se encuentran en la tabla 8:

**Tabla 8. Características del Generador**

|             |        |
|-------------|--------|
| Marca       | Kohler |
| Potencia    | 500 Kw |
| N° de Fases | 3      |
| Voltaje     | 240 V  |
| Frecuencia  | 60 Hz  |
| Norma       | NFPA   |
| Rpm nominal | 1800   |

Autor: Andrea Nieto

**Fig.26 Generador de Emergencia Kohler**

Fuente: Fotografía directa

Autor: Andrea Nieto

#### 4.4 Diagrama Unifilar Actual

Se realizó una visita a la planta con el objetivo de elaborar el diagrama unifilar, donde se muestra de forma general las características de los transformadores, protecciones, conductores, generador y de las actuales cargas instaladas. En el anexo E3 se encuentra el diagrama unifilar de Pinturas Unidas S.A.

#### 4.5 Protecciones Actuales

Pinturas Unidas S.A. cuenta con una caja de portafusibles para la protección de líneas. La norma NATSIM establece que se debe instalar una caja fusible de 100 amperios 15 KV y un pararrayo de 10 KV en cada una de las fases de alimentación para la protección de los transformadores de media tensión. Además la planta posee celda de protección en media tensión en SF6 para los transformadores. En la tabla 9 y 10 se muestra las características de los elementos.

**Tabla 9. Características de la Caja Portafusibles**

|                   |        |
|-------------------|--------|
| Tipo              | G-2LES |
| Corriente Nominal | 100 A  |
| Voltaje Nominal   | 15 KV  |
| BILL              | 110 KV |

Autor: Andrea Nieto

**Tabla 10. Característica celda QM**

| Características              | Parámetros |
|------------------------------|------------|
| Ancho                        | 375-750 mm |
| Altura                       | 1600 mm    |
| Profundidad                  | 940 mm     |
| Norma                        | IEC-62271  |
| Tensión asignada             | 17.5 Kv    |
| Intensidad                   | 400 A      |
| Máxima capacidad de apertura | 20 KA      |

Fuente: (SCHNEIDER ELECTRIC, 2009)

#### 4.6 Descripción de la Acometida en Baja Tensión

La acometida en baja tensión sale de lado de baja tensión de los transformadores y se transporta por medio de parillas portacables hasta el cuarto de tableros de distribución donde la acometida llega a su respectivo tablero. En la actualidad los transformadores que se encuentran en la planta alimentan las siguientes cargas. Como se puede observar en las tablas 11 y 12.

**Fig. 27 Tablero de Distribución TDG**



Fuente: Fotografía directa

Autor: Andrea Nieto

**Tabla 11. Planilla de Circuitos-Banco de transformadores 500KVA**

| Panel | Cto # | Voltaje | Conductor                    | Ducto φ"    | Fase | Disyuntor |          | Utilización                   |
|-------|-------|---------|------------------------------|-------------|------|-----------|----------|-------------------------------|
|       |       |         |                              |             |      | Polos     | Amperios |                               |
| T.T.1 | 1     | 240     | 3(3 #500 MCM)<br>+ N#500 MCM | 5 "         | 3    | 3P        | 1400     | Alimenta Panel TDG            |
|       | 2     | 240     | 2(3 #4/0) + N#2              | 2 ( 3 " )   | 3    | 3P        | 500      | TB Bombas contra incendio     |
| TDG   | 1     | 240     | 3 #2 + N #6                  | 1 1/2 "     | 3    | 3P        | 125      | ColorMix Esmalte 1            |
|       | 2     | 240     | 3 #4/0 + N #2                | 2 "         | 3    | 3P        | 200      | Motor M6                      |
|       | 3     | 240     | 3 #4/0 + N #2                | 2 "         | 3    | 3P        | 200      | Mezclador M4                  |
|       | 4     | 240     | 3 #4/0 + N #2                | 2 "         | 3    | 3P        | 200      | Motor L9                      |
|       | 5     | 240     | 3 #4/0 + N #2                | 2 "         | 3    | 3P        | 200      | Motor L8                      |
|       | 6     | 240     | 3 #4/0 + N #2                | 2 "         | 3    | 3P        | 200      | Compresor                     |
|       | 7     | 240     | 3 #1/0 + N #4                | 2 "         | 3    | 3P        | 150      | NITRO                         |
|       | 8     | 240     | 3 #1/0 + N #4                | 2 "         | 3    | 3P        | 150      | Molino SM1                    |
|       | 9     | 240     | 3 #2/0 + N #4                | 2 "         | 3    | 3P        | 175      | Mezclador M5                  |
|       | 10    | 240     | 3 #2 + N #6                  | 1 1/2 "     | 3    | 3P        | 125      | Molino SM3                    |
|       | 11    | 240     | 3 #2/0 + N #4                | 2 "         | 3    | 3P        | 175      | Aire Acondicionado Oficinas   |
|       | 12    | 240     | 3 #4 + N #8                  | 1 1/2 "     | 3    | 3P        | 70       | Oficinas                      |
|       | 13    | 240     | 3 #4 + N #8                  | 3/4 "       | 3    | 3P        | 60       | Vestidores                    |
|       | 14    | 240     | 2( 3 #3/0 + N #4)            | 2( 2 " )    | 3    | 3P        | 225      | Kady                          |
|       | 15    | 240     | 3 #2 + N #6                  | 1 1/4 "     | 3    | 3P        | 100      | Motor M2                      |
|       | 16    | 240     | 3 #2 + N #6                  | 1 1/4 "     | 3    | 3P        | 100      | E1                            |
|       | 17    | 240     | 3 #2 + N #6                  | 1 1/4 "     | 3    | 3P        | 100      | SM2                           |
|       | 18    | 240     | 3 #4 + N #8                  | 3/4 "       | 3    | 3P        | 75       | E5                            |
|       | 19    | 240     | 3 #4 + N #8                  | 3/4 "       | 3    | 3P        | 75       | E6                            |
|       | 20    | 240     | 3 #4 + N #8                  | 1 1/4 "     | 3    | 3P        | 80       | Colores Especiales M8         |
|       | 21    | 240     | 3 #2 + N #6                  | 1 1/4 "     | 3    | 3P        | 100      | ColorMix Esmalte 2            |
|       | 22    | 240     | 3 #2 + N #6                  | 1 1/4 "     | 3    | 3P        | 100      | A/C Exteriores Gerencia       |
|       | 23    | 240     | 3 #4 + N #8                  | 1 1/2 "     | 3    | 3P        | 70       | Cargador Montacarga           |
|       | 24    | 240     | 2(3 #4/0) + N #2             | 2 (3")      | 3    | 3P        | 500      | Banco de condensador 200 KVAR |
|       | 25    | 240     | 2 (3 #3/0) + N #2/0          | 2(1 1/2 " ) | 3    | 3P        | 300      | TDG1                          |
|       | 5     | 240     | 2(3 #4/0) + N #2             | 2 ( 2 " )   | 3    | 3P        | 400      | Motor BEST.                   |
| TDG1  | 1     | 240     | 3 #2/0 + N #4                | 2 "         | 3    | 3P        | 175      | CHILER                        |
|       | 2     | 240     | 3 #2 + N #6                  | 1 1/2 "     | 3    | 3P        | 125      | E10                           |
|       | 3     | 240     | 3 #4 + N #8                  | 3/4 "       | 3    | 3P        | 60       | E2                            |
|       | 4     | 240     | 3 #2 + N #6                  | 1 1/4 "     | 3    | 3P        | 100      | SM4                           |
|       |       |         |                              |             |      |           |          |                               |

Autor: Andrea Nieto

**Tabla 12. Planilla de Circuitos-Transformador de 300 KVA**

| PANEL | CTO # | VOLTAJE | CONDUCTOR        | DUCTO $\Phi$ " | FASE | DISYUNTOR |          | UTILIZACIÓN   |
|-------|-------|---------|------------------|----------------|------|-----------|----------|---------------|
|       |       |         |                  |                |      | POLOS     | AMPERIOS |               |
| T.T.2 | 1     | 220     | 3 #1/0 + N #4    | 2 "            | 3    | 3P        | 150      | Taller        |
|       | 2     | 220     | 3 #4/0 + N #2    | 2 "            | 3    | 3P        | 200      | CHILER 2      |
|       | 3     | 220     | 3 #1/0 + N #4    | 2 "            | 3    | 3P        | 125      | Esmalte 3     |
|       | 4     | 220     | 3 #4/0 + N #2    | 2 "            | 3    | 3P        | 225      | Calderos ALFA |
|       | 5     | 220     | 2(3 #1/0) + N #4 | 2 ( 2 " )      | 3    | 3P        | 250      | ALFA          |
|       | 6     | 220     | 3 #1/0 + N #4    | 1 1/2"         | 3    | 3P        | 125      | Libre         |

Autor: Andrea Nieto

**Fig. 28 Tablero de Distribución T.T.2**

Fuente: Fotografía directa

Autor: Andrea Nieto

#### 4.7 Banco de Capacitores

Pinturas Unidas cuenta con banco de capacitores que ayuda a regular el factor de potencia de las cargas a 220 V, de esta manera la planta evita ser penalizada por CNEL-EP.

### Características del banco de capacitores

- Capacidad de 200 KVAR
- Interruptor Principal 500 Amp.
- 6 Pasos Trifásicos

**Fig. 29 Banco de Capacitores**



Fuente: Fotografía directa

Autor: Andrea Nieto

## **CAPÍTULO 5**

### **DISEÑO DE LA SUBESTACIÓN EN MEDIA TENSIÓN**

En este capítulo es fundamental para conocer los criterios más usados el diseño de una subestación ya que este proyecto tiene como objetivo principal el desarrollar el diseño de la subestación que alimentará la nueva línea de producción a 460 voltios. Gracias a la información suministrada por la Empresa Pinturas Unidas S.A. se realizará los cálculos y planos necesarios, además se plantea proponer la implementación de celdas de M/T en SF6 para la protección de los transformadores.

#### **5.1 Cálculos para la selección de los equipos**

Para el Diseño de la nueva subestación de Pintura Unidas es necesario conocer los respectivos cálculos para el dimensionamiento de los equipos a utilizarse en una subestación de media tensión.

#### **5.2 Cálculo para determinar la capacidad del transformador**

Para el cálculo de la capacidad de los transformadores se debe estudiar los siguientes conceptos, además tomar en cuenta los factores recomendados.

##### **5.2.1 Carga Instalada**

Es la suma de la potencia nominal de todos los equipos, artefactos o maquinarias que se encuentran conectados a una instalación eléctrica, habitualmente se expresa en KW o KVA.

### 5.2.2 Demanda Eléctrica

Es la cantidad de energía eléctrica que consume la carga en un determinado momento y se mide en KW.

### 5.2.3 Demanda Máxima Unitaria

Es el valor máximo de la potencia que consume cada carga instalada en un intervalo de tiempo. La demanda máxima unitaria se obtiene de la multiplicación de la carga instalada por el factor de simultaneidad.

### 5.2.4 Factor de Simultaneidad

Es la relación que existe entre la demanda de cada una de las cargas instaladas en función de la simultaneidad con la que operan los equipos o maquinarias durante un período. En la tabla 13 Se puede observar el coeficiente simultaneidad de acuerdo al rango de electrificación.

**Tabla 13. Coeficiente de Simultaneidad**

| Rango de Electrificación | Uso   | Coeficiente de Simultaneidad |
|--------------------------|---|------------------------------|
| Baja y Media             | Equipos de uso no común (Lavadorado, bomba de agua) | 1                            |
| Elevada                  | Equipos de uso Industrial                           | 0,9                          |
| Superior                 | Equipos de uso común (iluminación, televisor, etc.) | 0,8                          |

Fuente: (MORELLI)

### 5.2.5 Factor de Demanda

Es la relación que existe entre la demanda máxima de un sistema para la carga total instalada.

$$\text{Factor de Demanda} = \frac{\text{Demanda Máxima}}{\text{Carga Total Instalada}}$$

### 5.2.6 Factor de Diversidad

Es la división entre la suma de la demanda máxima de cada equipo que está conectado para la demanda total de la instalación.

$$\text{Factor de Diversidad} = \frac{\sum \text{Demanda Máxima Individual}}{\text{Demanda Total del Sistema}}$$

### 5.2.7 Factor de Coincidencia

Es la inversa del factor de diversidad.

$$\text{Factor de Coincidencia} = \frac{1}{\text{Factor de Diversidad}}$$

### 5.2.8 Factor de reserva

El factor de reserva debe ser estimado de acuerdo a las extensiones previstas de la instalación, sin embargo cuando no se dispone de la información precisa, se recomienda considerar un 20 % de reserva para cargas futuras. (Fuentes, 2014)

## 5.3 Cálculo para encontrar el Calibre del Conductor

Es muy importante es una instalación eléctrica el cálculo del calibre del conductor, para tener una buena capacidad de conductividad se debe tomar en cuenta la corriente y el tipo de aislamiento. Conociendo la corriente nominal de la carga se puede determinar el calibre del conductor con su respectivo aislamiento.

Lo primero que se debe conocer es la corriente nominal para dimensionar el calibre del conductor. Para el cálculo de la corriente nominal en sistemas eléctricos monofásicos tenemos la siguiente ecuación:

$$I_n = \frac{P}{V}$$

Donde:

$I_n$  → Corriente Nominal

$P$  → Potencia en KVA

$V$  → Nivel de Tensión del sistema en Voltios.

Sin embargo, la corriente nominal en sistemas trifásicos se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} * V}$$

Donde:

$I_n$  → Corriente Nominal

$P$  → Potencia en KVA

$V$  → Nivel de Tensión del sistema en Voltios.

$\sqrt{3}$  → Sistemas Trifásicos.

Cuando se tiene instalado motores de corriente alterna trifásicos la corriente nominal se encuentra con la siguiente ecuación:

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \eta * f_p}$$

Donde:

$I_n$  → Corriente Nominal

$P$  → Potencia en KW

$V$  → Nivel de Tensión del sistema en Voltios.

$\sqrt{3}$  → Sistemas Trifásicos.

$F_p$  → Factor de potencia

$\eta$  → Rendimiento del Motor

#### **5.4 Conductores para motores**

También llamados cargas especiales, para dimensionar el conductor que alimenta únicamente a un motor se multiplicara la corriente nominal por 1.25.

$$I_{conductor} = 1.25 \times I_n$$

En la selección del conductor del neutro para motores trifásico se debe considerar el 70 % de la corriente nominal seleccionada para las fases.

#### **5.5 Dimensionamiento de las Protecciones Eléctricas**

##### **5.5.1 Protección contra sobrecorriente para transformadores de más de 600 V nominales**

Los transformadores de más de 600 V deben tener protección en lado primario y secundario. En el lado primario se debe adecuar un dispositivo de

protección contra sobrecorriente puede utilizarse fusibles, donde su capacidad de corriente no debe superar el 250 % de la corriente nominal del primario del transformador. (NTC 2050)

**Tabla 14. Ajustes de disparo del dispositivo de protección contra sobrecorriente**

| Impedancia                | Protección                    | Primario > 600 V | Secundario hasta 600 V |
|---------------------------|-------------------------------|------------------|------------------------|
| nominal del transformador | Ajuste Interruptor automático | 600 %            | 125 %                  |
|                           | Corriente Nominal             |                  |                        |
| Hasta un 6%               | Fusible                       | 300 %            | 125 %                  |

Fuente: (NTC 2050)

### 5.5.2 Protección contra sobrecorriente para transformadores de 600 V nominales o menos

Todos los transformadores de 600 V o menos deben tener un dispositivo de protección tanto en lado primario como secundario, la capacidad nominal o ajuste de disparo no mayor al 125 % de la corriente nominal del transformador. (NTC 2050)

$$I_{\text{interruptor}} = 1.25 \times I_n \text{ secundario}$$

### 5.5.3 Protección contra sobrecarga de motores

Según la norma NTC 2050, capítulo 4, artículo 430-32, establece que todos los motores deben contar con un dispositivo de protección, para dimensionar la protección se considera 150 % de la corriente nominal del motor. (NTC 2050)

$$I_{\text{interruptor motor}} = 1.50 \times I_n$$

Para calcular la capacidad del interruptor termomagnético que alimenta a varios motores se debe multiplicar la corriente nominal del motor de mayor potencia por el factor 1.25, al resultado de esta multiplicación se le sumará la corriente nominal de los demás motores.

$$I_{\text{interruptor principal}} = 1.25 (I_n \text{ mayor motor}) + \sum I_n \text{ menores motores}$$

## 5.6 Dimensionamiento de las Barras Colectoras

Las barras deben tener una capacidad de corriente nominal no inferior a la del dispositivo de protección contra sobrecorriente del principal alimentador. En el Anexo 7, se muestra la tabla de capacidad amperimétrica de barrajes rectangulares de cobre para armarios eléctricos, además en el capítulo 3 se puede observar la tabla de capacidad de barras que establece la norma NATSIM.

## 5.7 Diseño del Sistema Puesta a Tierra

El diseño de puesta a tierra en una industria es muy importante ya que esta como prioridad la seguridad de sus empleados, por lo que si se encuentra materiales que no estén conectados a tierra, estos representan un gran peligro porque el cuerpo humano es como un conductor eléctrico; si se toca una parte de un circuito de 120 o 220 voltios al estar en contacto con la tierra se forma una trayectoria para la corriente, la capacidad de esta corriente depende del voltaje y la resistencia corporal. (Días, 2001)

### 5.7.1 Cálculo del área del terreno

Este caso se debe medir el área donde se va a ubicar el nuevo cuarto de transformadores y nuevo cuarto para las celdas de media tensión en SF6.

$$A = Longitud\ x * Longitud\ y$$

### 5.7.2 Cálculo de la corriente simétrica de Falla

Este cálculo es necesario para determinar el calibre del conductor; la siguiente ecuación hace uso de los datos obtenidos por la plata del transformador. (DÍAZ, 2001)

- La corriente máxima en el secundario:

$$I_{SEC} = \frac{KVA * 1000}{\sqrt{3} * E}$$

Donde:

$I_{SEC}$  → Corriente en el secundario

$KVA$  → Potencia del Transformador

$E$  → Voltaje entre Fase y Fase

- Corriente simétrica máxima

$$I_{CC\ MAX} = \frac{100\%}{Z\%} I_{SEC}$$

- Corriente asimétrica

$$I_{CC\ ASIM} = I_{CC\ MAX} * F_{ASIM}$$

Donde:

$F_{ASIM}$  → Factor de asimetría (depende de X/R)

### 5.7.3 Cálculo del calibre del conductor de puesta a tierra

El dimensionamiento del conductor que se va usar, se lo realiza en función de la corriente de falla que va circular; con la siguiente ecuación se puede determinar el calibre del conductor. (DÍAZ, 2001)

$$A(mm^2) = I \sqrt{\frac{\frac{t_c \cdot \alpha_r \cdot \rho_r \times 10^4}{TCAP}}{\ln \left[ 1 + \left( \frac{T_m - T_a}{K_0 + T_a} \right) \right]}}$$

Donde:

$A$  → Sección transversal del conductor ( $mm^2$ )

$I$  → Corriente simétrica de Falla

$T_m$  → Temperatura máxima permisible ( $^{\circ}C$ )

$T$  → Temperatura de referencia para diversos materiales ( $^{\circ}C$ )

$T_a$  → Temperatura ambiente

$t_c$  → Tiempo durante el cual circula la corriente de falla

$\alpha_1$  → Coeficiente de resistencia térmica a  $0^{\circ}C$

$\alpha_2$  → Coeficiente de resistencia térmica a la temperatura que se mencione T

$\rho$  → Resistividad del conductor de la malla de tierra a la temperatura de referencia T

$K$  → Coeficiente inverso de la resistencia térmica ( $1/\alpha$ )

$T$  → Duración de la corriente de falla (s), normalmente 0.5 s

$TCAP$  → Factor de capacidad térmica

En el anexo 6 se proporcionan los valores de las siguientes constantes:  $TCAP, T_m, K_0, \alpha_r, \rho_r$ ; y en anexo 6 se puede observar las dimensiones más usadas para los conductores de puesta a tierra.

Las siguientes ecuaciones se aplican para encontrar la sección del conductor de acuerdo al material que se escoja, pueden ser de cobre, acero, aluminio.

$$S = \frac{I}{a} \rightarrow S = \frac{I}{160} \rightarrow \text{para conductores de cobre}$$

$$S = \frac{I}{a} \rightarrow S = \frac{I}{100} \rightarrow \text{para conductores de aluminio}$$

$$S = \frac{I}{a} \rightarrow S = \frac{I}{60} \rightarrow \text{para conductores de acero}$$

Donde:

$S \rightarrow$  Sección cable ( $mm^2$ )

$I_{cc} \rightarrow$  Corriente de falla (A)

$a \rightarrow$  Densidad de la corriente (A)

#### 5.7.4 Límites de tensiones

Son los valores máximos admisibles para las personas que se encuentre cerca del peligro. La tensión de paso y de contacto para personas con 50 Y 70 Kg de peso corporal lo citamos en las siguientes ecuaciones:

- Tensión de paso para un cuerpo de 50Kg.

$$E_{P50} = (1000 + 6C_S \rho_S) * \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

- Tensión de contacto para un cuerpo de 50Kg.

$$E_{P50} = (1000 + 1.5C_S \rho_S) * \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

- Tensión de paso para un cuerpo de 70Kg

$$E_{P70} = (1000 + 6C_S \rho_S) * \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

- Tensión de contacto para un cuerpo de 70Kg

$$E_{P70} = (1000 + 1.5C_S \rho_S) * \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

Donde:

$1000\Omega$  → Resistencia promedio del Cuerpo Humano

$\frac{0.116}{t_s}$  → Corriente que resiste el cuerpo humano en función del tiempo

$t_s$  → Duración del choque (s)

$6C_S \rho_S$  →  $2 \cdot 2R_f$  → Resistencia a Tierra de los 2 pies separados 1m de la superficie.

$1.5C_S \rho_S$  →  $R_f/2$  → Resistencia a Tierra de los 2 pies juntos puesto en serie en una superficie.

$C_S$  → Factor de disminución de la capa superficial

$\rho_S$  → Resistividad de la capa superficial ( $\Omega \cdot m$ )

La tensión de paso y de contacto son cálculos importantes los cuales contribuyen a la seguridad del personal de la planta que se encuentra expuesto a diversos voltajes. (Ramirez Castaño & Cano Plata, 2010)

### 5.7.5 Cálculo de la resistencia puesta a Tierra

En la tabla se puede encontrar los valores de resistencia de tierra más comunes que se aplican en la instalación de puesta a tierra.

**Tabla 15. Valores de resistencia de puesta a tierra**

| UTILIZACIÓN                                      | VALOR MÁXIMO DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA ( $\Omega$ ) |
|--|---|
| Estructuras de líneas de transmisión             | 20  |
| S/E en alta y extra alta tensión; $V \geq 115KV$ | 1   |
| S/E en M/T de uso exterior en poste              | 10  |
| S/E de M/T de uso interior                       | 10  |
| Protección contra rayos                          | 4   |
| Neutro de acometida en B/T                       | 25  |
| Descargas electrostáticas                        | 25  |
| Equipos electrónicos sensibles                   | 5   |

Fuente: (Guzmán Maridueña , 2015)

### 5.7.6 Número de Varillas

$$N_v = 0.60 * \sqrt{A_t}$$

Donde:

$A_t \rightarrow$  Área Total del Terreno

### 5.7.7 Longitud Total del Conductor

$$L_t = L_c + N * L_v (m)$$

Donde:

$L_v \rightarrow$  Longitud de la Varilla ( $m$ )

$N \rightarrow$  Número de varillas

$L_t \rightarrow$  Longitud Total de Conductor ( $m$ )

$L_c \rightarrow$  Longitud del Conductor Horizontal(m)

## 5.8 Selección de los Equipos

Se realizará los cálculos necesarios para lograr seleccionar los elementos que van a componer la nueva subestación, dichos cálculos se los realizará con las fórmulas anteriormente mencionadas.

### 5.8.1 Selección del Transformador

Cálculo de demanda máxima

- Ejemplo motor de 200 Hp

DATOS:

$$1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$$

$$F_{carga} = 0,80$$

$$200 \text{ hp} * 746 \text{ W} = \frac{149200}{1000} = 149 \cong 150 \text{ KW}$$

$$D_{maxu} = 150 \text{ KW} * 0,80 = 120 \text{ KW}$$

En la siguiente tabla he determinado la demanda máxima de todas las cargas que serán instaladas con el mismo procedimiento que se da a conocer en ejemplo anterior.

**Tabla 16. Cuadro de Cargas - Equipos a 460 V.**

| DESCRIPCIÓN                        | CARGA<br>INSTALADA<br>kw | FACTOR<br>DE<br>CARGA | DEMANDA MAXIMA<br>kw |
|------------------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------|
| MOTOR DE 200 HP.<br>MEZCLA         | 150,00                   | 0,80                  | 120,00               |
| MOTOR DE 100 HP.<br>MEZCLA         | 74,60                    | 0,80                  | 59,68                |
| MOTOR DE 60 HP. SM7                | 44,00                    | 0,80                  | 35,20                |
| MOTOR DE 60 HP. SM7                | 44,00                    | 0,80                  | 35,20                |
| MOTOR DE 40 HP. M6                 | 29,84                    | 0,80                  | 23,87                |
| MOTOR DE 75 HP.<br>DISPERSADOR M3  | 56,00                    | 0,80                  | 44,80                |
| MOTOR DE 40 HP.<br>MEZCLA DE POLVO | 29,84                    | 0,80                  | 23,87                |
| MOTOR DE 75 HP.<br>COMPRESOR       | 56,00                    | 0,80                  | 44,80                |
| MOTOR DE 50 HP. L1                 | 37,50                    | 0,80                  | 30,00                |
| MOTOR DE 50 HP. L2                 | 37,50                    | 0,80                  | 30,00                |
| MOTOR DE 50 HP. L4                 | 37,50                    | 0,80                  | 30,00                |
| MOTOR DE 50 HP. L7                 | 37,50                    | 0,80                  | 30,00                |
| MOTOR DE 50 HP. E15                | 37,50                    | 0,80                  | 30,00                |
| MOTOR DE 50 HP. E16                | 37,50                    | 0,80                  | 30,00                |
| MOTOR DE 60 HP. M15                | 45,00                    | 0,80                  | 36,00                |
| MOTOR DE 30 HP. M15                | 22,38                    | 0,80                  | 17,90                |
| MOTOR DE 25 HP. M15                | 19,00                    | 0,80                  | 15,20                |
|                                    |                          |                       | 636,53               |
| <b>TOTAL</b>                       | <b>795,66</b>            |                       |                      |
| <b>DEMANDA MAXIMA</b>              |                          |                       | <b>509,23</b>        |

Fuente: Autor

La demanda máxima total 510 Kw fue calculada con un factor de funcionamiento por cada equipo del 80% y un factor de demanda general del 90%, adicionándole un factor de reserva del 35 %.

$$Cap_T = \left( \frac{510Kw}{0.90} \right)$$

$$Cap_T = 567 * 35\%$$

$$Cap_T = 765 KVA$$

Se propuso un de transformador de 1000 KVA que abastecerá la demanda máxima.

Capacidad del Transformador 1000 KVA trifásico

La Demanda Total de la Planta más el incremento a 460 V:

$$510kw + 461kw = 971 Kw$$

Realizando los estudios necesarios se propone la utilización de un transformador INATRA, ya que son eficientes y de fácil adquisición.

**Tabla 17. Características del Transformador de 1000 KVA**

| Parámetro          | Descripción  |
|--------------------|--------------|
| Marca              | INATRA       |
| Tipo               | Convencional |
| Potencia Nominal   | 1000 KVA     |
| N° de Fases        | 3            |
| Tensión primaria   | 13.2 KV      |
| Tensión secundaria | 460-270 V    |
| Corriente de C.C   | 4,1 KA       |
| Frecuencia         | 60 Hz        |
| Grupo de Conexión  | Dyn5         |
| Clase              | AO           |
| Refrigeración      | ONAN         |

Fuente: Autor

### 5.8.2 Selección de Celdas

Para este proyecto se planteó la utilización de celdas en SF6 para protección del lado de media tensión del transformador. Para este diseño la subestación contará con celdas SM6, una QM y una celda GAM-2. Las celdas QM son de protección con seccionadores de operación baja carga y bases porta fusibles, la celda GAM-2 esta corresponde a una celda remonte.

### 5.8.3 Selección de la protección secundaria del transformador

#### 1000 KVA

De acuerdo a lo estipulado anteriormente, la norma NTC 2050 establece que cálculo para el interruptor termomagnético se lo realiza de siguiente manera:

$$I_{NSECUNDARIO} = \frac{1000 \text{ KVA}}{\sqrt{3} * 0,460} = 1255,11 \text{ A}$$

$$I_{interruptor} = 1,25 \times I_{NSECUNDARIO}$$

$$I_{interruptor} = 1.25 * 1255,11 = 1568,75$$

De acuerdo a este valor se seleccionará un interruptor automático de caja moldeada regulable ajustado a 1400 A, de 1200 a 1500 amperios.

La recepción de las líneas de la alimentación principal rematará en un disyuntor general de 3 polos 1400 amperios.

### 5.8.4 Selección del conductor para el transformador 1000 kVA

Para seleccionar el calibre del conductor se debe tener en cuenta cual va hacer su función por lo que en la tabla 17 muestra tipo de conductor de acuerdo a sus aplicaciones y nivel de voltaje.

**Tabla 18. Aplicación y voltaje de los conductores**

| Tipo de conductor | Temp. Máxima de operación  | Aplicación   | Aislamiento              | Voltaje de servicio  |
|-------------------|--|--|--------------------------|----------------------|
| THHN              | 90 °C  | Conexión de motores, acometidas eléctricas, plantas petroquímicas, estación de servicio                | PVC                      | hasta 600 V          |
| THW               | 90 °C  | Instalaciones industriales, protecciones   | Termoplástico            | hasta 600 V          |
| TW                | 60 °C  | Instalaciones interiores de bajo consumo   | PVC                      | hasta 600 V          |
| TTU               | 75 °C  | Instalaciones industriales, ductos subterráneos, escalerillas, bandejas portables                      | Polietileno Convencional | hasta 2000V          |
| XLPE              | 90 °C en oper. Continua<br>130 °C en sobrecarga<br>250 °C en cortocircuito | Distribución de energía a M/T, uso industrial, bandejas, ductos, protección, motores , transformadores | Cloruro reticulado       | hasta 5, 8, 15,25 kV |

Fuente: (MOSQUERA TELLO & PADILLA PADILLA, 2007)

$$I_N = \frac{1000 \text{ KVA}}{\sqrt{3} * 0,460} = 1255,11 \text{ A}$$

$$I_{conductor} = 1.25 * 1255,11 = 1568,75$$

Se seleccionará 4 conductores por fase con un calibre de 500 MCM THWN de Cu con una capacidad de corriente a 75 °C de 380 A y un neutro # 500 MCM, el cableado de la acometida será a través parrillas portables.

### 5.8.5 Selección del tablero principal

La norma NATSIM establece que los tableros deben cumplir con las siguientes especificaciones:

- Corriente nominal de hasta 600 A
- Tensión nominal 460 V
- Un tablero único para cada transformador

Será de estructura metálica de plancha galvanizada de 1/16 como mínimo y contendrá el breaker principal y los respectivos arrancadores para cada equipo.

### 5.8.6 Selección de las barras

Las barras de cobre rectangulares se las selecciona con la corriente nominal en el secundario del transformador. En el anexo 5 podemos encontrar las dimensiones de las barras en base a la ampacidad.

$$\text{Transformador de 100 KVA} \quad I_{\text{SECUNDARIO}} = 1255,11 \text{ A}$$

Se seleccionará 4 barras de Cu con un ancho x espesor 20\*5, aérea de 99,1 mm<sup>2</sup>, peso 0,882 Kg/m.

### 5.8.7 Selección de las protecciones y conductores de las nuevas cargas

- Ejemplo motor de 200 HP

DATOS

F.P = 0,9

D = 0,89

$$200 \text{ hp} * 746 \text{ W} = \frac{149200}{1000} = 149 \cong 150 \text{ KW}$$

$$I_{N-m} = \frac{150Kw}{\sqrt{3} * 460 * 0,89 * 0,9} = 261A$$

$$I_{Interrupor-m} = 261A * 1,5 = 352 A$$

El interruptor termomagnético de caja moldeada para el motor de 200 hp será de 300 A – 3 Polos y el conductor que alimenta a este motor tendrá calibre 3 # 350 MCM + 1N # 2/0 de Cu, protegido mecánicamente del motor al panel por fundas selladas de ¾" con sus respectivos conectores de fijación, los cuales pasarán por un ducto de 3" PVC rígido.

En la siguiente tabla encontremos los cálculos del interruptor, conducto y ducto de los demás motores.

**Tabla 19. Planilla de Circuitos-Transformador de 1000 KVA**

| PANEL | CTO # | VOLTAJE | CONDUCTOR            | DUCTO Φ" | FASE | DISYUNTOR |          | MOTOR  |
|-------|-------|---------|----------------------|----------|------|-----------|----------|--------|
|       |       |         |                      |          |      | POLOS     | AMPERIOS |        |
| T.T.3 | 1     | 460     | 3 #350 MCM + N # 2/0 | 3 "      | 3    | 3P        | 300      | 200 HP |
|       | 2     | 460     | 3 #4/0 + N #2        | 2 "      | 3    | 3P        | 200      | 100 HP |
|       | 3     | 460     | 3 #2 + N #6          | 1 1/4 "  | 3    | 3P        | 100      | 60 HP  |
|       | 4     | 460     | 3 #2 + N #6          | 1 1/4 "  | 3    | 3P        | 100      | 60 HP  |
|       | 5     | 460     | 3 #4+ N #8           | 1 1/4 "  | 3    | 3P        | 80       | 40 HP  |
|       | 6     | 460     | 3 #1/0 + N #6        | 1 1/2"   | 3    | 3P        | 125      | 75 HP  |
|       | 7     | 460     | 3 #4+ N #8           | 1 1/4 "  | 3    | 3P        | 80       | 40 HP  |
|       | 8     | 460     | 3 #1/0 + N #4        | 1 1/2"   | 3    | 3P        | 125      | 75 HP  |
|       | 9     | 460     | 3 #2 + N #6          | 1 1/4 "  | 3    | 3P        | 100      | 50 HP  |
|       | 10    | 460     | 3 #2 + N #6          | 1 1/4 "  | 3    | 3P        | 100      | 50 HP  |
|       | 11    | 460     | 3 #2 + N #6          | 1 1/4 "  | 3    | 3P        | 100      | 50 HP  |
|       | 12    | 460     | 3 #2 + N #6          | 1 1/4 "  | 3    | 3P        | 100      | 50 HP  |
|       | 13    | 460     | 3 #2 + N #6          | 1 1/4 "  | 3    | 3P        | 100      | 50 HP  |
|       | 14    | 460     | 3 #2 + N #6          | 1 1/4 "  | 3    | 3P        | 100      | 50 HP  |
|       | 15    | 460     | 3 #2 + N #6          | 1 1/4 "  | 3    | 3P        | 100      | 60 HP  |
|       | 16    | 460     | 3 #6 + N #10         | 1"       | 3    | 3P        | 50       | 30HP   |
|       | 17    | 460     | 3 #10 + N #12        | 3 1/4 "  | 3    | 3P        | 35       | 25HP   |

Fuente: Autor

### 5.8.8 Selección del Sistema de Puesta a Tierra

Se aplicarán las fórmulas antes mencionadas en el diseño de puesta a tierra para calcular la sección de conductor de tierra de transformador.

$$S = I_{cc}/160$$

$$S = 4100/160$$

$$S = 26 \text{ mm}^2$$

Se seleccionará un conductor #2 AWG Cu, para el diseño de puesta a tierra que propongo se utilizará un conductor conectado a una configuración de 3 varillas de cobre electrolítico conectadas en triángulo donde el diámetro de la varillas es de 5/8" (15.8 mm), longitud de las varillas 8' (2.4 m), distancia entre cada varilla 3,6 m, diámetro del triángulo circunscrito 4.4m.

Considerando los valores de la tabla, se escogerá una resistividad del suelo de 20  $\Omega$ .m, ya que con los datos anteriores y con la siguiente ecuación podemos calcular la resistencia.

$$R = \frac{\rho}{6\pi L} \left( \frac{2L}{d * 0.86} + \left[ \left( \ln \frac{4L}{a} \right) - 1 \right] \right)$$

$$R = \frac{20}{6\pi(2.4)} \left( \frac{2(2.4)}{4.4 * 0.86} + \left[ \left( \ln \frac{4(2.4)}{15.8} \right) - 1 \right] \right)$$

$$R = 3 \Omega$$

La Resistencia de la tierra fue de 3  $\Omega$

## **5.9 Rediseño del cuarto de transformadores, cuarto de tableros de distribución**

### **5.9.1 Rediseño del cuarto de transformadores**

El cuarto de transformadores actuales no cumple con las dimensiones necesarios para la implantación del transformador de 1000 KVA, por lo que se debe considerar una ampliación, para construcción de esta obra civil se debe tener en consideración las norma NATSIM y NPE INEN 19.

El diseño del nuevo cuarto contendrá los transformadores de 1000 KVA, 300 KVA y el banco de transformadores de 501 KVA, donde cada uno contará con una celda M/T en SF6 como protección, estas celdas estarán localizadas en un cuarto cerca del cuarto de transformadores.

La norma NATSIM establece que el cuarto de transformador debe contar con una aérea de ventilación para garantizar una adecuada refrigeración en el caso de calentamiento en los transformadores, además deberá contar con los respectivos canales para transporte y organización del cableado, por seguridad del personal la cámara de transformación debe estar dividida para lograr distinguir entre el aérea de media tensión y el aérea de baja tensión.

### **5.9.2 Rediseño del cuarto de tableros de distribución**

El cuarto de tableros también necesitara una ampliación, el cual contendrá el nuevo tablero TT3 y variadores de velocidad para los moteros que se implementaran, debe contar con el espacio necesario para las parrillas portacables que organizarán y transportarán los conductores para dichos motores y demás circuitos secundarios. En el anexo E6 se puede observar el diseño propuesto para estos cuartos.

## **CAPÍTULO 6**

### **ELABORACIÓN DEL PROYECTO PARA EL INCREMENTO DE CARGA PINTURAS UNIDAS**

#### **6.1 Ubicación**

Este proyecto eléctrico comprende el cálculo y diseño de las instalaciones eléctricas debido al incremento de carga en Pinturas Unidas S.A., ubicada en el Km. 16.5 Vía a Daule, Av. Rosavin – Mz.H, SL # 3, entrada a la Cervecería Nacional, tal como se indica en el plano E5.

#### **6.2 Descripción del proyecto eléctrico**

La alimentación para este proyecto será mediante una celda en SF6 que estará adosada a la celda principal. Luego entrará con línea aislada a los bushing del transformador trifásico ubicado en el correspondiente cuarto de transformadores, tal como se indica en el plano.

La alimentación en baja tensión irá alojada en una parrilla para uso eléctrico hasta los terminales del disyuntor general, el cual se encontrará localizado en el tablero de transferencia manual y será conectado a un módulo donde se ubicarán los disyuntores de la nueva carga. El disyuntor principal tendrá una capacidad de 1400 Amperios, 3 polos.

#### **6.3 Detalles del proyecto Eléctrico**

##### **6.3.1 Sub-Estación del Transformador**

En dicho transformador se recibirá la energía eléctrica entregada por la Empresa Eléctrica, en media tensión a 13200 voltios y se reducirá a 460/270

voltios, en el secundario. Para este efecto se usará un transformador trifásico enfriado por aceite, tipo convencional para 60 cps., de 1000 KVA.

La carga instalada total calculada fue: 795,66 KW

La demanda máxima de esta obra se ha calculado con factor de demanda por motor del 80% y un factor de demanda general del 90%, es decir:

Demanda máxima calculada: 509,23KW

En base a este dato de carga, considerando un factor de potencia de 0,90 y previniendo una capacidad de reserva por incrementos futuros de carga debido al aumento de producción de la planta industrial y por cambios de nivel de voltaje para equipos ya existentes, se determinó que la potencia del Transformador sea de :

Capacidad del transformador: 1000 KVA

Para la protección del transformador del lado de media tensión se proveerá de una celda en SF6 dentro del cuarto de la Subestación.

La puesta de tierra se logrará mediante malla de aterrizamiento con varillas de cobre electrolítico de 5/8" x 8' enterradas en forma de triángulo, conectada con un conductor de cobre desnudo # 2 AWG a una distancia de 3,6 m entre varilla y electro-soldadas, conectado a la tierra del transformador y al neutro de la alimentación principal, debiendo tener una resistencia menor a 25 ohmios.

La recepción de las líneas de la alimentación principal rematará en un disyuntor general de 3 polos 1400 amperios, mediante terminales de aleación

de cobre aluminio firmemente sujetos al disyuntor mediante pernos cadmiados. En este nuevo tablero T.T.3 se encuentran localizados los diferentes disyuntores para alimentar las cargas nuevas.

### **6.3.2 Alimentación principal**

La alimentación hasta el disyuntor general tendrá una capacidad de 1400 amperios a plena carga. Para transportar esta corriente al disyuntor general se proveerá de conductores de cobre con aislamiento THHN para 600V, para 1000 V, para lo cual se utilizará cuatro conductores # 500 MCM por cada fase y un neutro # 500 MCM.

### **6.3.3 Tableros de distribución**

Estarán ubicados donde especifica el diseño adjunto e irán soportados en estructura metálica. Los conductores alimentadores a estos paneles están detallados en diagrama unifilar adjunto. Tendrán características similares a los fabricados por Square-D ó por General Electric.

### **6.3.4 Determinación de la demanda máxima**

Para la elaboración del cuadro de carga que consta en el capítulo anterior, se calculó la carga instalada y se aplicaron los siguientes factores:

|                       |      |
|-----------------------|------|
| 1. Simultaneidad:     | 0.90 |
| 2. Factor de Trabajo: | 0.80 |
| 3. Coincidencia:      | 0.80 |
| 4. Demanda Total      | 0.90 |

De esta manera, se determinó una demanda máxima de este nuevo proyecto:

Trifásica 510 KW

Demanda Actual de la Planta: 461kw

$$Demanda_{total} = 461kw + 510 Kw = 971Kw$$

Si la demanda supera los 1000 Kw, el cliente instalará una subestación nivel de 69 Kv.

### Cuadro de cargas en KW

**Tabla 20. Cuadro de Cargas - Equipos a 460 V.**

| DESCRIPCIÓN                        | CARGA<br>INSTALADA<br>kw | FACTOR<br>DE<br>CARGA | DEMANDA MAXIMA<br>kw |
|------------------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------|
| MOTOR DE 200 HP.<br>MEZCLA         | 150,00                   | 0,80                  | 120,00               |
| MOTOR DE 100 HP.<br>MEZCLA         | 74,60                    | 0,80                  | 59,68                |
| MOTOR DE 60 HP. SM7                | 44,00                    | 0,80                  | 35,20                |
| MOTOR DE 60 HP. SM7                | 44,00                    | 0,80                  | 35,20                |
| MOTOR DE 40 HP. M6                 | 29,84                    | 0,80                  | 23,87                |
| MOTOR DE 75 HP.<br>DISPERSADOR M3  | 56,00                    | 0,80                  | 44,80                |
| MOTOR DE 40 HP.<br>MEZCLA DE POLVO | 29,84                    | 0,80                  | 23,87                |
| MOTOR DE 75 HP.<br>COMPRESOR       | 56,00                    | 0,80                  | 44,80                |
| MOTOR DE 50 HP. L1                 | 37,50                    | 0,80                  | 30,00                |
| MOTOR DE 50 HP. L2                 | 37,50                    | 0,80                  | 30,00                |
| MOTOR DE 50 HP. L4                 | 37,50                    | 0,80                  | 30,00                |
| MOTOR DE 50 HP. L7                 | 37,50                    | 0,80                  | 30,00                |
| MOTOR DE 50 HP. E15                | 37,50                    | 0,80                  | 30,00                |
| MOTOR DE 50 HP. E16                | 37,50                    | 0,80                  | 30,00                |
| MOTOR DE 60 HP. M15                | 45,00                    | 0,80                  | 36,00                |
| MOTOR DE 30 HP. M15                | 22,38                    | 0,80                  | 17,90                |
| MOTOR DE 25 HP. M15                | 19,00                    | 0,80                  | 15,20                |
|                                    |                          |                       | 636,53               |
| <b>TOTAL</b>                       | <b>795,66</b>            |                       |                      |
| <b>DEMANDA MAXIMA</b>              |                          |                       | 509,23               |

Fuente: Autor

POTENCIA EFECTIVA: 510 Kw

FACTOR DE POTENCIA: 0,90

|                    |                              |
|--------------------|------------------------------|
| FACTOR DE RESERVA: | 0,35                         |
| CTE NOMINAL (AMP): | 960                          |
| I. NOMINAL X 1,25: | 1200                         |
| DISYUNTOR:         | 1400amp                      |
| ALIMENTADOR:       | 4(3 # 500 MCM + N # 500 MCM) |
| P. TIERRA:         | 1 # 2 AWG                    |

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 Conclusiones

El sistemas eléctrico actual de la planta no presenta ningún inconveniente, los transformadores ya existen cubren la demanda de las cargas a 220 V.

El diseño de la subestación en media tensión ayuda a la empresa Pinturas Unidas a cubrir con la demanda de la nueva línea de producción.

El diseño de la subestación será basado en las norma técnicas para la instalación de una subestación de media tensión.

El rediseño del cuarto de trasformadores tiene que cumplir con la norma NATSIM que se mencionó en capítulo 3.

Para una buena selección de los equipos es importante determinar la capacidad y características de las cargas.

El estudio del diseño de Puesta a Tierra es vital para toda instalación, se debe tener en cuenta el tipo de equipo que se va aterrizar, ya que la puesta a tierra para todos no es la misma.

## 7.2 Recomendaciones

Tener en cuenta la regulación del banco de capacitores, para evitar penalizaciones por parte de CNEL-EP- Unidad de Negocio Guayaquil.

Una vez que se tenga la nueva línea de producción funcionando, se recomienda la instalación de un banco de capacitores para las cargas a 460V para la corrección del factor de potencia.

Pinturas Unidas debería tener una mejor organización en el tablero T.T.1, ya esto ayudará a encontrar de una manera más sencilla los problemas de cortocircuito o sobrecarga.

La implantación de celdas de M/T en SF6 es una gran alternativa para la instalación de subestaciones en Industrias.

Pinturas Unidas es una empresa cuya producción tiende a seguir creciendo, al incrementar la producción las maquinas trabajan simultáneamente e incluso se puede necesitar la implantación de nuevas cargas, por lo se recomienda a la empresa la construcción de su propia subestación en alta de tensión.

Se recomienda la instalación de una puesta a tierra en configuración de triangulo, ya es más eficiente cuando se presentan sobretensiones, ayuda a reducir los ohmiaje y efectos electromagnéticos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTAMIRANO PEREZ, J. L. (SEPTIEMBRE de 2011). *DISEÑO DEL NUEVO LABORATORIO DE PREUBAS PARA TRANSFORMADORES DE POTENCIA Y DE ALIMENTACION INDEPENDIENTE PARA EL LABORATORIO DE PRUEBAS EXISTENTE DE LA EMPRES ECUATRAN S.A.* Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4074/1/CD-3820.pdf>
- AYALA PEREZ, I. B., & GAVILANES AGUACONDO, A. P. (OCTUBRE de 2008). *Aplicación de normas para el diseño de los sistemas de redes electricas y comunicación del edificio para laboratorios y talleres del colegio Salesiano de la ciudad de cuenca.* . Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/290/15/Tesis.pdf>
- Canaza Caldas , J. (14 de Noviembre de 2012). *Diseño y Construcción de Maquinas Electricas.* Obtenido de <http://electricidad2012ccf.blogspot.com/2012/11/canaza-caldas-juan.html>
- Chapman, S. J. (2005). Máquinas Eléctricas. En *Máquinas Eléctricas* (págs. 65-142). Mc Graw Hill.
- Concha, P. (s.f.). *Univerisidad Bio-Bio.* Obtenido de [http://patricioconcha.ubb.cl/eleduc/public\\_www/capitulo1/interruptores.html](http://patricioconcha.ubb.cl/eleduc/public_www/capitulo1/interruptores.html)
- Días, P. (2001). Soluciones Prácticas para la Puesta a Tierra de Sistemas Eléctricos de Distribución. En *Soluciones Prácticas para la Puesta a Tierra de Sistemas Eléctricos de Distribución* (pág. Capítulo 1). Mexico: Mc Graw Hill.
- DÍAZ, P. (2001). DISEÑO DE UNA MALLA DE PUESTA A TIERRA. En P. DÍAZ, *SOLUCIONES PRÁCTICAS PARA LA PUESTA A TIERRA DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN* (págs. 297-310). MEXICO: MC GRAW HILL.
- Fuentes, R. M. (5 de Abril de 2014). *Scribd.* Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/216525613/0200-Estimacion-demanda-electrica>
- Guzmán Maridueña , M. J. (Marzo de 2015). Metodología para el cálculo de un sistema de puesta a tierra para subestación de 69 Kv con diseño de norma IEEE 80-2000. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Harper, E. (2005). Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=004QQ8n1D3oC&pg=PA157&lpg=PA157&dq=interruptores+de+tanque+muerto+y+tanque+vivo+con+cepto&source=bl&ots=szLHmdsVW&sig=WoGAsyYrFbHG9RGig5cXQ>

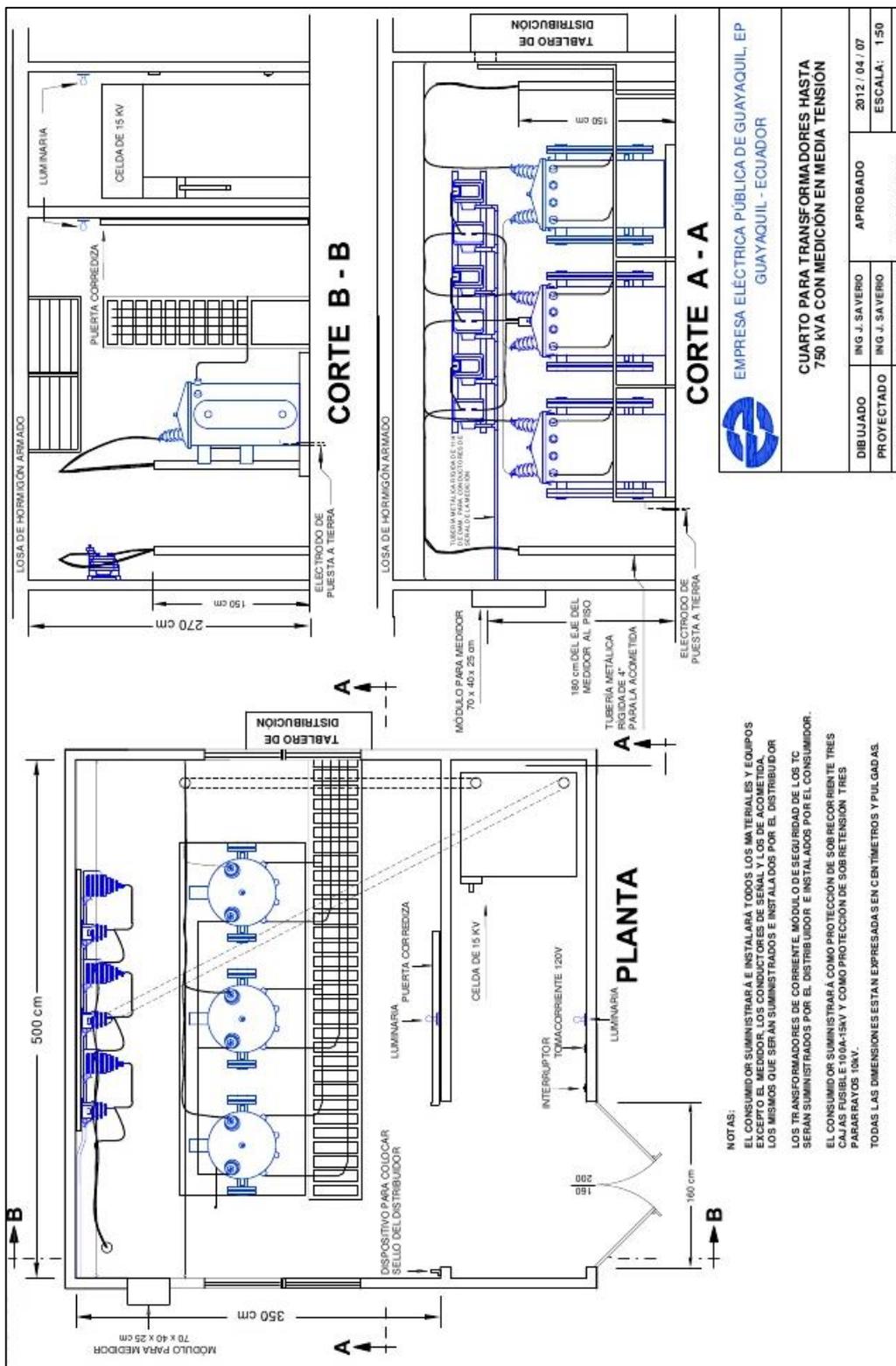
SpOWYw&hl=es&sa=X&ved=0CBwQ6AEwAGoVChMIINiU58n8xglVw  
iceCh1rrA\_v#v=onepage&q=int

- Jimenez, O. (s.f.). *Universida Autonoma de nuevo leon*. Obtenido de <http://gama.fime.uanl.mx/~omeza/pro/SE/4.pdf>
- LOPEZ FUENTE, A. V., & VITERI MORALES, G. A. (2010). *APLICACIÓN DE FUSIBLES E INTERRUPTORES TEMOMAGNÉTICOS*. Obtenido de [http://www.cib.espol.edu.ec/digipath/d\\_tesis\\_pdf/d-90818.pdf](http://www.cib.espol.edu.ec/digipath/d_tesis_pdf/d-90818.pdf)
- LPD. (2015). Obtenido de <http://lpdargentina.com.ar/productos/pat-triangulo/>
- LPD, S. (2015). Obtenido de <http://lpdargentina.com.ar/productos/pat-pata-de-ganso/>
- Medina Martínez, C., Hernández Hernández , R., & Rabanal Alcántara, J. (2009). *Sistema de Tierras Aplicando a una Subestación Eléctrica de Potencia 230/23 KV*. Obtenido de Instituto Politécnico Nacional: <http://itzamna.bnct.ipn.mx/dspace/bitstream/123456789/4464/1/SISTEMADETIERRAS.pdf>
- Mogollón Escobar, M. (2006). *DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA Y PARARRAYOS PARA EL EDIFICIO “BLOQUE DE AULAS A Y B” DE LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/884/1/T-ESPE-014318.pdf>
- MORELLI, R. D. (s.f.). *EXTRACTO DE LA REGLAMENTACIÓN DE LA AEA (Asociación Electrotécnica Argentina) PARA LA EJECUCIÓN DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN INMUEBLES AEA 90364- Parte 7- Sección 771 - Edición 2006*. Obtenido de [http://www.fceia.unr.edu.ar/desire/Apunte\\_ProyectoInstalacionesElectricas.pdf](http://www.fceia.unr.edu.ar/desire/Apunte_ProyectoInstalacionesElectricas.pdf)
- MOSQUERA TELLO, P. M., & PADILLA PADILLA, E. J. (MAYO de 2007). *PROYECTO DE REGLAMENTO DE INTALACIONES ELECTRICAS INTERIORES, APLICADO A LA CENTROSUR S.A, BASADO EN LA INTERPRETACION DEL CODIGO NEC*. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/261/13/Tesis.pdf>
- NATSIM. (2012). *Normas de Acometidas Cuartos de Transformadores y Sistema de Medición para el Suministro de Electricidad*. Guayaquil: Empresa Eléctrica Pública de Guayaquil EP.
- NTC 2050. (s.f.). *Ingenieria Bligoo*. Obtenido de [http://ingenieria.bligoo.com.co/media/users/19/962117/files/219177/NTC\\_2050.pdf?#zoom=81&statusbar=0&navpanes=0&messages=0](http://ingenieria.bligoo.com.co/media/users/19/962117/files/219177/NTC_2050.pdf?#zoom=81&statusbar=0&navpanes=0&messages=0)
- ORMAZABAL. (3 de FEBRERO de 2015). *Instrucciones generales de sistema cgm.3-Celdas de media tensión aisladas en SF6*. Obtenido de <http://www.ormazabal.com/sites/default/files/descargas/ig-136-es-09.pdf>

- Ramirez Castaño , J., & Cano Plata, E. (2010). *SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DISEÑADO CON IEE 80 EVALUADO POR MEF*. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/4770/3/eduardoantonioocanoplata.2010.pdf>
- Rodríguez, L. A. (2014). *Análisis Integral de la Operación de los Cuartos de transformacion electrica, Plan de mejora de la faculta de medicina UCSG*. Obtenido de Repositorio UCSG: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/123456789/1785/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-19.pdf>
- Salinas Rojas, E., & Cabrera Tituana, R. (2014). *Metodología para el diseño de sistemas de pueta a tierra para baja tensión*. Obtenido de [http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/9054/1/Cabrera\\_Tituana\\_Ronny\\_Israel\\_Salinas\\_Rojas\\_Emilio\\_Jose.pdf](http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/9054/1/Cabrera_Tituana_Ronny_Israel_Salinas_Rojas_Emilio_Jose.pdf)
- SCHNEIDER ELECTRIC. (2009). *SISTEMAS DE DISTRBUCION EN MEDIA TENSIÓN*. Obtenido de [http://www.schneider-electric.com.pe/documents/local/catalogo-de09/cap.\\_7\\_sistema\\_de\\_distribucion\\_en\\_media\\_tension.pdf](http://www.schneider-electric.com.pe/documents/local/catalogo-de09/cap._7_sistema_de_distribucion_en_media_tension.pdf)
- SCHNEIDER ELECTRIC. (s.f.). *PowerPact® H- and J-Frame-Catalog*. Schneider Electric.
- Tiuquinga Pomatoca, M. (2010). *SISTEMA PUESTA A TIERRA PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINASELÉCTRICAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/618/1/38T00232.pdf>
- Villegas, M. (2003). *Subestaciones de Alta y Extra alta Tension*.

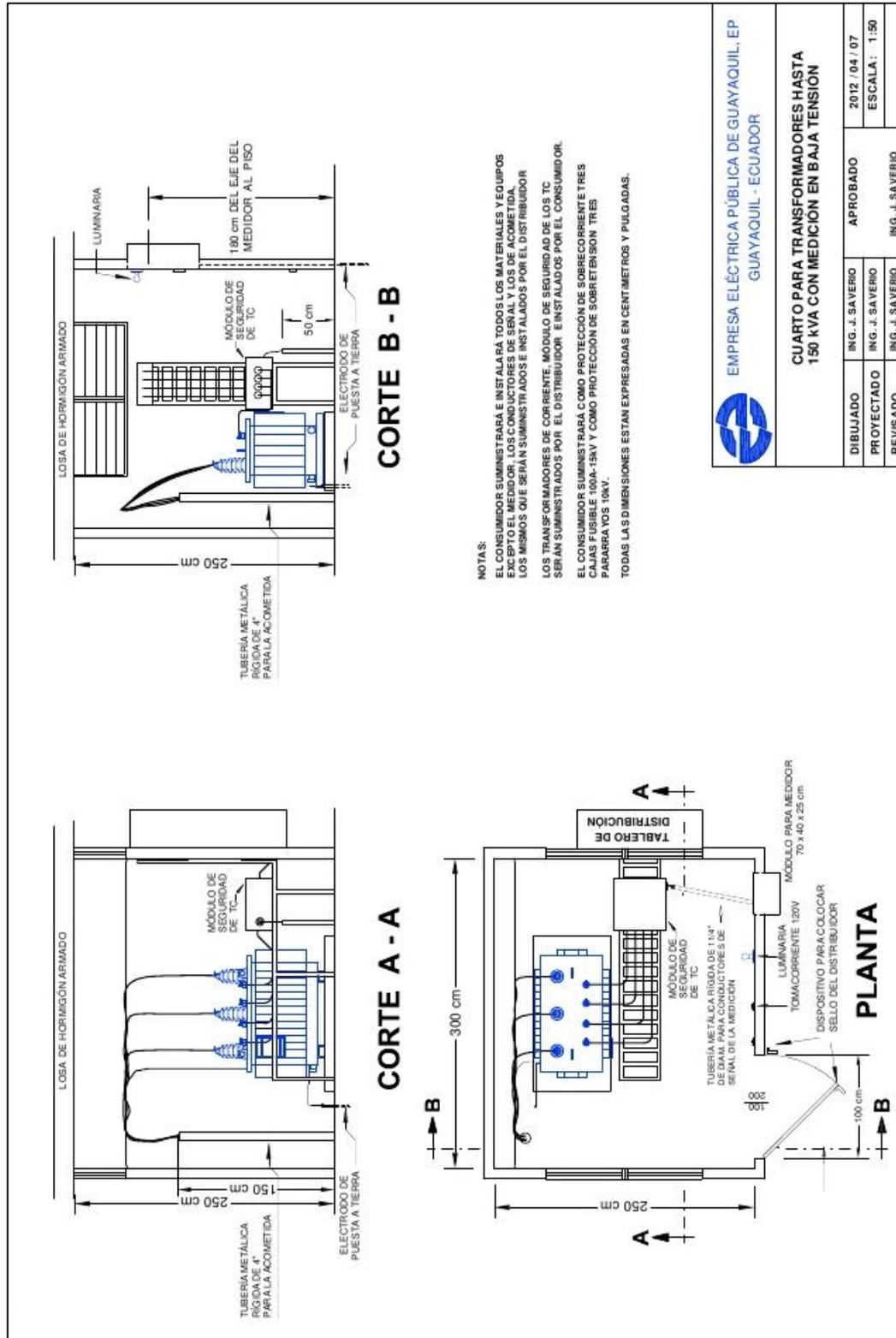
ANEXOS

Anexo 1: Cuarto para Transformadores de hasta 750 KVA



Fuente: (NATSIM, 2012)

Anexo 2: Cuarto para Transformadores de hasta 150 KVA



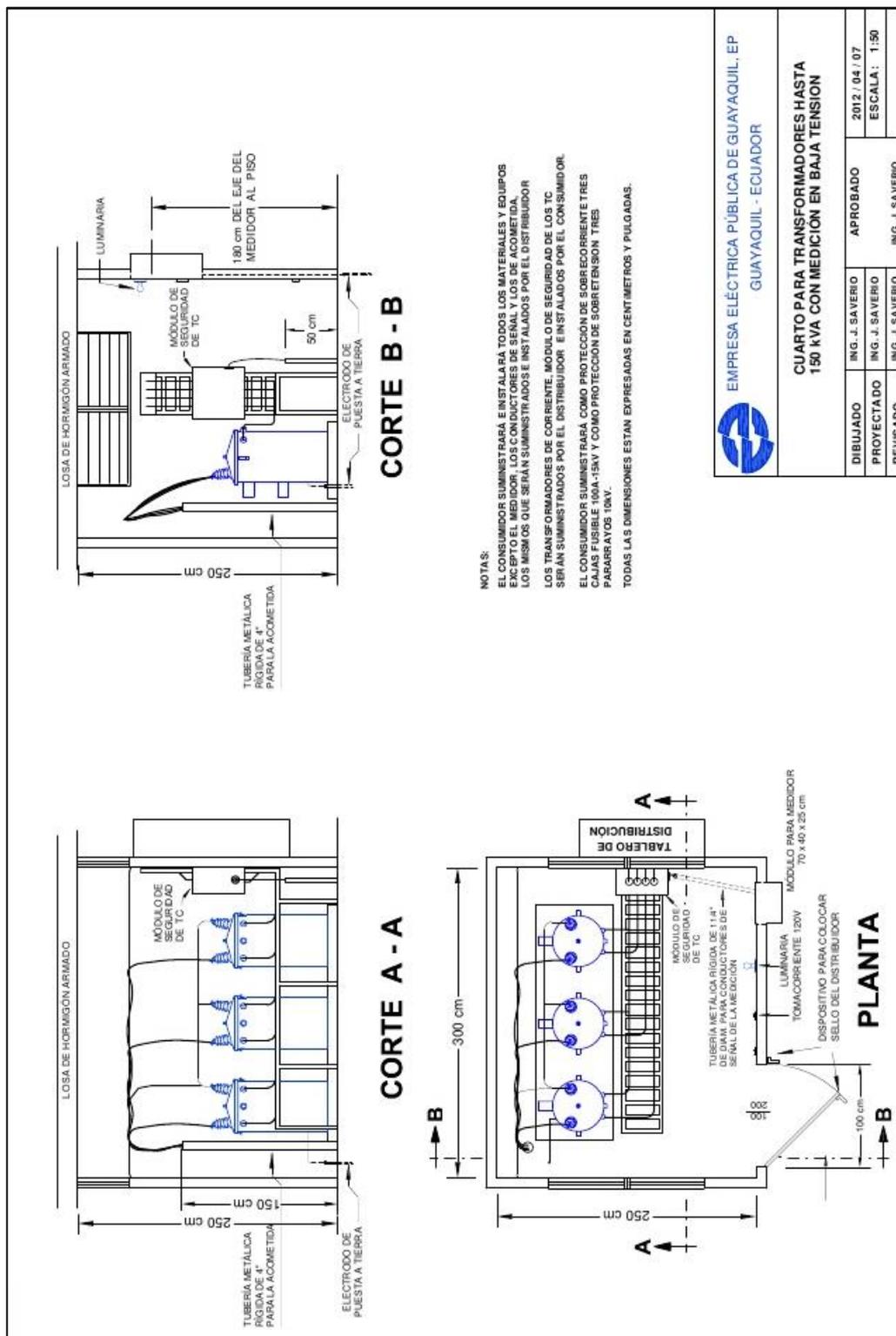
Fuente: (NATSIM, 2012)

**EMPRESA ELÉCTRICA PÚBLICA DE GUAYAQUIL, EP**  
GUAYAQUIL - ECUADOR

**CUARTO PARA TRANSFORMADORES HASTA 150 KVA CON MEDICIÓN EN BAJA TENSION**

|            |                 |                 |                |
|------------|-----------------|-----------------|----------------|
| DIBUJADO   | ING. J. SAVERIO | APROBADO        | 2012 / 04 / 07 |
| PROYECTADO | ING. J. SAVERIO |                 | ESCALA : 1:50  |
| REVISADO   | ING. J. SAVERIO | ING. J. SAVERIO |                |

Anexo 3: Cuarto para Transformadores hasta 150 KVA



Fuente: (NATSIM, 2012)

## Anexo 4: Tabla de constantes de los materiales conductores

| DESCRIPCION                                    | Conductividad del material (%) | Factor $\alpha_{ra}$ 20°C (1/°C) | $K_{200^\circ\text{C}}$ (°C) | Temperatura de fusión $T_m$ (°C) | $\rho_{ra}$ 20°C ( $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ ) | Capacidad térmica TCAP [J/ $\text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ ] |
|--|--------------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|--|---|
| Cobre destemplado trenzado suave               | 100                            | 0,00393                          | 234                          | 1083                             | 1,72   | 3,42  |
| Cobre comercial trenzado duro                  | 97                             | 0,00381                          | 242                          | 1084                             | 1,78   | 3,42  |
| Alambre de acero con revestimiento de cobre    | 40                             | 0,00378                          | 245                          | 1084                             | 4,4  | 3,85  |
| Alambre de acero con revestimiento de cobre    | 30                             | 0,00378                          | 245                          | 1084                             | 5,86   | 3,85  |
| Varilla de acero con revestimiento de cobre    | 20                             | 0,0078                           | 245                          | 1084                             | 8,62   | 3,85  |
| Aluminio de grado EC                           | 61                             | 0,00403                          | 228                          | 657                              | 2,86   | 2,56  |
| Aleación de aluminio 5005                      | 53,5                           | 0,00353                          | 263                          | 652                              | 3,22   | 2,6   |
| Aleación de aluminio 6201                      | 52,5                           | 0,00347                          | 268                          | 654                              | 3,28   | 2,6   |
| Alambre de acero con revestimiento de aluminio | 20,3                           | 0,0036                           | 258                          | 657                              | 8,48   | 3,58  |
| Acero 1020                                     | 10,8                           | 0,0016                           | 605                          | 1510                             | 15,9   | 3,28  |
| Varilla de acero con revestimiento inoxidable  | 9,8                            | 0,0016                           | 605                          | 1400                             | 17,5   | 4,44  |
| Varilla de acero con capa de zinc              | 8,6                            | 0,0032                           | 293                          | 419                              | 20,1   | 3,93  |
| Acero inoxidable 304                           | 2,4                            | 0,0013                           | 749                          | 1400                             | 72   | 4,03  |

Fuente: (Guzmán Maridueña , 2015)

Anexo 5: Capacidad Amperimetrica de Barrajes rectangulares en Cu para armarios.

| Ancho x<br>espesor | Area<br>mm <sup>2</sup> | Peso<br>kg/m   | Corriente alterna 60 Hz |            |            |            |  |                       |                       |                       |
|--------------------|-------------------------|----------------|-------------------------|------------|------------|------------|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                    |                         |                | Barras                  |            |            |            | Ix<br>cm <sup>4</sup>  | Wx<br>cm <sup>3</sup> | Iy<br>cm <sup>4</sup> | Wy<br>cm <sup>3</sup> |
|                    |                         |                | Pintada                 |            | Desnuda    |            |  |                       |                       |                       |
|                    |                         |                | 1<br>I                  | 2<br>II    | 1<br>I     | 2<br>II    |  |                       |                       |                       |
| 12x2<br>15x2       | 23,5<br>29,5            | 0,209<br>0,262 | 123<br>148              | 202<br>240 | 108<br>128 | 182<br>212 | 0,0288<br>0,0563   | 0,048<br>0,0750       | 0,000800<br>0,00100   | 0,000800<br>0,00101   |
| 15x3               | 44,5                    | 0,396          | 187                     | 316        | 162        | 282        | 0,0844   | 0,113                 | 0,00388               | 0,0225                |
| 20x2               | 39,5                    | 0,351          | 189                     | 302        | 162        | 264        | 0,133  | 0,133                 | 0,00133               | 0,0133                |
| 20x3               | 59,5                    | 0,529          | 237                     | 394        | 204        | 348        | 0,200  | 0,200                 | 0,0045                | 0,0300                |
| 20x5               | 99,1                    | 0,882          | 319                     | 560        | 274        | 500        | 0,333  | 0,333                 | 0,0208                | 0,0833                |
| 20x10              | 199                     | 1,77           | 497                     | 924        | 427        | 825        | 0,667  | 0,667                 | 0,167                 | 0,333                 |
| 25x3               | 74,5                    | 0,663          | 287                     | 470        | 245        | 412        | 0,391  | 0,313                 | 0,00563               | 0,0375                |
| 25x5               | 124                     | 1,11           | 384                     | 662        | 327        | 586        | 0,651  | 0,521                 | 0,026                 | 0,104                 |
| 30x3               | 89,5                    | 0,796          | 337                     | 544        | 285        | 476        | 0,675  | 0,450                 | 0,00675               | 0,0450                |
| 30x5               | 149                     | 1,33           | 447                     | 760        | 379        | 672        | 1,13   | 0,750                 | 0,0313                | 0,125                 |
| 30x10              | 299                     | 2,66           | 676                     | 1200       | 573        | 1060       | 2,25   | 1,50                  | 0,250                 | 0,500                 |
| 40x3               | 119                     | 1,06           | 435                     | 692        | 366        | 600        | 1,60   | 0,800                 | 0,00900               | 0,0600                |
| 40x5               | 199                     | 1,77           | 573                     | 952        | 482        | 836        | 2,67   | 1,33                  | 0,0417                | 0,167                 |
| 40x10              | 399                     | 3,55           | 850                     | 1470       | 715        | 1290       | 5,33   | 2,67                  | 0,333                 | 0,667                 |
| 50x5               | 249                     | 2,22           | 697                     | 1140       | 583        | 994        | 5,21   | 2,08                  | 0,0521                | 0,208                 |
| 50x10              | 499                     | 4,44           | 1020                    | 1720       | 852        | 1510       | 10,4   | 4,17                  | 0,417                 | 0,833                 |
| 60x5               | 299                     | 2,66           | 826                     | 1330       | 688        | 1150       | 9,00   | 3,00                  | 0,0625                | 0,250                 |
| 60x10              | 599                     | 5,33           | 1180                    | 1960       | 985        | 1720       | 18,00  | 6,00                  | 0,500                 | 1,00                  |
| 80x5               | 399                     | 3,55           | 1070                    | 1680       | 885        | 1450       | 31,3   | 5,33                  | 0,0833                | 0,33                  |
| 80x10              | 799                     | 7,11           | 1500                    | 2410       | 1240       | 2110       | 42,7   | 10,7                  | 0,667                 | 1,33                  |
| 100x5              | 499                     | 4,44           | 1300                    | 2010       | 1080       | 1730       | 41,7   | 8,33                  | 0,104                 | 0,417                 |
| 100x10             | 99                      | 8,89           | 1810                    | 2850       | 1490       | 2480       | 83,3   | 16,66                 | 0,833                 | 1,67                  |
| 120x10             | 1200                    | 10,7           | 2110                    | 3280       | 1740       | 2860       | 144  | 23,9                  | 1,00                  | 2,00                  |
| 160x10             | 1600                    | 14,2           | 2700                    | 4130       | 2220       | 3590       | 341  | 42,7                  | 1,33                  | 2,67                  |
| 200x10             | 2000                    | 17,8           | 3290                    | 4970       | 2690       | 4310       | 667  | 66,7                  | 1,67                  | 3,33                  |

## PLANOS

Anexo E1 - Plano de la Implantación Actual

Anexo E2 - Plano Actual de los cuartos de Transformador, Generador,

Tableros de Distribución

Anexo E3 - Diagrama Unifilar Actual

Anexo E4 – Plano de Implantación propuesto

Anexo E5 - Plano propuesto para Cuarto de Transformador, Generador,

Tableros de Distribución

Anexo E6 – Diagrama Unifilar propuesto