



# **Diseño e implementación del módulo de mando, control y medida de un banco de prácticas y pruebas eléctricas para transformadores monofásicos y trifásicos**

**Alejandro Lizarazo Vargas  
John Alexander Susa Murcia**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Bogotá, Colombia  
Año 2020

# **Diseño e implementación del módulo de mando, control y medida de un banco de prácticas y pruebas eléctricas para transformadores monofásicos y trifásicos**

**Alejandro Lizarazo Vargas  
John Alexander Susa Murcia**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Electromecánico**

Director:

I.E. Carlos Alberto Avendaño Avendaño

Línea de Investigación:

Máquinas Eléctricas

Grupo de Investigación:

REM (Research on Energy and Materials)

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Bogotá, Colombia  
Año 2020

## DEDICATORIA

*“Dedico este proyecto de grado a mis padres que me apoyaron y me enseñaron a luchar y perseverar por mis proyectos y metas, a mi amada esposa Elena Marín quien me ha brindado su amor y comprensión, a mis hijos que son el motor de mi vida y la fuente de mi motivación, esfuerzo e inspiración, a mis compañeros y amigos que estuvieron conmigo apoyándome a lo largo de este camino.”*

*John Alexander Susa Murcia*

## DEDICATORIA

*Después de tantos años de esfuerzos y sacrificios, gracias a DIOS, por fin llegó el momento con el que siempre soñé: graduarme de Ingeniero y tener la oportunidad de escribir una dedicatoria como forma de agradecimiento a las personas que amo. Quiero dedicar este logro al amor de mi vida, mi hermosa esposa, Laura Barragán, por darme siempre su cariño, soporte y aliento incondicional durante todos estos años; a mi querida madre, quien con su amor y apoyo me ayudo a no desistir en los momentos más difíciles; a mis amados hijos quienes me inspiran, me motivan y me llenan de satisfacción y alegría todos los días; a mis compañeros y amigos, con quienes compartí esfuerzos, conocimientos y muchos buenos momentos; y a todas aquellas personas que me animaron y apoyaron.*

*Alejandro Lizarazo Vargas*

# Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a:

- A la empresa Ingeniería Derivada por permitirnos utilizar sus recursos para la ejecución de nuestro proyecto de grado.
- Al ingeniero Carlos Avendaño por su constante apoyo como director de proyecto en el desarrollo del mismo.
- Al ingeniero Germán Gutiérrez por las críticas de diseño y construcción como evaluador de nuestro proyecto de grado.
- Al ingeniero Carlos Acosta director de proyectos de la empresa Gestión y Diseños Eléctricos SAS por el apoyo y colaboración en el desarrollo del proyecto.
- A la Universidad Antonio Nariño, Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica y al cuerpo docente.
- A nuestras familias y amigos.
- A todas las personas que intervinieron y nos apoyaron en este proyecto.

## Resumen

En el presente trabajo de grado se realiza el diseño y construcción de un banco didáctico de pruebas con parámetros básicos y con sus respectivos prototipos para transformadores secos monofásicos y trifásicos, el cual permite ver las características eléctricas de un transformador de potencia.

Se recopila la información técnica del banco disponible en el laboratorio, además de los diferentes elementos y materiales necesarios para la construcción de los módulos y prototipos que conformarían el banco de pruebas, según la práctica a realizar.

De acuerdo con la teoría de máquinas eléctricas, las normas existentes que se aplican para las pruebas eléctricas de transformadores secos y las normas de seguridad que se deben tener en cuenta para su correcto funcionamiento, se realiza el diseño garantizando el funcionamiento y la seguridad requerida para poder desarrollar las prácticas de laboratorio. Se realiza la selección de los componentes eléctricos para obtener el prototipo modelado en el software Autodesk Inventor Professional para iniciar con la fabricación de la metalmecánica y posterior ensamble, luego se procede con la elaboración de los planos eléctricos de potencia y control en el software EPLAN Electric para realizar el respectivo conexionado.

Se realizan quince guías de laboratorio por prueba y/o práctica, para tener una referencia teórico-práctica de los parámetros eléctricos en el modelo real de un transformador de tensión.

**Palabras clave: (Diseño, construcción, transformador y banco de pruebas).**

## Abstract

In this degree work, the design and construction of a didactic test bench with basic parameters and their respective prototypes for single-phase and three-phase dry transformers is carried out, which allows to see the electrical characteristics of a power transformer.

The technical information of the bench available in the laboratory is compiled, in addition to the different elements and materials necessary for the construction of the modules and prototypes that would make up the test bench, according to the practice to be carried out.

In accordance with the theory of electrical machines, the existing standards that apply for the electrical tests of dry transformers and the safety standards that must be taken into account for their correct operation, the design is carried out guaranteeing the operation and the safety required for be able to develop laboratory practices. The selection of the electrical components is made to obtain the prototype modeled in the Autodesk Inventor Professional software to start with the manufacture of the metalworking and subsequent assembly, then proceed with the elaboration of the electrical power and control plans in the EPLAN Electric software to make the respective connection.

Fifteen laboratory guides are carried out per test and / or practice, to have a theoretical-practical reference of the electrical parameters in the real model of a voltage transformer.

**Keywords: (Design, construction, transformer and test bench).**

# Contenido

|   |             |
|---|-------------|
| <b>Resumen</b> .....  | <b>VI</b>   |
| <b>Abstract</b> .....   | <b>VII</b>  |
| <b>Lista de figuras</b> .....   | <b>X</b>    |
| <b>Lista de tablas</b> .....  | <b>XII</b>  |
| <b>Introducción</b> .....   | <b>XIII</b> |
| <b>1. Capítulo 1: Diseño de la investigación</b> .....                        | <b>16</b>   |
| 1.1 Justificación:.....   | 16          |
| 1.2 Objetivos:.....   | 17          |
| 1.2.1 Objetivo general: .....   | 17          |
| 1.2.2 Objetivos específicos: .....  | 17          |
| <b>2. Capítulo 2: Marco teórico</b> .....                                     | <b>18</b>   |
| 2.1 Transformador.....  | 18          |
| 2.1.1 Tipos y construcción de transformadores .....                           | 19          |
| 2.2 El transformador ideal.....   | 21          |
| 2.2.1 Transformación de impedancia a través de un transformador .....         | 23          |
| 2.2.2 Transformación de voltaje a través de un transformador .....            | 24          |
| 2.2.3 Transformación de corriente a través de un transformador .....          | 25          |
| 2.3 El transformador real.....  | 25          |
| 2.3.1 Circuito equivalente del transformador .....                            | 26          |
| 2.3.2 Regulación de voltaje del transformador .....                           | 31          |
| 2.3.3 Eficiencia del transformador.....                                       | 32          |
| 2.3.4 Diagrama fasorial del transformador.....                                | 32          |
| 2.3.5 Valores nominales en un transformador .....                             | 34          |
| 2.4 Transformadores trifásicos .....  | 36          |
| 2.4.1 Conexiones de transformadores trifásicos.....                           | 37          |
| <b>3. Capítulo 3: Normas y parámetros para elaboración de prácticas</b> ..... | <b>42</b>   |
| 3.1 Ensayos del transformador .....   | 42          |
| 3.2 Norma técnica colombiana NTC 380.....                                     | 43          |
| 3.2.1 Transformadores eléctricos, ensayos eléctricos y generalidades.....     | 43          |
| 3.2.2 Condiciones generales.....  | 43          |

---

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 3.2.3     | Requisitos .....  | 44        |
| 3.2.4     | Medida de la resistencia de los devanados (norma NTC 375) .....   | 48        |
| 3.2.5     | Relación de transformación, comprobación de polaridad y relación de fase.<br>(norma NTC 471).....           | 49        |
| 3.2.6     | Medición de las tensiones de corto circuito y medición de las pérdidas con<br>carga. (norma NTC 1005) ..... | 57        |
| 3.2.7     | Ensayo para la determinación de pérdidas y corriente sin carga “en vacío”.<br>(norma NTC 1031).....         | 61        |
| <b>4.</b> | <b>Capítulo 4: Diseño e implementación .....</b>  | <b>70</b> |
| 4.1       | Diseño eléctrico.....   | 71        |
| 4.1.1     | Ensayo de vacío .....   | 72        |
| 4.1.2     | Ensayo de cortocircuito .....   | 73        |
| 4.1.3     | Ensayos módulo trifásico .....  | 76        |
| 4.2       | Diseño mecánico.....  | 85        |
| 4.2.1     | Construcción.....   | 85        |
| 4.2.2     | Ensamble.....   | 89        |
| 4.2.3     | Conexionado.....  | 91        |
| <b>5.</b> | <b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>   | <b>92</b> |
| 5.1       | Conclusiones.....   | 92        |
| 5.2       | Recomendaciones .....   | 93        |
|           | <b>Bibliografía .....</b>   | <b>94</b> |
| <b>6.</b> | <b>Anexos .....</b>   | <b>96</b> |

## Lista de figuras

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| <b>Figura 2-1</b> Construcción de un transformador tipo núcleo.....   | 19          |
| <b>Figura 2-2</b> Construcción de un transformador tipo acorazado. ....   | 20          |
| <b>Figura 2-3</b> Representación de un transformador ideal. ....  | 21          |
| <b>Figura 2-4</b> Curva de histéresis magnética.....  | 27          |
| <b>Figura 2-5</b> Modelo de un transformador real.....  | 29          |
| <b>Figura 2-6</b> Circuitos equivalentes para un transformador de potencia.....   | 30          |
| <b>Figura 2-7</b> Diagrama fasorial de un transformador con un factor de potencia en<br>atraso. ....  | 33          |
| <b>Figura 2-8</b> Diagrama fasorial de un transformador con un factor de potencia a)<br>unitario y b) en adelante. ....                     | 34          |
| <b>Figura 2-9</b> Banco trifásico de transformador compuesto por tres transformadores<br>independientes.....                                | 36          |
| <b>Figura 2-10</b> Transformador trifásico construido sobre un núcleo de tres columnas. ..  | 37          |
| <b>Figura 2-11</b> Diagramas de conexión y de cableado de un transformador trifásico Y-Y<br>38  |             |
| <b>Figura 2-12</b> Diagramas de conexión y de cableado de un transformador trifásico Y- $\Delta$<br>39                                      |             |
| <b>Figura 2-13</b> Diagramas de conexión y de cableado de un transformador trifásico $\Delta$ -Y<br>40                                      |             |
| <b>Figura 2-14</b> Diagramas de conexión y de cableado de un transformador trifásico $\Delta$ - $\Delta$<br>41                              |             |
| <b>Figura 3-1</b> Representación del circuito para determinar la resistencia de los<br>devanados por el método de la caída de tensión. .... | 49          |
| <b>Figura 3-2</b> Esquema del circuito utilizado en el método del divisor patrón. ....  | 52          |
| <b>Figura 3-3</b> Esquema del circuito utilizado en la determinación de la polaridad con el<br>método de descarga inductiva.....            | 53          |
| <b>Figura 3-4</b> Polaridad aditiva.....  | 54          |
| <b>Figura 3-5</b> Polaridad sustractiva.....  | 54          |

|                    |  |    |
|--------------------|--|----|
| <b>Figura 3-6</b>  | Conexiones y diagramas fasoriales de tensión en transformadores trifásicos                                     | 55 |
| <b>Figura 3-7</b>  | Conexiones y diagramas fasoriales de tensión en transformadores hexafásicos                                    | 56 |
| <b>Figura 3-8</b>  | Diagrama para prueba de corto-circuito .....   | 59 |
| <b>Figura 3-9</b>  | Diagrama para prueba de corto-circuito en transformador trifásico con tensión trifásica                        | 61 |
| <b>Figura 3-10</b> | Ilustración de instalación cuando no se requiere transformador de medida                                       | 63 |
| <b>Figura 3-11</b> | Ilustración de instalación cuando se requiere transformador de medida  | 64 |
| <b>Figura 3-12</b> | Esquema de conexión de tres vatímetros para obtener las pérdidas sin carga en transformadores trifásicos. .... | 67 |
| <b>Figura 4-1</b>  | Circuito equivalente aproximado observado desde el lado de alto voltaje  | 75 |
| <b>Figura 4-2</b>  | Circuito equivalente aproximado observado desde el lado de bajo voltaje  | 75 |
| <b>Figura 4-3</b>  | Circuito equivalente exacto del transformador .....  | 76 |
| <b>Figura 4-4</b>  | Disposición de los devanados, así como voltajes de fase y de línea. ....                                       | 78 |
| <b>Figura 4-5</b>  | Circuito equivalente por fase. ....  | 78 |
| <b>Figura 4-6</b>  | Disposición de los devanados. ....   | 79 |
| <b>Figura 4-7</b>  | Representación equivalente Y/Y. ....   | 79 |
| <b>Figura 4-8</b>  | Circuito equivalente por fase. ....  | 80 |
| <b>Figura 4-9</b>  | Disposición de los devanados. ....   | 81 |
| <b>Figura 4-10</b> | Representación equivalente Y/Y. ....   | 81 |
| <b>Figura 4-11</b> | Circuito equivalente por fase. ....  | 82 |
| <b>Figura 4-12</b> | Disposición de los devanados. ....   | 83 |
| <b>Figura 4-13</b> | Representación equivalente Y/Y. ....   | 83 |
| <b>Figura 4-14</b> | Circuito equivalente por fase. ....  | 84 |
| <b>Figura 4-15</b> | Vista frontal del banco de prácticas y pruebas eléctricas para transformadores .....                           | 86 |
| <b>Figura 4-16</b> | Vista posterior del banco de prácticas y pruebas eléctricas para transformadores .....                         | 87 |
| <b>Figura 4-17</b> | Despiece del banco de prácticas y pruebas eléctricas para transformadores .....                                | 88 |
| <b>Figura 4-18</b> | Panel de conexión del banco de prácticas y pruebas eléctricas para transformadores .....                       | 89 |
| <b>Figura 4-19</b> | Banco de prácticas y pruebas eléctricas para transformadores .....   | 90 |

# Lista de tablas

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| <b>Tabla 3-1</b> (Clasificación de los ensayos y NTC sobre los métodos de ensayo) fuente NTC 380. 45 |             |
| <b>Tabla 3-2</b> (Tolerancias) fuente NTC 380. ....  | 46          |
| <b>Tabla 3-3</b> (Temperatura de referencia) fuente NTC 380. ....                                    | 47          |
| <b>Tabla 4-1</b> Datos obtenidos pruebas FAT. ....   | 72          |

## Introducción

En la formación universitaria de los alumnos de Ingeniería Electromecánica y Electrónica es importante aplicar una enseñanza teórico-práctica logrando obtener un aprendizaje integral. La ciencia es una labor eminentemente práctica, en principio el oficio de la ciencia se enlaza a la adquisición de conocimientos, al proceso de conocer, cuyo ideal más representativo es la verdad, lo cual hace relevante el uso del laboratorio para llegar a esa verdad, en particular la teoría científica verdadera. El objetivo principal de la utilización del laboratorio, es ayudar a los estudiantes para que puedan adaptar los métodos de investigación científica, los cuales podrán ampliar, profundizar, fortalecer y sobre todo comprobar estos fundamentos teóricos adquiridos.

De acuerdo con lo descrito anteriormente este proyecto de grado propone el diseño, fabricación y ensamble de un banco de pruebas eléctricas. Teniendo en cuenta que la característica principal de un transformador es el cambio de un nivel de voltaje alterno a otro nivel de voltaje, sin afectar la potencia que se suministra mediante la acción de un campo magnético, con el banco de pruebas se busca determinar y comprobar el principio de funcionamiento de un transformador, la relación fundamental de transformación, los valores de impedancias y resistencias mediante pruebas de polaridad, de vacío con carga, de circuito abierto y de corto circuito, estas últimas pruebas nos permiten obtener de forma experimental el modelo real del transformador.

En el estudio de los transformadores se utiliza el circuito equivalente de un transformador para obtener un modelo exacto de su comportamiento, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Pérdidas en el cobre ( $I^2R$ )
- Pérdidas por corrientes parásitas.

- Pérdidas por histéresis.
- Flujo disperso.

Para conocer las principales pérdidas en los transformadores reales se puede realizar un circuito equivalente donde se tengan en cuenta, en el cual se considere este efecto y se incluya en el modelo de transformador.

De manera experimental en el modelo del transformador se pueden obtener los valores de las resistencias e impedancias, como también se puede obtener una aproximación adecuada de estos valores por medio de dos pruebas únicamente: prueba de circuito abierto y prueba de cortocircuito, de esta manera se puede profundizar en el estudio de esta importante máquina eléctrica, como lo es el transformador.<sup>1</sup>

En la universidad se cuenta con un banco de pruebas didáctico para transformadores el cual se encuentra en las siguientes condiciones:

- Está inhabilitado.
- No tiene planos eléctricos.
- No tiene un manual de funcionamiento.
- Equipos de control incompletos.
- Equipos de medición obsoletos.
- No cuenta con las medidas de seguridad necesarias para su utilización.

Con base en lo descrito anteriormente y de acuerdo con el análisis realizado, se evaluó:

- Características técnicas de equipos.
- Estado y funcionamiento.
- Pruebas individuales para todos sus componentes eléctricos en laboratorio certificado para puesta en operación.
- Retiro del banco de las instalaciones de la universidad.

---

<sup>1</sup> Transformador: (Chapman, MÁQUINAS ELÉCTRICAS, 2004)

- Costos de inversión que garantizan el correcto funcionamiento de los equipos existentes.

Con los resultados obtenidos se realiza una comparación entre de la rehabilitación del banco existente y la fabricación de un banco de prácticas nuevo, por lo tanto, se determina que la segunda opción es la correcta porque nos garantiza que los objetivos propuestos se cumplan.

### **ANTECEDENTES:**

El uso del laboratorio para generar conocimiento es una herramienta válida e importante, sobre todo para los casos en los que los estudiantes recién graduados de bachiller y que no tengan ninguna experiencia laboral, puedan interactuar con un transformador, con instrumentos de medición reales, interpretar planos eléctricos y a partir de esto realizar conexiones eléctricas seguras.

Este tipo de proyectos se han presentado en las diferentes universidades colombianas, con el objetivo de lograr graduarse como tecnólogos o ingenieros en las carreras afines. Entre los bancos más comunes diseñados y construidos por los estudiantes para realizar prácticas eléctricas, tenemos:

- Banco para determinar y probar parámetros básicos de los sensores.
- Banco para tipos de arranque y accionamiento de motores.
- Banco para prácticas de circuitos eléctricos.

En la Universidad Antonio Nariño (sede sur), se cuenta con los bancos mencionados anteriormente, adicionalmente se tiene un banco Festo de laboratorio para máquinas eléctricas rotativas, y finalmente un banco para pruebas de máquinas eléctricas (transformadores), que se encuentra fuera de servicio.

# 1. Capítulo 1: Diseño de la investigación

## 1.1 Justificación:

El laboratorio de máquinas eléctricas es un aspecto fundamental para los estudiantes de carreras afines a la ingeniería eléctrica como lo es la ingeniería electromecánica, por esta razón se diseña e implementa un banco de pruebas eléctricas para transformadores, logrando proporcionar a la comunidad académica de la UAN un equipo práctico en máquinas eléctricas que cuente con accionamientos, instrumentos actuales y con un alto nivel de seguridad para los usuarios y el equipo, adicionalmente contara con una serie de prácticas debidamente documentadas.

En la actualidad la facultad no cuenta con un banco para recrear pruebas eléctricas a transformadores, si bien se cuenta con un banco de máquinas eléctricas de Festo, los transformadores que se encuentran allí son de muy baja potencia y los valores de las variables son muy pequeñas para los instrumentos de medida que posee, acarreando mayores errores en las mediciones.

El banco propuesto en este proyecto le permite a la universidad realizar las pruebas eléctricas a transformadores, porque cuenta con equipos, instrumentos de medición y aparatos de conexionado de última generación.

## 1.2 Objetivos:

### 1.2.1 Objetivo general:

Diseñar e implementar el módulo de mando, control y medida de un banco de prácticas y pruebas eléctricas para transformadores monofásicos y trifásicos con capacidad máxima de 2 kVA y 6 kVA respectivamente, para el laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad Antonio Nariño sede sur.

### 1.2.2 Objetivos específicos:

1. Definir y caracterizar puntualmente las prácticas que se van a realizar y qué parámetros o normas eléctricas se aplicarán.
2. Diseñar la estructura del banco de pruebas.
3. Diseñar el sistema eléctrico, mando, control y medida.
4. Seleccionar e implementar los sistemas de mando, control y medida. \*
5. Elaborar quince guías para las prácticas a realizar en el banco.

**\*Nota:** El módulo de potencia no hace parte del alcance del proyecto.

## 2. Capítulo 2: Marco teórico

### 2.1 Transformador

El transformador es considerado una máquina eléctrica estática que funciona con corriente alterna y puede cambiar la potencia eléctrica de un nivel de voltaje a otro usando el campo magnético. El transformador está constituido por dos o más arrollamientos (bobinas) llamados devanados, los cuales son denominados de acuerdo a su conexión, el que se encuentre conectado a la fuente de potencia recibe el nombre de devanado primario y al que esté conectado a la carga se llama devanado secundario, en caso de tener otro devanado este se denominara devanado terciario, sin embargo, cualquiera de los devanados se puede conectar a la fuente o a la carga.<sup>2</sup>

Los transformadores constan de dos bobinas eléctricamente aisladas compartiendo un mismo núcleo magnético, un flujo que es variable en el tiempo el cual es generado por una de ellas ocasiona una fuerza electromotriz (fem) que es inducida hacia la otra, este fenómeno se denomina voltaje. Por otra parte, la frecuencia de la fuerza electromotriz inducida en la otra bobina es igual a la corriente de la primera bobina, al conectarle una carga, la fuerza electromotriz inducida en esta bobina establece en ella una corriente. De esta manera se transfiere la energía de una bobina a la otra utilizando el campo magnético del núcleo.<sup>3</sup>

El número de vueltas que tenga el devanado es igual a la fuerza electromotriz inducida, por lo tanto, su voltaje es diferente dependiendo si este devanado es primario o secundario, para lo cual si es más elevado en el primario se habla de *transformador elevador* y en caso

---

<sup>2</sup> Transformadores: (Chapman, MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN, pág. 49)

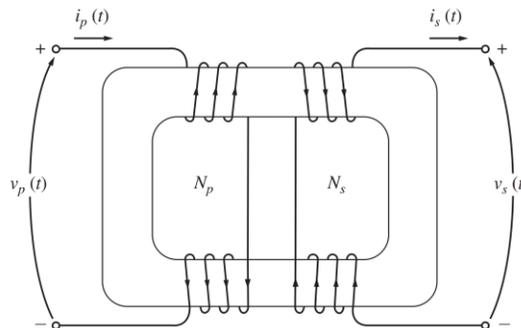
<sup>3</sup> Transformadores: (Chapman, MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN, pág. 49)

contrario se habla de *transformador reductor*. Cuando el voltaje aplicado en el primario es igual a la fuerza electromotriz inducida en el devanado secundario, se dice que este transformador es de relación uno a uno y recibe el nombre de *transformador de aislamiento*, este último transformador es usado para aislar de forma eléctrica el devanado secundario del primario.<sup>4</sup>

### 2.1.1 Tipos y construcción de transformadores

Los transformadores además de convertir la potencia alterna de un nivel de voltaje a otro, se puede utilizar para mostrar voltaje, corrientes y para transformar impedancias. Se conocen dos tipos de construcción para los transformadores, uno *tipo núcleo* el cual tiene una pieza rectangular laminada en acero con dos devanados enrollados en los lados del rectángulo (ver Figura 2-1) y el otro como *tipo acorazado* el cual tiene un núcleo laminado con tres columnas y las bobinas se encuentran enrolladas en la columna central (ver Figura 2-2).<sup>5</sup>

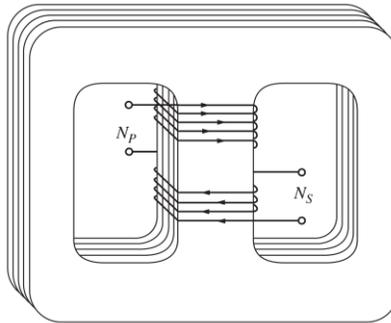
**Figura 2-1** Construcción de un transformador tipo núcleo.



**Nombre de la fuente:** Máquinas Eléctricas Quinta Edición Stephen J. Chapman

<sup>4</sup> Transformadores: (Chapman, MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN, pág. 50)

<sup>5</sup> Transformadores: (Chapman, MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN, pág. 50)

**Figura 2-2** Construcción de un transformador tipo acorazado.

**Nombre de la fuente:** Máquinas Eléctricas Quinta Edición Stephen J. Chapman

Existen diferentes nombres para los transformadores de potencia dependiendo de su utilización y relación de voltaje, *transformador de unidad*: conectado a la salida de un generador elevando el voltaje hasta niveles de transmisión de 110 kV y mayores, *transformador de subestación*: conectado al otro extremo de la línea de transmisión reduciendo el voltaje de los niveles de transmisión a los niveles de distribución de 2.3 a 34.5 kV y por último el *transformador de distribución*: que reduce de los niveles de distribución al voltaje de entrega final 110, 208, 220 V, etc.<sup>6</sup>

Adicionalmente se encuentran dos tipos de transformadores con propósitos especiales, transformador de potencial: está diseñado para mostrar un voltaje alto y generar un voltaje secundario bajo directamente proporcional y transformador de corriente: este está diseñado para suministrar una corriente secundaria menor pero proporcional a la corriente primaria.<sup>7</sup>

---

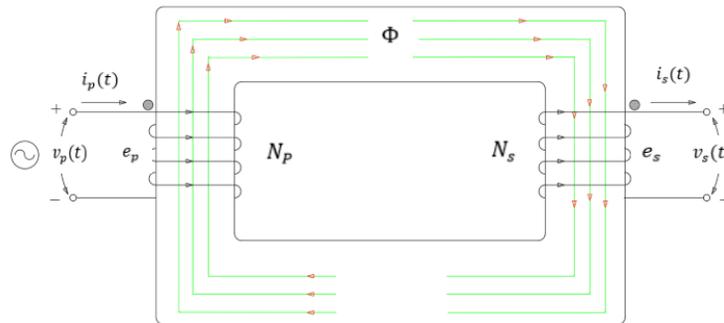
<sup>6</sup> Transformadores: (Chapman, MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN, pág. 51)

<sup>7</sup> Transformadores: (Chapman, MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN, pág. 51)

## 2.2 El transformador ideal

Un transformador ideal es un mecanismo sin pérdidas que cuenta con un devanado de entrada y un devanado de salida. La correspondencia entre el voltaje y la corriente de entrada y el voltaje y la corriente de salida, se puede describir en dos simples ecuaciones.<sup>8</sup>

**Figura 2-3** Representación de un transformador ideal.



**Nombre de la fuente:** Elaboración propia.

En la Figura 2-3 se representa gráficamente un transformador con dos devanados que trabajan cada uno como parte de un circuito eléctrico diferente.  $N_p$  vueltas de alambre en su lado primario y  $N_s$  vueltas de alambre en su lado secundario. El devanado primario está conectado a una fuente de voltaje variable en el tiempo  $v_p(t)$ , entretanto el devanado secundario se dejó abierto. Para su correcto entendimiento se asume lo siguiente:<sup>9</sup>

- El núcleo del transformador es muy permeable, lo que hace que se requiera una fuerza magnetomotriz (fmm) muy pequeña para constituir el flujo  $\Phi$  que se puede observar en la Figura 2-3.
- En el núcleo no se estiman corrientes parásitas ni pérdidas por histéresis.
- Todo el flujo está condicionado a circular dentro del núcleo.
- La resistencia de cada uno de los devanados es despreciable.

<sup>8</sup> Transformadores: (Chapman, Máquinas eléctricas tercera edición, pág. 63)

<sup>9</sup> Transformadores: (Chapman, Máquinas eléctricas tercera edición, pág. 63)

Según la ley de la inducción de Faraday, el flujo magnético  $\Phi$  en el núcleo induce una fem  $e_p$  en el devanado primario que se contrapone al voltaje aplicado  $v_p(t)$ . Para las polaridades del voltaje aplicado y la fem inducida, es permitido expresar:<sup>10</sup>

$$e_p = N_p \frac{d\Phi}{dt} \quad (2-1)$$

En forma análoga, la fem inducida en el devanado secundario es:

$$e_s = N_s \frac{d\Phi}{dt} \quad (2-2)$$

Con su respectiva polaridad según se observa en la Figura 2-3.

Para el caso ideal supuesto, las fem inducidas  $e_p$  y  $e_s$  son iguales a los voltajes en las terminales  $v_p(t)$  y  $v_s(t)$ , respectivamente, por lo tanto, de las ecuaciones 2-1 y 2-2 se produce:<sup>11</sup>

$$\frac{v_p(t)}{v_s(t)} = \frac{e_p}{e_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (2-3)$$

Lo que determina que la relación entre las fem inducidas primaria a secundaria es igual a la relación entre el número de vueltas del primario y el secundario del transformador.

Comúnmente se define la relación entre vueltas del primario y el secundario como *relación de transformación* o *relación a*, es decir:

$$\frac{N_p}{N_s} = a \quad (2-4)$$

La relación entre la corriente  $i_p(t)$  que circula en el lado primario y la corriente  $i_s(t)$  que sale del lado secundario del transformador es:

$$N_p i_p(t) = N_s i_s(t) \quad (2-5)$$

$$\frac{i_p(t)}{i_s(t)} = \frac{1}{a} \quad (2-6)$$

<sup>10</sup> Transformadores: (Chapman, Máquinas eléctricas tercera edición, pág. 63)

<sup>11</sup> Transformadores: (Chapman, Máquinas eléctricas tercera edición, pág. 64)

En términos de cantidades fasoriales, estas ecuaciones son:

$$\frac{V_p}{V_s} = a \quad (2-7)$$

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{1}{a} \quad (2-8)$$

### 2.2.1 Transformación de impedancia a través de un transformador

La impedancia de un elemento se conoce como la relación entre el voltaje y la corriente fasorial que fluye a través de él:

$$Z_L = V_L / I_L \quad (2-9)$$

En los transformadores la impedancia aparente cambia, de acuerdo al cambio de los niveles de voltaje y corriente, lo cual también genera un cambio en su relación. Si el voltaje secundario es  $V_s$  y la corriente secundaria es  $I_s$ , entonces la impedancia de la carga se representa como:<sup>12</sup>

$$Z_L = V_s / I_s \quad (2-10)$$

En el circuito primario del transformador la impedancia aparente es:

$$Z_L = V_p / I_p \quad (2-11)$$

Se puede enunciar el voltaje primario como:

$$V_p = a * V_s \quad (2-12)$$

Se puede expresar la corriente primaria como:

$$I_p = I_s / a \quad (2-13)$$

La impedancia aparente del primario es:

---

<sup>12</sup> Transformadores: (Chapman, Máquinas eléctricas tercera edición, pág. 68)

$$Z' = a^2 * Z_L \quad (2-14)$$

## 2.2.2 Transformación de voltaje a través de un transformador

Como hemos observado los transformadores se fundamentan en la inducción electromagnética, al inyectar una tensión o fuerza electromotriz en el devanado primario se crea un flujo magnético en el núcleo de hierro, el flujo viaja desde el devanado primario hasta el secundario, este movimiento generara una fuerza electromagnética en el devano secundario.<sup>13</sup>

La corriente debe ser alterna para que se produzca la variación de flujo, según la ley de Lenz, el transformador no puede trabajarse con corriente continua.

En el transformador la relación de transformación se define con la siguiente ecuación:

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} = r_t \quad (2-15)$$

Donde:

$N_p$  = Número de vueltas del devanado primario.

$N_s$  = Número de vueltas del devanado secundario.

$V_p$  = Tensión aplicada en el primario.

$V_s$  = Tensión obtenida en el secundario.

$I_s$  = Intensidad que llega al primario.

$I_p$  = Intensidad generada por el secundario.

$r_t$  = Relación de transformación.

---

<sup>13</sup> Transformadores: (Kosow, pág. 604)

### 2.2.3 Transformación de corriente a través de un transformador

El transformador de corriente y de voltaje cuentan con un devanado primario y uno secundario, compartiendo con estos el principio fundamental de transformación por espiras.

Cada vez que una corriente alterna circula por el devanado primario, se genera un flujo magnético alterno, que luego estimula una corriente alterna en el devanado secundario.

La impedancia de salida o “carga de salida” es muy baja en los transformadores de corriente, ya que, únicamente se conecta al transformador los equipos de medida o los de protección, por lo que el transformador de corriente prácticamente se desempeña en condiciones de cortocircuito. Adicionalmente, la impedancia de la carga no influye en la corriente del devanado secundario, esta depende de la corriente que circula en el devanado primario, es decir la corriente de la línea.<sup>14</sup>

Una característica importante de estos transformadores es que el número de espiras del primario es menor que el número de espiras del secundario, condición ineludible para que se reduzca la intensidad en el secundario o salida del transformador.<sup>15</sup>

$$I_1 > I_2 \quad (2-16)$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} = m \quad (2-17)$$

$$N_2 > N_1 \quad (2-18)$$

## 2.3 El transformador real

En la actualidad los transformadores ideales no se pueden construir, sin embargo, los transformadores reales sí, estos se componen de dos o más bobinas de alambre enrollado alrededor de un núcleo ferromagnético.<sup>16</sup>

---

<sup>14</sup> Transformadores: (Kosow, pág. 606)

<sup>15</sup> Transformadores: (Kosow, pág. 593)

<sup>16</sup> Transformadores: (Mora, pág. 178)

### 2.3.1 Circuito equivalente del transformador

Para obtener el modelo exacto del comportamiento del transformador se deben tener en cuenta las pérdidas que ocurren en los transformadores reales, que son:<sup>17</sup>

1. Pérdidas en el cobre.
2. Pérdidas por histéresis.
3. Pérdidas por corrientes parásitas.
4. Flujo disperso.

#### 2.3.1.1 Circuito equivalente exacto de un transformador real

Se puede realizar un circuito equivalente donde se tengan en cuenta las imperfecciones que se presentan en los transformadores reales, incluyéndolas en el modelo real del transformador. Para esto se evalúan los efectos que conllevan cada una de las pérdidas relacionadas.<sup>18</sup>

##### 1. Pérdidas en el cobre

Estas pérdidas están dadas por el calentamiento resistivo que se presenta en las bobinas primaria y secundaria del transformador, las cuales corresponden al cuadrado de las intensidades de corriente y varía bastante entre el funcionamiento en vacío y a plena carga.<sup>19</sup>

Estas pérdidas son incluidas en el modelo equivalente ubicando un resistor  $R_p$  en el circuito primario y otro resistor  $R_s$  en el circuito secundario del transformador.

Para calcular las pérdidas en el cobre del transformador se emplea la ecuación 2-19.

$$P_{Cu} = (I_S)^2 R_{eq} \quad (2-19)$$

##### 2. Pérdidas por histéresis

Estas pérdidas que se generan en el núcleo de hierro corresponden a la energía requerida para reordenar los dominios en cada ciclo de corriente alterna que se aplica al núcleo.

---

<sup>17</sup> Transformadores: (Chapman, MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN, pág. 65)

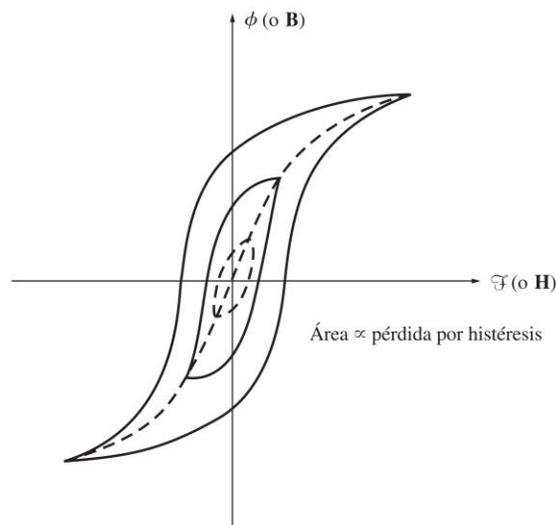
<sup>18</sup> Transformadores: (Chapman, MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN, pág. 65)

<sup>19</sup> Transformadores: (Chapman, MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN, pág. 64)

Adicionalmente existe otro tipo de pérdidas causadas por la variación del flujo en el núcleo y son denominadas corrientes parásitas, que en conjunto con la histéresis generan un calentamiento de los núcleos y deben tenerse en cuenta para realizar el diseño de cualquier máquina o transformador.<sup>20</sup>

El área que se encuentra dentro de la curva de histéresis formada al aplicar corriente alterna, es proporcional a la energía que se pierde en un ciclo de corriente alterna. Cuando los cambios son menores que la fuerza magnetomotriz aplicada en el núcleo, el área de la curva también será menor, de esta manera las pérdidas serán más pequeñas tan como se muestra en la Figura 2-4.<sup>21</sup>

**Figura 2-4** Curva de histéresis magnética.



**Nombre de la fuente:** Máquinas Eléctricas Quinta Edición Stephen J. Chapman

### 3. Pérdidas por corrientes parásitas

Estas pérdidas corresponden a los cambios de flujo, los cuales inducen un voltaje dentro del núcleo ferromagnético, estos voltajes inducen corrientes que circulan dentro del núcleo

---

<sup>20</sup> Pérdidas Magnéticas: (Guru, pág. 111)

<sup>21</sup> Pérdidas Magnéticas: (Guru, pág. 112)

del transformador. Las corrientes parásitas disipan energía cuando se mueven dentro de un entorno resistivo, esta energía disipada se transforma en calor dentro del núcleo.

Las pérdidas por corrientes parásitas dependen de la resistividad del material con el que esté construido el núcleo del transformador y del flujo de corriente. Cuando el material es menos resistivo este flujo es mayor y también lo es el voltaje inducido, por lo tanto, mayores serán las pérdidas. Cuando el material es más resistivo, su flujo de corriente será menor.

Para reducir las pérdidas se aumenta la resistividad del material agregando silicio al acero del núcleo, también se pueden usar laminaciones o materiales de alta resistividad e incluso combinaciones de estos dos para controlar las corrientes parásitas.<sup>22</sup>

#### 4. Flujo disperso

Son aquellos flujos que se escapan del núcleo pasando a través de solo uno de los devanados del transformador los cuales producen una autoinductancia en las bobinas primarias y secundarias.<sup>23</sup>

El flujo disperso en las bobinas primarias  $\Phi_{DP}$  genera un voltaje  $e_{DP}$  dado por la ecuación 2-20.

$$e_{DP}(t) = N_P \frac{d\Phi_{DP}}{dt} \quad (2-20)$$

Y el flujo disperso para las bobinas secundarias  $\Phi_{DS}$  genera un voltaje  $e_{DS}$  dado por la ecuación 2-21.

$$e_{DS}(t) = N_S \frac{d\Phi_{DS}}{dt} \quad (2-21)$$

La corriente de magnetización  $i_M$  es proporcional al voltaje, tiene 90° de atraso de acuerdo al voltaje que se aplica al núcleo, por lo tanto, se modela una reactancia  $X_M$  y una corriente de pérdida en el núcleo  $i_{h+e}$  que es considerada como una resistencia  $R_N$ , estas se conectan a través de una fuente de voltaje primaria.<sup>24</sup>

---

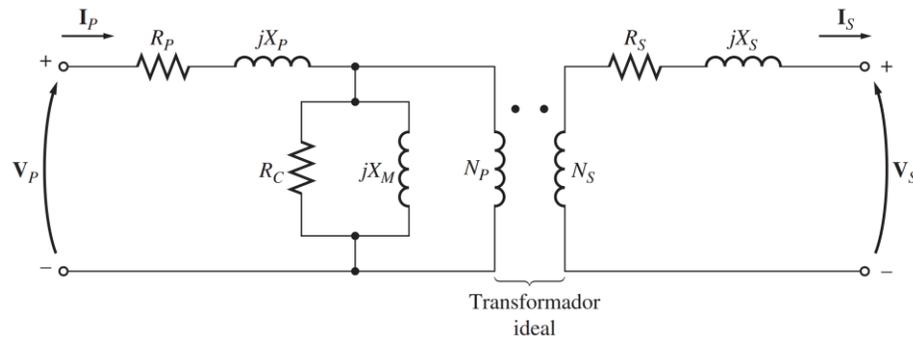
<sup>22</sup> Pérdidas magnéticas: (Guru, pág. 111)

<sup>23</sup> Transformadores: (Chapman, MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN, pág. 65)

<sup>24</sup> Transformadores: (Chapman, MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN, pág. 65)

El circuito equivalente que resulta se muestra en la Figura 2-5.

**Figura 2-5** Modelo de un transformador real.



**Nombre de la fuente:** Máquinas Eléctricas Quinta Edición Stephen J. Chapman

Donde:

$R_P$ : es la resistencia del devanado primario.

$X_P (= \omega l_P)$ : es la reactancia debida a la inductancia de fuga del primario.

$X_S (= \omega l_S)$ : es la reactancia debida a la inductancia dispersa del secundario.

$R_N$ : es la resistencia (histéresis y pérdidas en el núcleo).

$X_M$ : es la reactancia (corriente de magnetización).

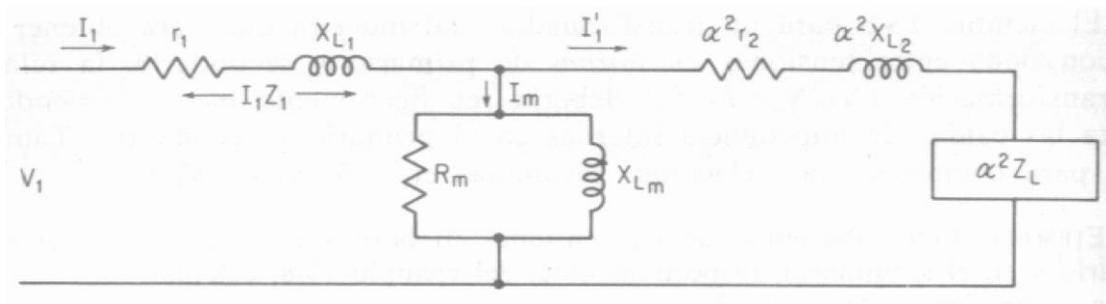
### 2.3.1.2 Circuitos equivalentes aproximados de un transformador

Este circuito es útil para solucionar problemas relacionados con el rendimiento y la regulación de tensión de un transformador. En la Figura 2-6, se puede observar un circuito con la impedancia de carga, la resistencia y reactancia interna del secundario referidas al primario.<sup>25</sup>

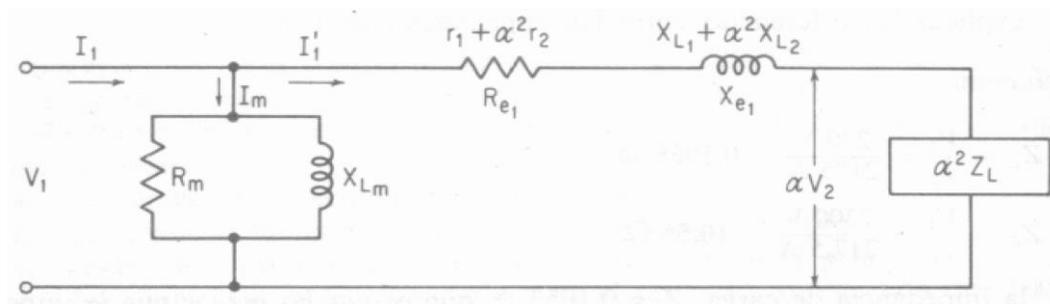
<sup>25</sup> Transformadores: (Kosow, pág. 609)

**Figura 2-6** Circuitos equivalentes para un transformador de potencia.

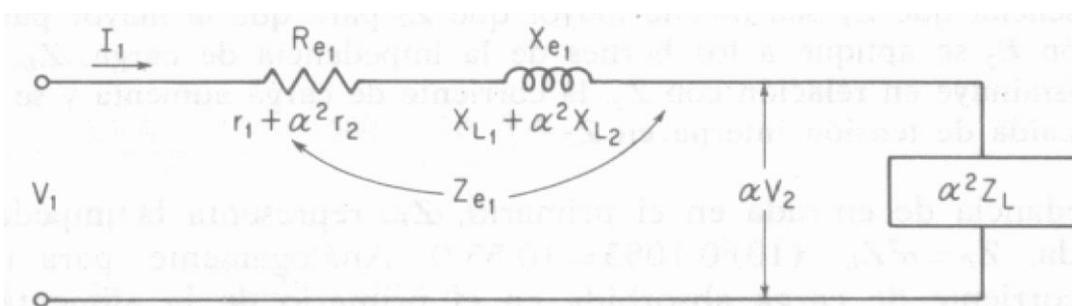
a) Circuito equivalente de un transformador de potencia



b) Circuito equivalente aproximado con resistencias y reactancias agrupadas



c) Circuito equivalente simplificado suponiendo despreciable la corriente magnetizante



**Nombre de la fuente:** Máquinas Eléctricas y Transformadores I.L. Kosow (Kosow)

La Figura 2-6 a), es una ilustración que satisface la condición de carga y la de vacío del transformador. Si el devanado secundario está en vacío  $I'_1 = 0$ , y solo circula  $I_m (I_1 = I_m)$  que genera una pequeña caída de tensión interna debido a la impedancia del primario  $Z_1$ , y esta caída de tensión del primario  $I_1 Z_1$  son relativamente pequeñas, es posible conseguir

un circuito equivalente aproximado ubicando directamente la rama en paralelo  $L$ - $R$  a los bornes de la alimentación,  $V_1$ . Esto permite unir las resistencias y reactancias internas de los circuitos primario y secundario, respectivamente, como se muestra en la Figura 2-6 b), para producir los siguientes equivalentes:<sup>26</sup>

$$R_{e1} = r_1 + \alpha^2 r_2 = \text{resistencia equivalente referida al primario.} \quad (2-22)$$

$$X_{e1} = X_{L1} + \alpha^2 X_{L2} = \text{reactancia equivalente referida al primario.} \quad (2-23)$$

$$Z_{e1} = R_{e1} + jX_{e1} = \text{impedancia equivalente referida al primario.} \quad (2-24)$$

Si el transformador tiene carga, la corriente,  $I'_1$ , es mayor a la corriente magnetizante  $I_m$ , por lo tanto se puede considerar como despreciable, esto puede observarse en el equivalente simplificado de la Figura 2-6 c).<sup>27</sup>

### 2.3.2 Regulación de voltaje del transformador

Esta regulación compara el voltaje de salida del transformador en vacío con el voltaje de salida cuando está a plena carga, cuando la regulación de voltaje es más pequeña la operación del transformador es mejor. La regulación de voltaje se define por la ecuación 2-25.<sup>28</sup>

$$RV = \frac{V_{S,nl} - V_{S,fl}}{V_{S,fl}} \times 100\% \quad (2-25)$$

Cuando  $V_S = \frac{V_P}{a}$  la regulación se expresa como la ecuación 2-26.

$$RV = \frac{\frac{V_P}{a} - V_{S,fl}}{V_{S,fl}} \times 100\% \quad (2-26)$$

Cuando el circuito equivalente del transformador se encuentra en el sistema por unidad, la regulación se expresa como la ecuación 2-27:

<sup>26</sup> Transformadores: (Kosow, pág. 611)

<sup>27</sup> Transformadores: (Kosow, pág. 611)

<sup>28</sup> Transformadores: (Chapman, MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN, pág. 77)

$$RV = \frac{V_{P,pu} - V_{S,fl,pu}}{V_{S,fl,pu}} \times 100\% \quad (2-27)$$

### 2.3.3 Eficiencia del transformador

Los transformadores son evaluados y comparados por su eficiencia, la cual está definida por las ecuaciones 2-28 y 2-29.

$$\eta = \frac{P_{sal}}{P_{ent}} \times 100\% \quad (2-28)$$

$$\eta = \frac{P_{sal}}{P_{sal} + P_{perd}} \times 100\% \quad (2-29)$$

Para realizar el cálculo de esta eficiencia en un transformador con carga se deben adicionar las pérdidas de cada resistor, por lo tanto, se aplica la ecuación 2-30, dado que la potencia de salida se expresa como la ecuación 2-31.<sup>29</sup>

$$P_{sal} = V_s I_s \cos\theta_s \quad (2-30)$$

La eficiencia del transformador se puede expresar como la ecuación 2-31.

$$\eta = \frac{V_s I_s \cos\theta_s}{P_{cu} + P_{nucleo} + V_s I_s \cos\theta} \times 100\% \quad (2-31)$$

### 2.3.4 Diagrama fasorial del transformador

Como la regulación de voltaje de un transformador depende del ángulo de fase de la corriente que fluye a través de él y de la magnitud de las impedancias, para poder determinar el efecto que generan los ángulos de fase reales y las impedancias, se utiliza el *diagrama fasorial*, el cual es un dibujo de los voltajes y corrientes fasoriales en el transformador.<sup>30</sup>

<sup>29</sup> Transformadores: (Chapman, MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN, pág. 77)

<sup>30</sup> Transformadores: (Chapman, MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN, pág. 77)

En los diagramas fasoriales se asume que el voltaje fasorial  $V_S$  tiene un ángulo de  $0^\circ$  y también que los voltajes y las corrientes son comparadas con esta referencia.

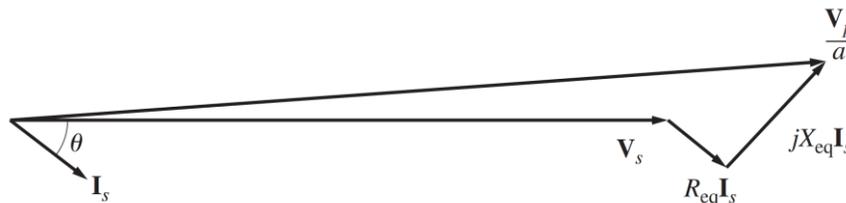
Al aplicar la ley de voltaje de Kirchhoff en el circuito equivalente, se puede encontrar que el voltaje primario es:

$$\frac{V_P}{a} = V_S + R_{eq}I_S + jX_{eq}I_S \quad (2-32)$$

La representación visual de esta ecuación se considera como el diagrama fasorial de un transformador, (ver Figura 2-7).

Se observa que  $V_S/a > V_S$  para cargas en retraso, por lo que la regulación de voltaje de un transformador con cargas en retraso deberá ser mayor que cero.

**Figura 2-7** Diagrama fasorial de un transformador con un factor de potencia en atraso.

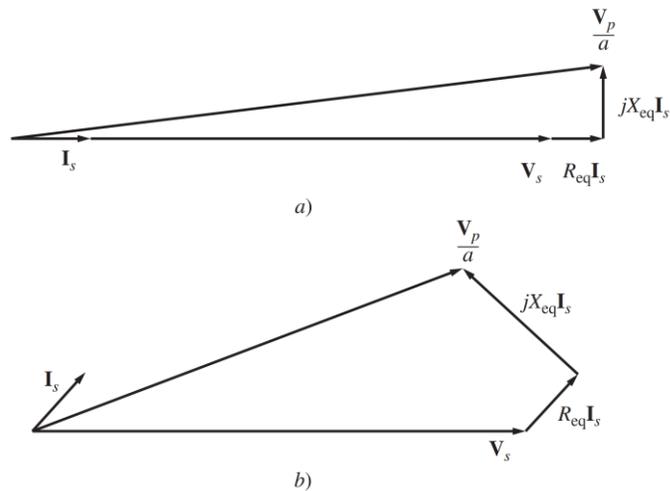


**Nombre de la fuente:** Máquinas Eléctricas Quinta Edición Stephen J. Chapman

En la Figura 2-8 a) se observa un diagrama fasorial que tiene un factor de potencia igual a 1, entonces el voltaje en el primario es mayor que en el secundario, por lo que  $RV > 0$ . Ahora la regulación de voltaje es menor de lo que era con una corriente en atraso. Si la corriente que fluye en el devanado secundario está en adelanto, su voltaje puede en realidad ser mayor que el referido en el voltaje primario. Si esto sucede, el transformador en realidad tiene una regulación de voltaje negativa, (ver Figura 2-8 b)).<sup>31</sup>

<sup>31</sup> Transformadores: (Chapman, MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN, pág. 78)

**Figura 2-8** Diagrama fasorial de un transformador con un factor de potencia a) unitario y b) en adelanto.



**Nombre de la fuente:** Máquinas Eléctricas Quinta Edición Stephen J. Chapman

### 2.3.5 Valores nominales en un transformador

Los valores nominales principales de un transformador son:

1. Potencia aparente (*kVA* o *MVA*)
2. Voltaje primario y secundario (*V*)
3. Frecuencia (*Hz*)
4. Resistencia y reactancia en serie por unidad.

En los transformadores encontramos las placas de características donde se describen los parámetros de construcción, referencias, designación del tipo de transformador e instrucciones de operación.<sup>32</sup>

#### 2.3.5.1 Potencia aparente

La función principal del valor nominal de la potencia aparente es de establecer un flujo de corriente a través de los devanados del transformador, este flujo es de suma importancia

<sup>32</sup> Transformadores: (Chapman, MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN, pág. 103)

porque controla las pérdidas  $I^2R$  y el calentamiento de bobinas en el transformador, considerando que son factores que influyen en la vida útil de su aislamiento.

La cantidad de calentamiento que se da en los transformadores reales ocurre para una cantidad de corriente dada independientemente de su fase, esto respecto al voltaje terminal, finalmente lo que afecta el calentamiento es la magnitud de la corriente. Si se reduce el voltaje del transformador el valor nominal se debe reducir en igual forma, porque al no hacer esta corrección la corriente en las bobinas excederá el máximo permitido y causará sobrecalentamiento.<sup>33</sup>

### 2.3.5.2 Voltaje primario y secundario

En los transformadores el valor del voltaje nominal cumple dos objetivos. Uno es proteger al aislamiento del devanado de una aplicación excesiva de voltaje. El segundo se relaciona con la curva de magnetización y corriente de magnetización del transformador, si se incrementa el voltaje en un 10%, el flujo máximo resultante en el núcleo también aumenta en un 10%, pero, por encima de cierto punto sobre la curva de magnetización este porcentaje de incremento requiere uno mucho mayor de la corriente de magnetización. A medida que se incrementa el voltaje, las corrientes de alta magnetización llegan rápidamente a ser inadmisibles.<sup>34</sup>

### 2.3.5.3 Frecuencia

La frecuencia y el voltaje en el transformador se relacionan de manera recíproca si el flujo máximo debe ser constante, (ver ecuación 2-33).

$$\Phi_{m\acute{a}x} = \frac{V_{m\acute{a}x}}{\omega N_p} \quad (2-33)$$

Por lo tanto, un transformador de 60 Hz que deba operar a 50 Hz, el voltaje aplicado debe reducirse en un sexto o sino el flujo máximo en el núcleo será muy elevado. A esta reducción de voltaje que es aplicado con la frecuencia, se le conoce como *derrateo* (*derating*). De igual manera un transformador de 50 Hz puede funcionar con un voltaje 20% mayor a los 60 Hz si esta operación no causa daños en su aislamiento.<sup>35</sup>

<sup>33</sup> Transformadores: (Chapman, MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN, pág. 108)

<sup>34</sup> Transformadores: (Chapman, MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN, pág. 109)

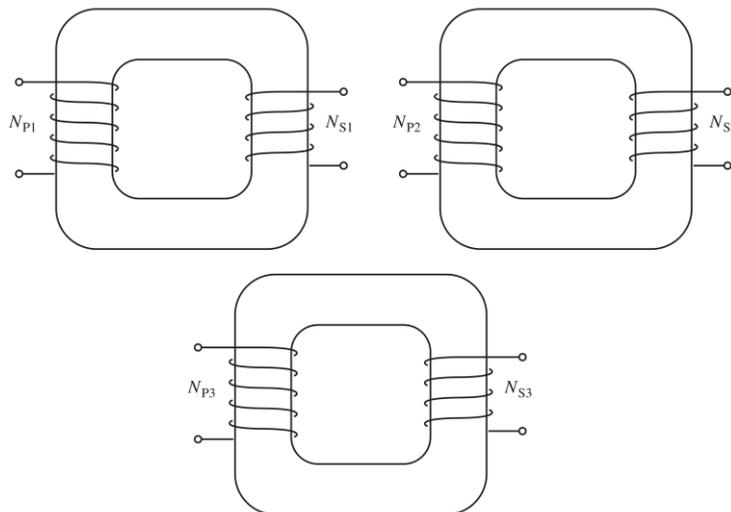
<sup>35</sup> Transformadores: (Chapman, MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN, pág. 109)

## 2.4 Transformadores trifásicos

Los transformadores trifásicos se pueden construir de dos formas. Una de ellas consiste en utilizar tres transformadores monofásicos y conectarlos en un banco trifásico, como se ilustra en la Figura 2-9, esta opción es más costosa, pero a la vez brinda la ventaja de reemplazar individualmente un transformador en caso de alguna falla. Para la segunda opción se utiliza un solo núcleo magnético, el cual está formado por tres columnas donde se encuentran enrolladas las espiras que conforman los bobinados primario y secundario de cada fase, como se ilustra en la

Figura 2-10, este tipo de transformador es más económico, ligero, pequeño y un poco más eficiente.<sup>36</sup>

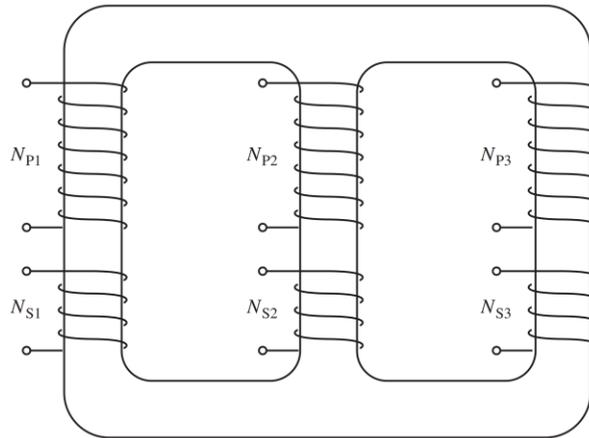
**Figura 2-9** Banco trifásico de transformador compuesto por tres transformadores independientes.



**Nombre de la fuente:** Máquinas Eléctricas Quinta Edición Stephen J. Chapman

---

<sup>36</sup>Transformadores: (Chapman, MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN, pág. 90)

**Figura 2-10** Transformador trifásico construido sobre un núcleo de tres columnas.

**Nombre de la fuente:** Máquinas Eléctricas Quinta Edición Stephen J. Chapman

## 2.4.1 Conexiones de transformadores trifásicos

En los transformadores trifásicos sus devanados primarios y secundarios se pueden conectar independientemente en ye (Y) o en delta ( $\Delta$ ), lo cual indica cuatro posibles conexiones descritas a continuación:

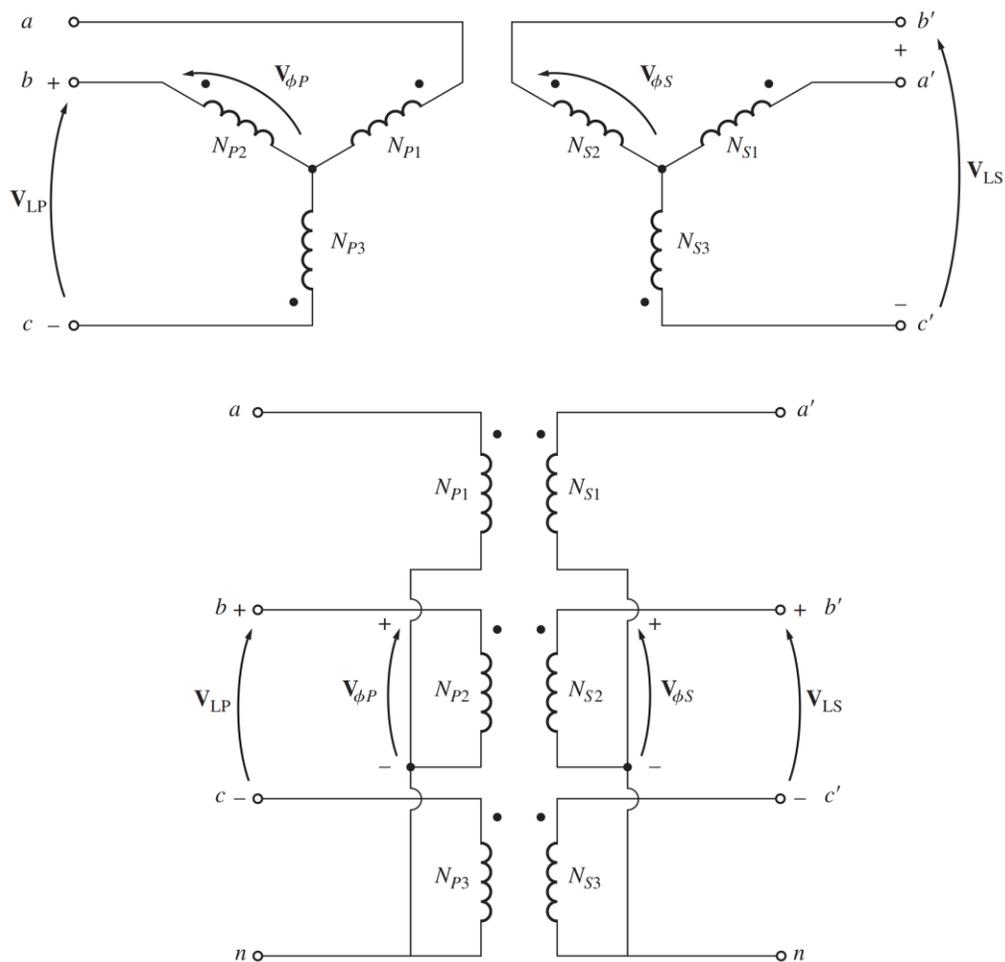
### 2.4.1.1 Conexión YE-YE

Este tipo de conexión se muestra en la Figura 2-11, donde el voltaje primario se relaciona con el voltaje secundario de cada fase por medio de la relación de vueltas del transformador, esta relación se describe a continuación (ver ecuación 2-34).<sup>37</sup>

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3}V_{\phi P}}{\sqrt{3}V_{\phi S}} = a \quad (2-34)$$

<sup>37</sup>Transformadores: (Chapman, MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN, pág. 91)

**Figura 2-11** Diagramas de conexión y de cableado de un transformador trifásico Y-Y



**Nombre de la fuente:** Máquinas Eléctricas Quinta Edición Stephen J. Chapman

### 2.4.1.2 Conexión YE-DELTA

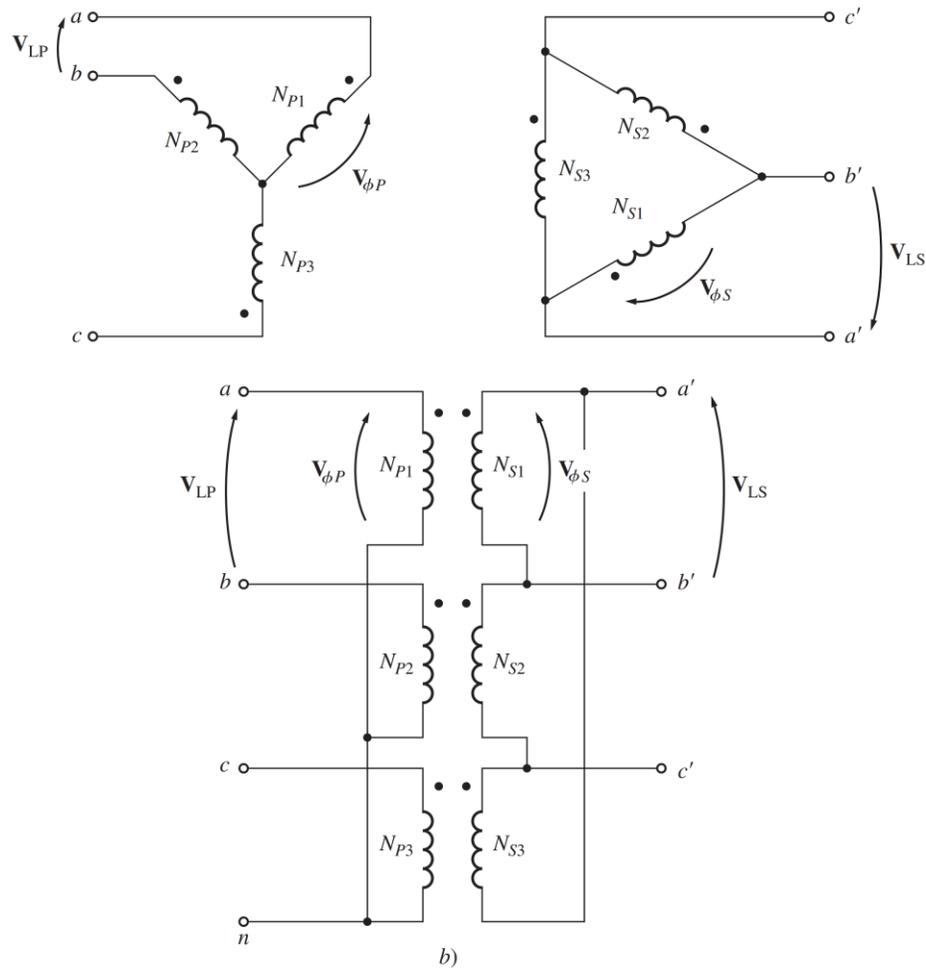
Este tipo de conexión se muestra en la

Figura 2-12, donde el voltaje de línea primario está relacionado con el voltaje de fase primario y el voltaje de línea secundario es igual al voltaje de fase secundario. Esta relación general es, (ver Ecuación 2-35).<sup>38</sup>

<sup>38</sup>Transformadores: (Chapman, MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN, pág. 93)

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \sqrt{3}a \tag{2-35}$$

**Figura 2-12** Diagramas de conexión y de cableado de un transformador trifásico Y-Δ



**Nombre de la fuente:** Máquinas Eléctricas Quinta Edición Stephen J. Chapman

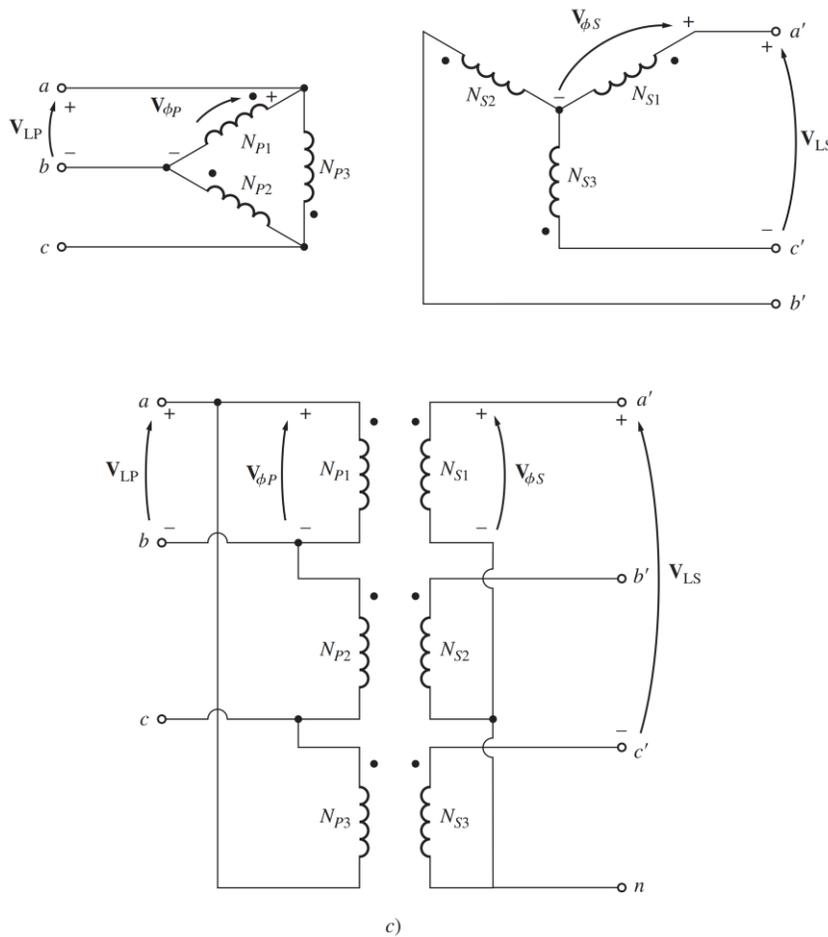
### 2.4.1.3 Conexión DELTA-YE

Este tipo de conexión se muestra en la

Figura 2-13, donde el voltaje de línea y el voltaje de fase primario son iguales  $V_{LP} = V_{\phi P}$ , mientras que los voltajes secundarios se relacionan por  $V_{LS} = \sqrt{3}V_{\phi S}$ , por lo tanto, la relación de voltaje línea a línea de esta conexión es, (ver Ecuación 2-36).<sup>39</sup>

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{a}{\sqrt{3}} \tag{2-36}$$

**Figura 2-13** Diagramas de conexión y de cableado de un transformador trifásico Δ-Y



**Nombre de la fuente:** Máquinas Eléctricas Quinta Edición Stephen J. Chapman

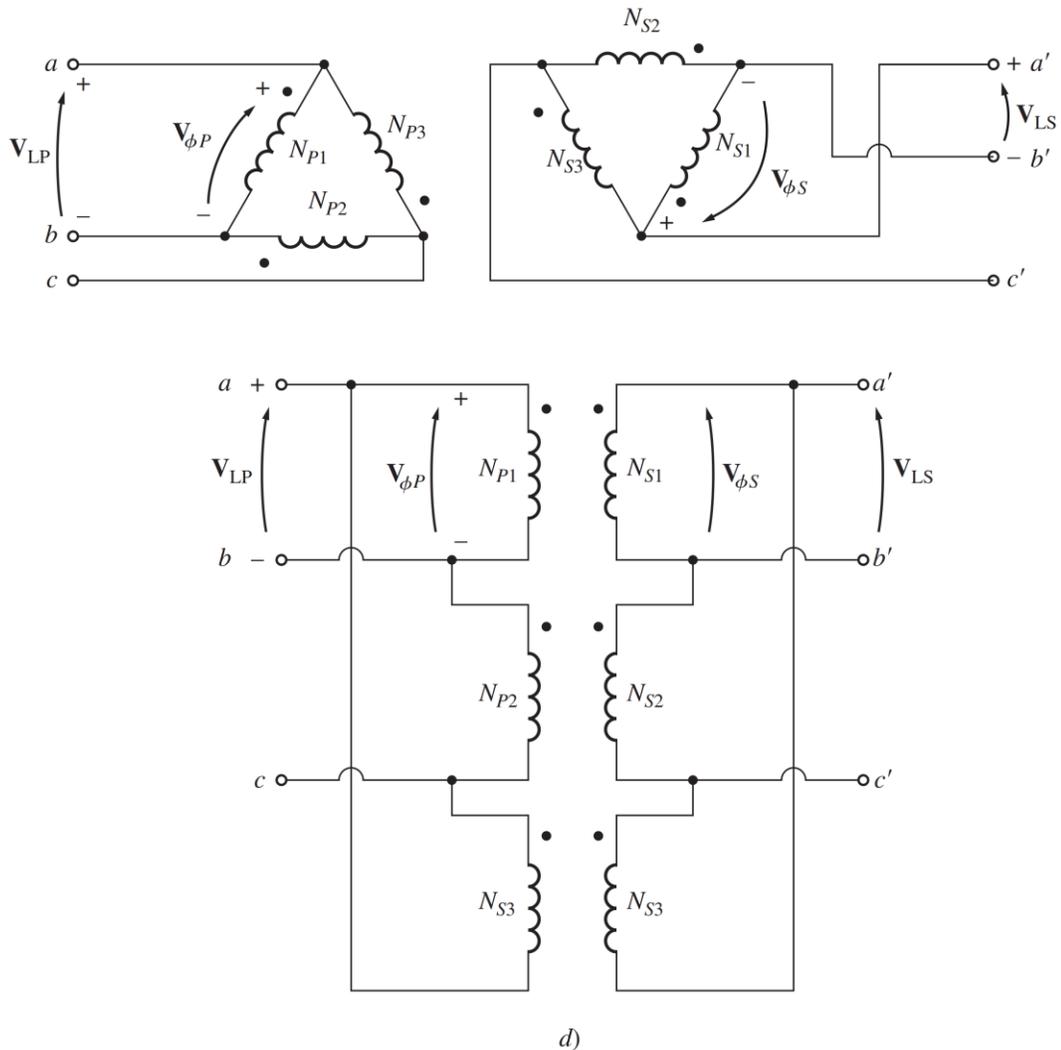
<sup>39</sup>Transformadores: (Chapman, MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN, pág. 95)

**2.4.1.4 Conexión DELTA-DELTA**

Este tipo de conexión se muestra en la Figura 2-14, donde  $V_{LP} = V_{\phi P}$  y  $V_{LS} = V_{\phi S}$ , donde la relación entre los voltajes de línea primario y secundario es, (ver Ecuación 2-37).<sup>40</sup>

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{\phi P}}{V_{\phi S}} = a \tag{2-37}$$

**Figura 2-14** Diagramas de conexión y de cableado de un transformador trifásico  $\Delta$ - $\Delta$



**Nombre de la fuente:** Máquinas Eléctricas Quinta Edición Stephen J. Chapman

<sup>40</sup>Transformadores: (Chapman, MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN, pág. 96)

## 3. Capítulo 3: Normas y parámetros para elaboración de prácticas

### 3.1 Ensayos del transformador

Los ensayos de un transformador representan las diferentes pruebas que deben prepararse para verificar el comportamiento del mismo. En la práctica resulta complicado realizar ensayos reales directos por dos motivos principales:

- a) La gran cantidad de energía que se requiere y que ha de disiparse en tales pruebas.
- b) Es prácticamente imposible contar con cargas lo suficientemente grandes, más aún, cuando la potencia del transformador es elevada, para hacer un ensayo en situaciones reales.

El funcionamiento de un transformador en cualquier condición de trabajo, se puede pronosticar con una gran precisión si los parámetros del circuito equivalente son conocidos. Tanto el fabricante como el usuario requieren de esta información. Sin embargo, no resulta fácil obtener estos parámetros de los datos de diseño o proyecto. Favorablemente, los elementos que componen el circuito equivalente aproximado se pueden obtener con algunas pruebas muy simples que tienen además la ventaja de requerir muy poco consumo de energía, con suministrar la suficiente energía para soportar las pérdidas de la máquina, es suficiente, de ahí que sean pruebas sin carga real.<sup>41</sup>

---

<sup>41</sup> Ensayos del transformador: (Mora, pág. 187)

## **3.2 Norma técnica colombiana NTC 380**

### **3.2.1 Transformadores eléctricos, ensayos eléctricos y generalidades**

El objeto de esta norma es el de establecer ensayos a los cuales se someten los transformadores de distribución y potencia.

La norma NTC 380 define tres tipos de ensayo; ensayo de tipo, ensayo de rutina, ensayo especial.

#### **3.2.1.1 Ensayo de tipo**

Se realiza para conocer que el transformador puede ser representativo entre otros y que cumple con los requisitos específicos y mínimos que no cubren los ensayos de rutina (véase la norma IEC 60076-1, numeral 3.11.2).

Si en un transformador las características constructivas y nominales son iguales, este es considerado como representativo de otros, el ensayo tipo es válido cuando se efectúa en un transformador que presente pequeñas diferencias con respecto a las particularidades nominales o de distintas características.

#### **3.2.1.2 Ensayo de rutina**

El efectuado a cada transformador.

#### **3.2.1.3 Ensayo específico**

No correspondiente con los de rutina, establecido entre constructor y comprador y obligatorio únicamente en la transacción específica.

### **3.2.2 Condiciones generales**

- a) Según las pruebas eléctricas, estas se catalogan así, ver la Tabla 3-1.
- b) Entre 10°C y 40°C se pueden realizar las pruebas eléctricas. Se puede aplicar enfriamiento con agua, en caso de que se necesite, siempre y cuando no supere los 25°C.
- c) Todo lo que haga parte del transformador para su correcto funcionamiento debe ubicarse donde corresponde.

- d) Las pruebas eléctricas se deben ejecutar en la derivación principal para los casos en los que hay derivaciones en las bobinas, a menos que se pacte algo opuesto entre constructor y cliente, o que la prueba concretamente lo requiera.
- e) Siempre se deben realizar las pruebas eléctricas con los valores nominales del transformador, exceptuando la de aislamiento o en el caso en el que la prueba implante algo diferente.
- f) En el caso de requerir ajuste de los resultados de las pruebas a una temperatura de referencia, esta debe estar conforme a la Tabla 3-3.
- g) Utilizar fuentes de energía cuya tensión sea a frecuencia nominal con forma de onda cercana a la forma sinusoidal, exceptuando las tensiones aplicadas en las pruebas demarcadas con asterisco (\*) en la Tabla 3-1.

### 3.2.3 Requisitos

Las tipologías correspondientes con el procedimiento eléctrico que deben ser aseguradas se presentan en la

Tabla 3-2. También se detallan las tolerancias aprobadas. El objetivo de estas tolerancias es el de tener presente mínimas diferenciaciones como consecuencia de la construcción.

- a) Solo en las bobinas con derivaciones y escasas espiras se autorizará, por convenio entre el constructor y el cliente, que la tolerancia se ajuste a la relación de transformación más precisa conseguida y no a la relación especificada. En general la tolerancia en la relación de transformación se empleará a todas las derivaciones.
- b) Para las pérdidas sin carga, con carga, eficiencia y regulación, las tolerancias se emplearán a la derivación principal exclusivamente. Las tolerancias concernientes a una derivación diferente de la principal, serán pactadas entre constructor y cliente.
- c) Para el caso en el que una tolerancia sea omitida, en un sentido, se razonará que no hay limitación del valor proporcionado en ese sentido.
- d) Se razonará que un transformador ha superado una prueba en el momento en que las discrepancias entre los resultados de las mediciones de la prueba y las medidas pronunciadas por los constructores no son superan las tolerancias autorizadas.

- e) El constructor está obligado a proveer un certificado de todas las pruebas de rutina y de tipo. Por acuerdo entre las partes podrá proveer un certificado de las pruebas especiales.<sup>42</sup>

**Tabla 3-1** (Clasificación de los ensayos y NTC sobre los métodos de ensayo) fuente NTC 380.

| <b>Pruebas eléctricas</b>  | <b>Norma adaptable para practicar la prueba.</b> |
|--|--|
| <b>Ensayos de rutina</b>   |  |
| Medición de la resistencia en las bobinas  | NTC 375  |
| Comprobación de relación de transformación, comprobación de la polaridad y correspondencia de fase | NTC 471  |
| Comprobación de tensiones de corto circuito  | NTC 1005   |
| Cálculo de las pérdidas con carga  | NTC 1005   |
| Comprobación de las pérdidas y corriente en vacío, sin carga                                       | NTC 1031   |
| Tensión inyectada  | NTC 837  |
| Sobretensión inducida*   | NTC 837  |
| <b>Ensayos tipo</b>  |  |
| Tensión de impulso, prototipo descarga atmosférica*  | NTC 837  |
| Calentamiento  | NTC 316 o NTC 3445                               |
| <b>Ensayos especiales</b>  |  |
| Condiciones para tolerar el cortocircuito  | NTC 532  |

<sup>42</sup> Ensayos eléctricos: ((ICONTEC), NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 380)

**Tabla 3-2** (Tolerancias) fuente NTC 380.

| Características  | Tolerancia   |
|--|--|
| <p><b>Pérdidas</b></p> <p>Pérdidas totales</p> <p>Pérdidas con carga</p> <p>Pérdidas sin carga (en vacío)</p>  | <p>+10% de las pérdidas declaradas.</p> <p>+15% de las pérdidas declaradas. Sin que haya superado la tolerancia para las pérdidas totales.</p> <p>+15% de las pérdidas declaradas. Teniendo claro que no sobrepase la tolerancia para las pérdidas totales.</p>  |
| <p>Relación de transformación en vacío de la derivación principal (relación de transformación nominal).</p> <p>Nota. Véase el numeral 4.1.1 de esta norma</p>                                      | <p>El más pequeño de los subsiguientes datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\pm 5</math> por ciento de la relación señalada.</li> <li>• Una proporción de la relación de transformación señalada semejante al 10% de la tensión nominativa de cortocircuito.</li> </ul> <p>Si el voltaje por espira sobrepasa esta tolerancia, la relación en las derivaciones pertenece a la relación de la espira más colindante.</p> |
| <p><b>Tensión de cortocircuito</b></p> <p>Para la derivación principal (tensión nominal de cortocircuito)</p> <p>Transformadores con dos devanados</p> <p>Transformadores con varios devanados</p> | <p><math>\pm 10</math> por ciento de la tensión de cortocircuito declarada para esa derivación.</p>  |

| Características  | Tolerancia  |
|--|---|
| <p>Para derivaciones diferentes a la derivación principal.</p> | <p>±10 por ciento de la tensión de cortocircuito señalada en un par detallado de bobinados.<br/>                     ±15 por ciento de la tensión de corto circuito señalada en un segundo par detallado de bobinados.<br/>                     Para los restantes pares de bobinados pueden ser determinadas sus tolerancias.<br/>                     ±15 por ciento del valor determinado para cada derivación entre el ±5 por ciento de la derivación principal. Para las otras derivaciones, la tolerancia es obtenida por convenio entre constructor y cliente, si fuera necesario.</p> |
| <p>Corriente sin carga (en vacío)</p>                          | <p>+30 por ciento de la corriente sin carga (vacío) señalada.</p>   |
| <p>Eficiencia</p>  | <p>Basado en las tolerancias para pérdidas.</p>   |
| <p>Regulación</p>  | <p>Basado con las tolerancias para tensión de cortocircuito y pérdidas de carga.</p>  |

**Tabla 3-3** (Temperatura de referencia) fuente NTC 380.

| Clase térmica del aislamiento | Calentamiento °C | Temperatura de referencia °C |
|-------------------------------|------------------|------------------------------|
| A                             | 60               | 80                           |
| Ao                            | 65               | 85                           |
| E                             | 75               | 95                           |
| B                             | 80               | 100                          |
| F                             | 100              | 120                          |
| H                             | 125              | 145                          |
| C                             | 150              | 170                          |

### 3.2.4 Medida de la resistencia de los devanados (norma NTC 375)

El objetivo de esta norma es el de establecer la manera de practicar la medida de la resistencia de los bobinados en los transformadores de distribución y de potencia.

#### 3.2.4.1 Método de la caída de Tensión

Radica en prestar atención a la bajada de tensión, sabiendo la magnitud de la corriente que atraviesa por el bobinado cuya resistencia se está estableciendo y creando el cálculo mediante de la ley de ohm:

$$R_x = \frac{U}{I} \quad (3-1)$$

Donde:

$U$  = tensión aplicada a los terminales del devanado, en voltios.

$I$  = intensidad de la corriente que circula por el devanado en amperios.

$R_x$  = resistencia del devanado en ohmios.

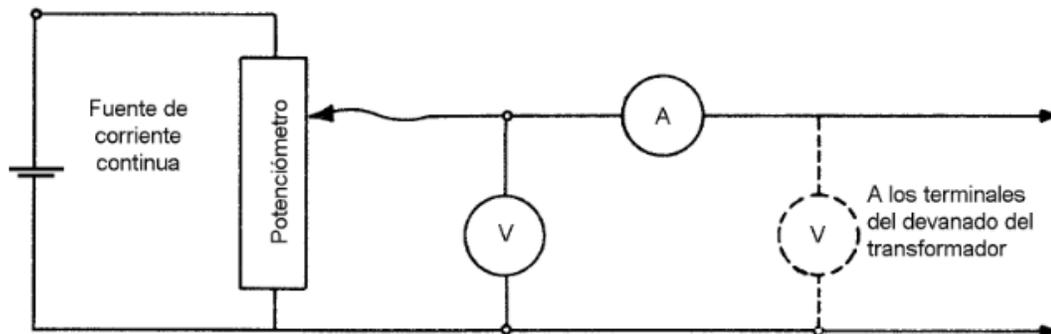
En cuanto más precisión se presente al tomar los datos de medida arrojados por el amperímetro y el voltímetro, más exactitud se obtendrá con este método.<sup>43</sup>

La instalación que se aplica para generar la medida se muestra en la Figura 3-1.

---

<sup>43</sup> TRANSFORMADORES. MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS DEVANADOS: ((ICONTEC), NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 375)

**Figura 3-1** Representación del circuito para determinar la resistencia de los devanados por el método de la caída de tensión.



Nombre de la fuente: NTC 375

### 3.2.5 Relación de transformación, comprobación de polaridad y relación de fase. (norma NTC 471).

Esta norma establece como se debe desarrollar la medición para la relación de transformación y como se verifica la polaridad y la relación de fase (deslizamiento angular y secuencia) en los transformadores de potencia y distribución.

#### 3.2.5.1 Condiciones generales

##### 3.2.5.1.1 Medición de la relación de transformación

- Para la medición de la relación de transformación se debe trabajar con tensión  $\leq$  a la nominativa y a frecuencia  $\geq$  a la nominativa.
- En los transformadores que cuenten con una potencia  $\leq$  500 VA y que cuenten con una corriente de excitación mayor al 10%, es obligatorio que sean ensayados únicamente a tensión y frecuencia nominal.
- Se debe hacer el ensayo para todas las fases en conjunto (circuito polifásico), cuando los transformadores están conectados en estrella con el punto neutro inaccesible, suministrando una tensión que sea simétrica con una relación de asimetría de 0.5%.

- d) La prueba se ejecuta por fase (monofásico), cuando cada fase tenga acceso y sea independiente en los transformadores (polifásicos), sin embargo, se puede efectuar para todas las fases vinculadas (polifásico).
- e) En los transformadores de seis fases acoplados en estrella diametralmente y sin neutro, en asistencia de diferencia en las tensiones diametrales, se tiene que comprobar que estas no correspondan a la tensión aplicada, esta comprobación se ejecuta conectando el bobinado hexafásico en estrella trifásica o en delta.
- f) Si se trabaja un transformador con ramificaciones, la medición de la relación de transformación se efectúa obligatoriamente para todas las ramificaciones.

#### **3.2.5.1.2 Verificación de la polaridad**

- a) En los transformadores polifásicos es obligatorio comprobar en cada fase, la polaridad, de forma independiente.
- b) Cuando la relación de transformación no excede de 30:1, el método diferencial con corriente alterna se puede aplicar.

#### **3.2.5.1.3 Verificación de la relación de fase**

- a) Cuando la relación de transformación no excede de 30:1, mediante el método de diagrama fasorial se tiene que verificar el deslizamiento angular entre las fases de los transformadores polifásicos.
- b) Con el procedimiento del indicador se realiza la verificación de la secuencia cuando la relación de transformación exceda de 30:1.
- c) En los transformadores hexafásicos sin neutro, la comprobación de la relación de fase se realiza vinculándolos de manera temporal en delta o estrella trifásica.
- d) En máquinas de transformación con más de un bobinado de baja tensión, cada bobinado se estudia de forma independiente de acuerdo al método del diagrama fasorial descrito más adelante.
- e) En los casos en los que los transformadores tengan un bobinado designado únicamente a compensación, se identifica su presencia con el emblema tal cual, adecuado y contenido entre paréntesis y sin tener secuencia con el índice numérico.

### **3.2.5.2 Medición de la relación de transformación**

#### **3.2.5.2.1 Método del voltímetro.**

La relación de transformación se prueba por el método del voltímetro, donde se aporta una tensión alterna cuyo valor se conoce, al bobinado de mayor tensión, midiendo esta tensión y la que emerge en el otro bobinado mediante el uso de equipos de medida apropiados se encuentra la relación, relacionando las dos tensiones medidas.

Se requiere leer de forma simultánea los dos voltímetros. Luego se efectúa una segunda lectura intercambiando los equipos de medida, voltímetros, y se tendrá presente la media de las dos lecturas para equilibrar la inexactitud de los instrumentos de medición.

La prueba debe producirse con al menos cuatro tensiones y escalonamiento de alrededor del diez por ciento; el valor promedio será el tomado como el valor verdadero.

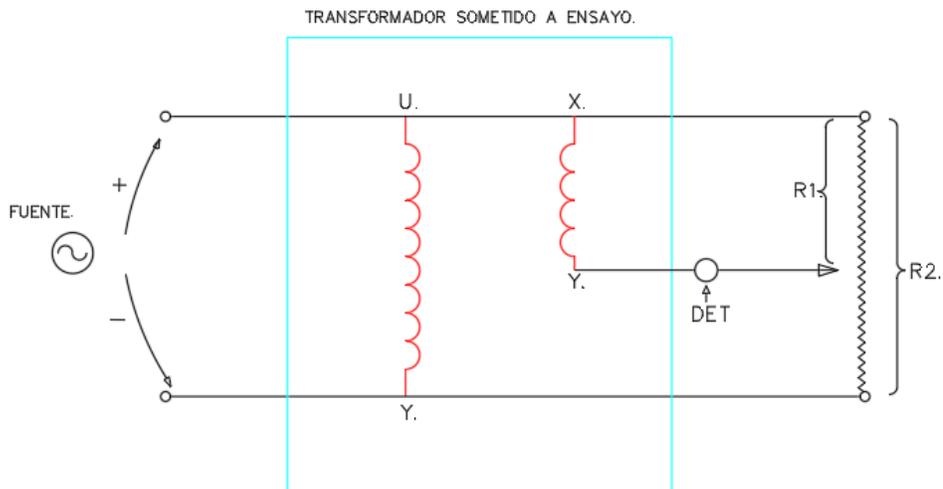
En el caso de que los valores tomados difieran en más del 1% las medidas se deben repetir con otros voltímetros.

#### **3.2.5.2.2 Método del transformador patrón.**

Si el ensayo de relación de transformación se va a realizar a varios transformadores de especificaciones nominales iguales, se puede hacer el ensayo de la forma anteriormente descrita a una unidad y luego comparando a los restantes con este como patrón.

#### **3.2.5.2.3 Método del divisor patrón.**

Se conecta un resistor variable entre los terminales de los bobinados de la máquina de transformación. (ver Figura 3-2).

**Figura 3-2** Esquema del circuito utilizado en el método del divisor patrón.

Nombre de la fuente: NTC 471

### 3.2.5.3 Verificación de polaridad

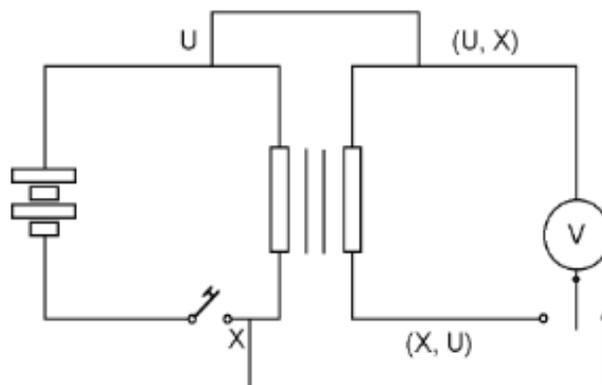
#### 3.2.5.3.1 Método del transformador patrón

Para este ensayo se conecta el devanado de alta tensión del transformador al cual se le realiza el ensayo en paralelo y uniendo entre sí los terminales correspondientes con el devanado de alta tensión de la máquina de transformación patrón con polaridad conocida y con igual relación de transformación. De igual manera se vinculan también los terminales de un lado de los bobinados de menor tensión de ambos transformadores, sin intervenir los demás bobinados existentes. Una vez realizado lo anterior se inyecta una tensión de menor valor a los terminales de los bobinados de mayor tensión y se toma la medición de la tensión entre los terminales libres del lado de menor tensión. Si el dato arrojado por el equipo de medida, es decir, el voltímetro muestra cero o un valor muy pequeño, entonces, la polaridad de ambas máquinas de transformación será igual.

### 3.2.5.3.2 Método de la descarga inductiva

Se hace transitar una corriente continua por el bobinado de mayor tensión logrando así generar una mínima desviación en sentido positivo del voltímetro al cerrar el circuito de excitación. Obviamente el voltímetro se debe colocar entre los terminales del bobinado de mayor tensión. Seguidamente se trasladan los dos conductores eléctricos del voltímetro a los dos terminales del bobinado de menor tensión claramente opuesto. Una vez abierto el circuito de excitación de corriente continua se provoca una tensión en el bobinado de menor tensión lo que genera un desvío en la aguja del instrumento. Si nuevamente la aguja se desplaza en la misma dirección, es decir, dirección positiva, la polaridad es aditiva, (ver Figura 3-4), y en caso contrario, la polaridad es sustractiva, (ver Figura 3-5).<sup>44</sup>

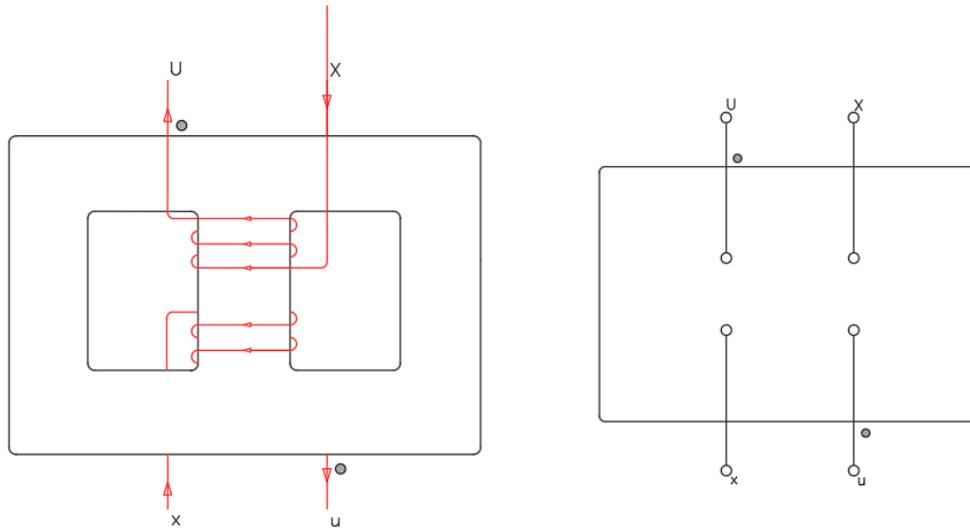
**Figura 3-3** Esquema del circuito utilizado en la determinación de la polaridad con el método de descarga inductiva.



**Nombre de la fuente:** NTC 471

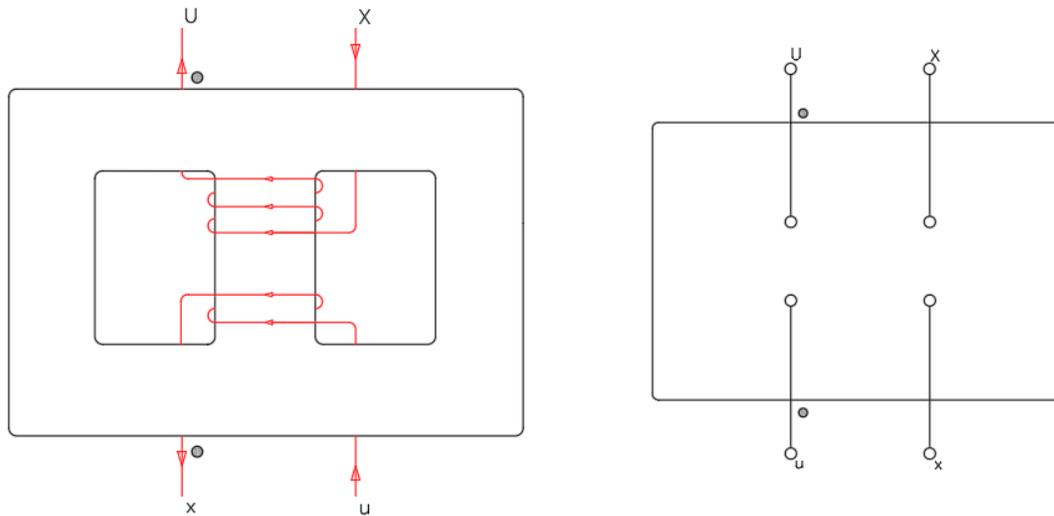
<sup>44</sup> Transformadores. relación de transformación. verificación de la polaridad y relación de fase: ((ICONTEC), NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 471)

**Figura 3-4** Polaridad aditiva



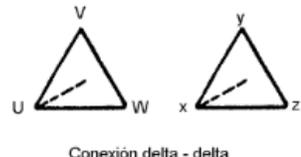
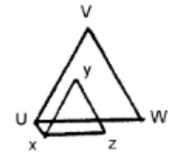
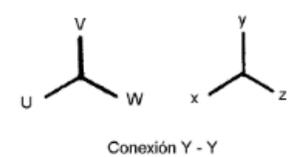
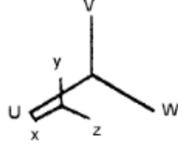
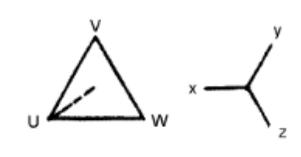
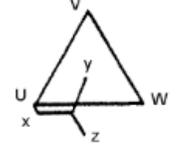
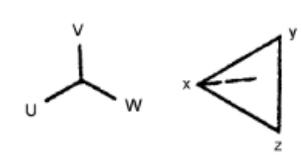
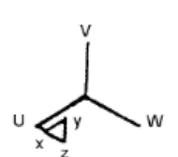
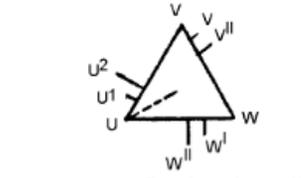
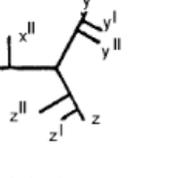
Nombre de la fuente: NTC 471

**Figura 3-5** Polaridad sustractiva



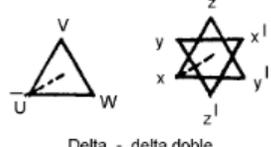
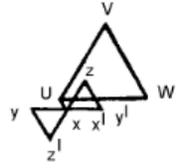
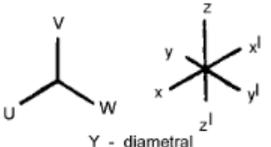
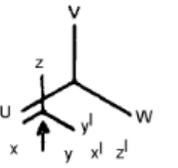
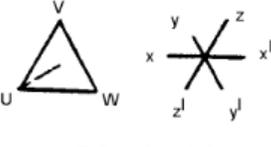
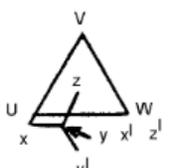
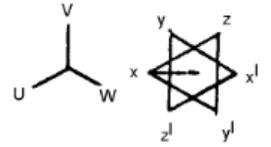
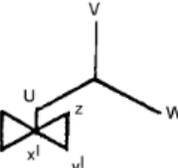
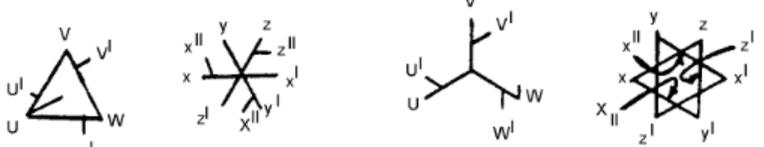
Nombre de la fuente: NTC 471

**Figura 3-6** Conexiones y diagramas fasoriales de tensión en transformadores trifásicos

|  | Desplazamiento angular   | Diagrama para verificación de la medida  | Verificación de las medidas   |
|--|--|--|---|
| Grupo 1<br>Desplazamiento angular<br>0°  |  <p>Conexión delta - delta</p>                        |    | <p>Conectar U a x</p> <p>Medir V-y, W-y</p> <p>U - V, V-z, W-z</p> <p>Relaciones de tensión</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <math>V - z = W - y</math></li> <li>2) <math>V - y &lt; U - V</math></li> <li>3) <math>V - y &lt; V - z</math></li> <li>4) <math>V - y = W - z</math></li> </ol>            |
|  |  <p>Conexión Y - Y</p>                                |    |   |
| Grupo 2<br>Desplazamiento angular<br>30° |  <p>Conexión delta - Y</p>                           |   | <p>Conectar U a x</p> <p>Medir W - y, W - z</p> <p>U - W, V - y, V - z</p> <p>Relaciones de tensión</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <math>W - y = W - z</math></li> <li>2) <math>W - y &lt; U - W</math></li> <li>3) <math>V - y &lt; V - z</math></li> <li>4) <math>V - y &lt; U - W</math></li> </ol> |
|  |  <p>Conexión Y - delta</p>                          |  |   |
|  |  <p>Transformadores trifásicos con derivaciones</p> |  |   |

Nombre de la fuente: NTC 471

**Figura 3-7** Conexiones y diagramas fasoriales de tensión en transformadores hexafásicos

|  | Desplazamiento angular   | Diagrama para verificación de la medida   | Verificación de las medidas   |
|--|--|---|---|
| Grupo 1<br>Desplazamiento angular<br>0°  |  <p>Delta - delta doble</p>                             |    | <p>Conectar U a x a x<sup>I</sup></p> <p>Medir V-z, U-V, V-y<sup>I</sup>, V-z<sup>I</sup>, W-y, V-y, W-z</p> <p>Relaciones de tensión</p> <p>1) V - x<sup>I</sup> = W - z    4) V - z<sup>I</sup> = W - y<br/>                 2) V - z &lt; U - V    5) V - z<sup>I</sup> &gt; U - V<br/>                 3) V - z &lt; V - x<sup>I</sup>    6) V - y &lt; V - z<sup>I</sup></p> |
|  |  <p>Y - diametral</p>                                   |    | <p>Conectar y a x<sup>I</sup> a z<sup>I</sup> U a x</p> <p>Medir W-z, W-y<sup>I</sup>, U-W</p> <p>V-z, V-y<sup>I</sup></p> <p>relaciones de tensión</p> <p>1) V - y<sup>I</sup> = W - z<br/>                 2) V - z &lt; U - V<br/>                 3) V - z &lt; V - y<sup>I</sup></p>   |
| Grupo 2<br>Desplazamiento angular<br>30° |  <p>Delta - diametral</p>                              |   | <p>Conectar y a x<sup>I</sup> a z<sup>I</sup> U a x</p> <p>Medir W-z, W-y<sup>I</sup>, U-W, V-z</p> <p>Relaciones de tensión</p> <p>1) W - z = W - y<sup>I</sup><br/>                 2) W - z &lt; U - W<br/>                 3) V - z = V - y<sup>I</sup></p>   |
|  |  <p>Y - Delta doble</p>                               |  | <p>Conectar U a x a x<sup>I</sup></p> <p>Medir W-z, W-y<sup>I</sup>, U-W, V-z</p> <p>V-y<sup>I</sup>, W-y, W-z<sup>I</sup>, V-y, V-z<sup>I</sup></p>  |
|  |  <p>Transformadores hexafásicos con derivaciones</p> |   | <p>Relaciones de tensión</p> <p>1) W - z = W - y<sup>I</sup><br/>                 2) W - z &lt; U - W<br/>                 3) V - z &lt; V - y<sup>I</sup><br/>                 4) W - y = W - z<sup>I</sup><br/>                 5) W - y &gt; U - W<br/>                 6) V - y &lt; V - z<sup>I</sup></p>  |

Nombre de la fuente: NTC 471.

### 3.2.6 Medición de las tensiones de corto circuito y medición de las pérdidas con carga. (norma NTC 1005)

Con esta norma se busca establecer los métodos de ensayo para definir la tensión de corto circuito de los transformadores.

#### 3.2.6.1 Condiciones generales

- Las mediciones se deben realizar en forma conjunta ya que la impedancia está conformada de una parte activa y otra reactiva, esto con el fin de obtener la tensión de corto circuito y las pérdidas totales, adicionalmente es posible obtener valores individuales si se miden de forma separada.<sup>45</sup>
- Se debe tener en cuenta que los valores de la impedancia se pueden encontrar entre los rangos del 1% y el 15% del valor correspondiente al voltaje nominal del devanado de excitación. Este valor se utiliza para determinar la tensión que se aplicaría en la prueba.<sup>46</sup>
- Se pueden calcular las componentes de la tensión de cortocircuito (resistiva y reactiva) mediante las siguientes ecuaciones:

$$U_r = \frac{P_z}{I} \quad (3-2)$$

$$U_x = \sqrt{U_z^2 - U_r^2} \quad (3-3)$$

Donde:

$U_r$  = caída de tensión resistiva, (V).

$U_x$  = caída de tensión reactiva, (V).

$U_z$  = tensión de cortocircuito, (V).

---

<sup>45</sup> TRANSFORMADORES. DETERMINACIÓN DE LA TENSIÓN DE CORTOCIRCUITO: ((ICONTEC), NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1005)

<sup>46</sup> TRANSFORMADORES. DETERMINACIÓN DE LA TENSIÓN DE CORTOCIRCUITO: ((ICONTEC), NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1005)

$P_z$  = potencia medida en la prueba, (W).

$I$  = intensidad en el bobinado de excitación, (A).

- d) Si se requiere conocer los valores de tensión por unidad, se deben dividir las tensiones  $U_r$ ,  $U_x$  y  $U_z$  entre la tensión nominal  $U_n$  que corresponde al devanado de excitación. Ahora si se requiere conoce el valor en porcentaje se debe multiplicar por 100.
- e) La temperatura influye en los resultados de las pérdidas de impedancia, a mayor temperatura la componente  $I^2R$  aumenta, por otro lado su unidad equivalente disminuye proporcionalmente.
- f) Si se necesita establecer que la potencia medida se encuentre a una temperatura diferente a la temperatura a que se realizó la prueba, se debe emplear las siguientes ecuaciones:

$$P_{r'} = P_r \frac{T_1 + T'}{T_1 + T} \quad (3-4)$$

$$P_{s'} = P_s \frac{T_1 + T}{T_1 + T} \quad (3-5)$$

Donde:

$P_s$  = pérdidas adicionales a la temperatura T.

$P_{r'}$  = pérdidas activas a la temperatura especificada T'.

$P_r$  = pérdidas activas a la temperatura T.

T = temperatura de ensayo en °C.

$T_1$  = 234,5 °C para el cobre y 225°C para el aluminio.

T = temperatura para determinar las pérdidas en °C.

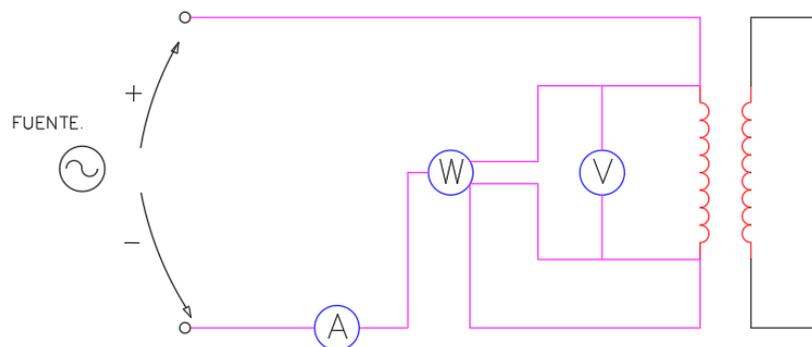
### 3.2.6.2 Medición de la temperatura, transformadores refrigerados por aire, (norma NTC 316 segunda actualización).

Para máquinas de transformación que son refrigeradas por aire, es necesario registrar la temperatura ambiente; esta temperatura no puede ser más baja que diez grados centígrados, ni superior que cuarenta grados centígrados. Si las temperaturas se ubican dentro de esta condición, no es correcto utilizar factores de corrección. Las pruebas se pueden realizar por fuera del rango anteriormente mencionando siempre y cuando los factores de corrección estén disponibles. Para establecer la temperatura del aire circundante, se requiere utilizar por lo menos de tres termocuplas o termómetros, instalados en gabinetes espaciados de forma uniforme alrededor de la máquina de transformación bajo ensayo.<sup>47</sup>

### 3.2.6.3 Método para el ensayo de tensión de cortocircuito para transformadores monofásicos de dos devanados

- a) Para realizar el ensayo se debe cortocircuitar el devanado secundario o de baja tensión para luego inyectar una tensión a frecuencia nominal, esto con el fin de que circule una corriente por los devanados, (ver Figura 3-8). Cuando no se obtenga un valor cercar a la corriente nominal, este valor no debe ser inferior al 25% de esta corriente.

**Figura 3-8** Diagrama para prueba de corto-circuito



**Nombre de la fuente:** NTC 1005

<sup>47</sup> TRANSFORMADORES. DETERMINACIÓN DE LA TENSIÓN DE CORTOCIRCUITO: ((ICONTEC), NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1005)

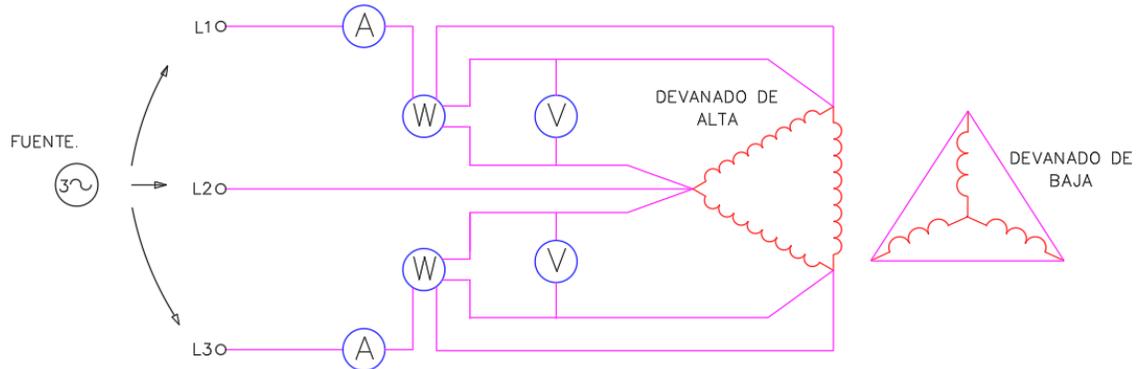
- b) Se capturan datos de medida en el amperímetro, vatímetro, voltímetro y frecuencímetro, se adaptan estos datos con la intensidad y frecuencia de los datos de la prueba.
- c) Una vez desconectada la máquina de transformación bajo prueba, se toman valores de medida de la potencia consumida arrojados por el vatímetro, esta potencia representa las pérdidas del equipo.
- d) Con medir y ajustar la corriente en el devanado excitado es suficiente, debido a que la intensidad en el bobinado en cortocircuito, tiene que encontrarse en el dato correcto (se exceptúa en el caso de un valor despreciable debido a la intensidad de excitación).
- e) Si es colocado el instrumento de medición en serie con el bobinado de corto circuito, con el fin de medir la intensidad, se consigue generar un error mayor en la impedancia, por causa de las pérdidas y la caída de tensión en el equipo.
- f) Los datos de temperatura del bobinado deben capturarse antes y después de la medida de tensión de cortocircuito; la media se determina como el dato verdadero.
- g) El conductor eléctrico utilizado para colocar en cortocircuito máquinas de transformación de menor tensión y alta corriente, tiene que contar con un diámetro  $\geq$  que los conductores que se encuentren conectados en los terminales del devanado correspondiente, debe ser tan corto como sea posible y conservarse alejado de masas magnéticas. Los contactos deben estar limpios y bien ajustados.
- h) Si se conoce la resistencia medida y la corriente que se utilizó en el ensayo podemos calcular las pérdidas  $I^2R$ , adicionalmente se pueden obtener otras pérdidas si restamos las pérdidas  $I^2R$  de la potencia medida  $P_z$ .

#### **3.2.6.4 Método para el ensayo de tensión de cortocircuito para transformadores trifásicos con tensión trifásica.**

Procedimiento: los 3 terminales del bobinado de baja tensión tienen que acoplarse de forma segura y rígida, en el devanado de alta tensión se aplica una tensión trifásica

balanceada de frecuencia nominativa y valor conveniente con el objetivo de hacer transitar la intensidad nominativa, (ver Figura 3-9).<sup>48</sup>

**Figura 3-9** Diagrama para prueba de corto-circuito en transformador trifásico con tensión trifásica



**Nombre de la fuente:** NTC 1005

- El procedimiento para transformadores monofásicos es similar, excepto que las conexiones y medidas son trifásicas en lugar de monofásicas.
- Los valores entregados por los vatímetros deben ser aproximadamente iguales y deben ser sumados algebraicamente para obtener así, las pérdidas totales.
- En el caso de que las tres corrientes de línea no puedan ser balanceadas se toman los valores eficaces promedios<sup>49</sup>

### 3.2.7 Ensayo para la determinación de pérdidas y corriente sin carga “en vacío”. (norma NTC 1031)

Aquí se instituyen las pruebas a los cuales es necesario someter a las máquinas de transformación, para estipular sus pérdidas e intensidad en vacío.

<sup>48</sup> TRANSFORMADORES. DETERMINACIÓN DE LA TENSIÓN DE CORTOCIRCUITO: ((ICONTEC), NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1005)

<sup>49</sup> TRANSFORMADORES. DETERMINACIÓN DE LA TENSIÓN DE CORTOCIRCUITO: ((ICONTEC), NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1005)

### 3.2.7.1 Condiciones generales

- a) El campo magnético que se genera en los transformadores que se encuentra sin carga, es el que produce pérdidas, principalmente en el hierro del núcleo y son una función de la frecuencia, de la magnitud, de la máxima densidad del flujo y la apariencia de la onda del voltaje inyectado.
- b) Si el transformador se encuentra en vacío se generan pérdidas que afectan a la corriente y la tensión, las cuales son muy sensibles a los cambios en la forma de onda.
- c) Cuando no existe una carga en el transformador la corriente presenta una característica distorsionada lo cual ocasiona que se transmita al generador y su tensión también se distorsione, de igual manera pasa con las pérdidas que corresponden a una onda sinusoidal.
- d) Con base en una onda sinusoidal de tensión se determinan las pérdidas sin carga, a no ser que una forma de onda desigual sea constitutiva a la acción de la máquina de transformación.
- e) El valor promedio absoluto que arroja el instrumento de medida (voltímetro), se tiene que utilizar para dar corrección a las pérdidas en vacío con una onda sinusoidal de tensión suministrada.
- f) Las pérdidas que se generan sin carga como las corrientes parasitas y la histéresis, en gran parte dependen de la forma de onda y se encuentran en función de la densidad máxima que tenga el flujo en el núcleo.
- g) Las propiedades que existen en los materiales ferrosos que se usan, producen las pérdidas por histéresis.
- h) Cuando el material de un conductor experimenta cambios en su campo magnético, este produce perdidas por corrientes parasitas que dependen de la tensión de excitación y cambian de acuerdo al valor eficaz de la tensión. Al realizar el ensayo el valor de la tensión puede que no sea la eficaz ya que la lectura del voltímetro indica un valor promedio, por lo tanto se debe corregir por medio de la ecuación 3-6.<sup>50</sup>

---

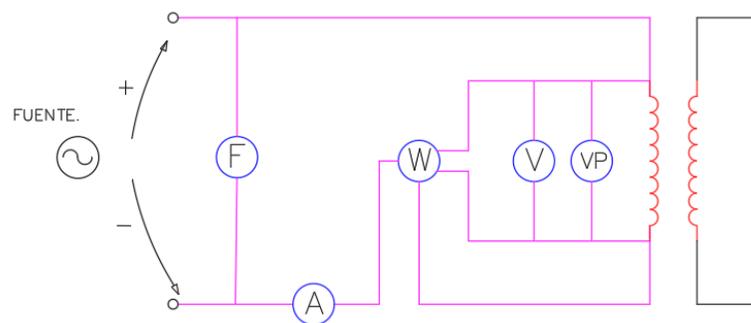
<sup>50</sup> TRANSFORMADORES. ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS Y CORRIENTE SIN CARGA: ((ICONTEC), NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1031)

- i) Las características de fabricación y de uso del núcleo en acero de un transformador tales como uniones en el núcleo, fatigas mecánicas producidas por la fabricación, cambios en la estructura del entrehierro, entre otras, pueden generar diferentes pérdidas cuando este se encuentra sin carga.

### 3.2.7.2 Procedimiento para determinar pérdidas sin carga en transformadores monofásicos utilizando el método de voltímetro de lectura de valores promedio absolutos.

- a) Cuando el valor promedio de la tensión se ajusta para que este sea igual a la onda sinusoidal manteniendo la frecuencia adecuada se puede indicar que las pérdidas por histéresis deben ser iguales a la onda sinusoidal esperada.
- b) La onda de tensión no se utiliza cuando la lectura del voltímetro no es correcta, es decir, si su valor promedio de onda tiene más de un pico máximo y mínimo en cada ciclo.<sup>51</sup>
- c) Para realizar este ensayo utilizamos un voltímetro para lecturas de valores promedio y otro para lecturas de valor eficaz, esto con el fin de usar ambas lecturas y poder corregir las pérdidas que se producen sin carga utilizando la ecuación 3-6.
- d) En la Figura 3-10 se indica el equipo requerido y la conexión que debe realizarse cuando no se necesita el transformador de medida.

**Figura 3-10** Ilustración de instalación cuando no se requiere transformador de medida



**Nombre de la fuente:** NTC 1031

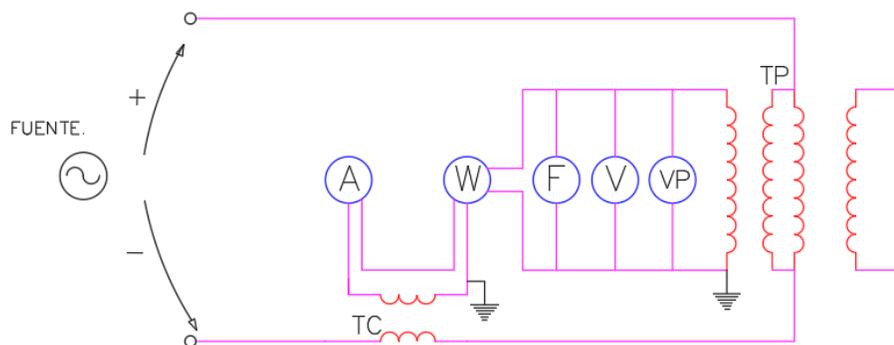
<sup>51</sup> TRANSFORMADORES. ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS Y CORRIENTE SIN CARGA: ((ICONTEC), NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1031)

Donde:

F= Frecuencímetro, A=Amperímetro, W=Watímetro, V=Voltímetro, VP= Voltímetro de lectura de datos promedio.

- e) En la Figura 3-11 se indica el equipo requerido y la conexión que debe realizarse cuando se necesita el transformador de medida.
- f) El amperímetro y el voltímetro se deben conectar cerca de la carga, entre ellos debe estar el vatímetro junto con el devanado de potencial y al lado de la fuente debe estar el devanado de corriente, tal como se muestra en la Figura 3-11.
- g) En los sucesos que se utilicen transformadores de medida con el fin de medir las pérdidas en vacío, éstos tienen que ser de una precisión en conformidad con la NTC 2743.

**Figura 3-11** Ilustración de instalación cuando se requiere transformador de medida



**Nombre de la fuente:** NTC 1031

Donde:

F= Frecuencímetro, A=Amperímetro, W=Watímetro, V=Voltímetro, VP= Voltímetro de lectura de datos promedio, TC=Transformador de corriente, TP=Transformador de potencial.

- h) En el caso de que se quieran manejar resistencias multiplicadoras en serie con la bobina de potencial del equipo en reemplazo de transformadores de potencial, se

tiene que tener especial atención para hacer segura su aplicación, teniendo presente que dichas resistencias deben calibrarse con el instrumento.<sup>52</sup>

- i) Para que los resultados resulten correctos, se deben emplear vatímetros análogos de reducido factor de potencia o digitales, conforme la NTC 2743.
- j) Se recomienda utilizar el devanado de baja tensión para la realización de este ensayo, aunque en la práctica se puede hacer en cualquiera de los devanados, tanto el de baja como en el de alta tensión. Si por algún motivo sólo es posible emplear una parte del devanado, dicha parte no debe estar por debajo del 25% del total del devanado. Lo ideal es siempre utilizar el 100% del devanado en el ensayo.
- k) Se inicia con la frecuencia nominal del transformador que se encuentra bajo el ensayo, ajustándose la frecuencia al valor indicado durante el ensayo, utilizando este frecuencímetro, el margen debe estar dentro de  $\pm 5\%$  del valor nominal de la frecuencia.
- l) Se capturan lecturas de corriente, potencia, voltaje eficaz (rms), voltaje promedio, frecuencia y temperatura. Seguidamente se desenergiza la máquina de transformación bajo prueba, se registra el dato del vatímetro, este valor representa las pérdidas de los equipos interconectados (incluido el transformador de potencial en caso de usarse). El valor registrado debe descontarse de la lectura anterior del vatímetro, para finalmente conseguir registrar las pérdidas en vacío de la máquina de transformación bajo prueba.
- m) Podemos determinar las pérdidas totales sin carga del transformador con la siguiente ecuación 3-6:

$$P_c(T_m) = \frac{P_m}{P_1 + kP_2} \quad (3-6)$$

Donde:

$P_c(T_m)$  = pérdidas sin carga, corregidas por perfil de onda a temperatura ( $T_m$ )

$P_m$  = pérdidas sin carga medidas a temperatura ( $T_m$ )

---

<sup>52</sup> TRANSFORMADORES. ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS Y CORRIENTE SIN CARGA: ((ICONTEC), NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1031)

$P_1$  = pérdidas por histéresis por unidad, referidas a  $P_m$

$P_2$  = pérdidas por intensidades parásitas, referidas a  $P_m$

$T_m$  =

- Para máquinas de transformación sumergidas en líquido se toma la temperatura del líquido en el punto máximo al instante del ensayo en °C.
- Para máquinas de transformación secas se toma la temperatura media del núcleo entre la parte superior y la inferior.

$$k = \left(\frac{U_r}{U_a}\right)^2 \quad (3-7)$$

Donde:

$U_r$  = valor de la tensión eficaz medida por el voltímetro (r.m.s.), tensión de prueba.

$U_a$  = valor de la tensión promedio medida por el voltímetro, tensión de prueba.

- n) Para poder determinar las pérdidas y la corriente sin carga es necesario que la forma de onda de la tensión no genere que la corrección (k) sea mayor al 5%, es decir, se debe aplicar la ecuación 3-7 si la forma de onda tiene una distorsión moderada.
- o) Cuando no se conocen los valores de las pérdidas por corrientes parásitas y por histéresis se les debe asignar el valor de 0.5 por unidad para ambas, sin embargo si conocemos los valores reales se deben utilizar.

### 3.2.7.3 Procedimiento para la determinación de las pérdidas sin carga, en transformadores trifásicos

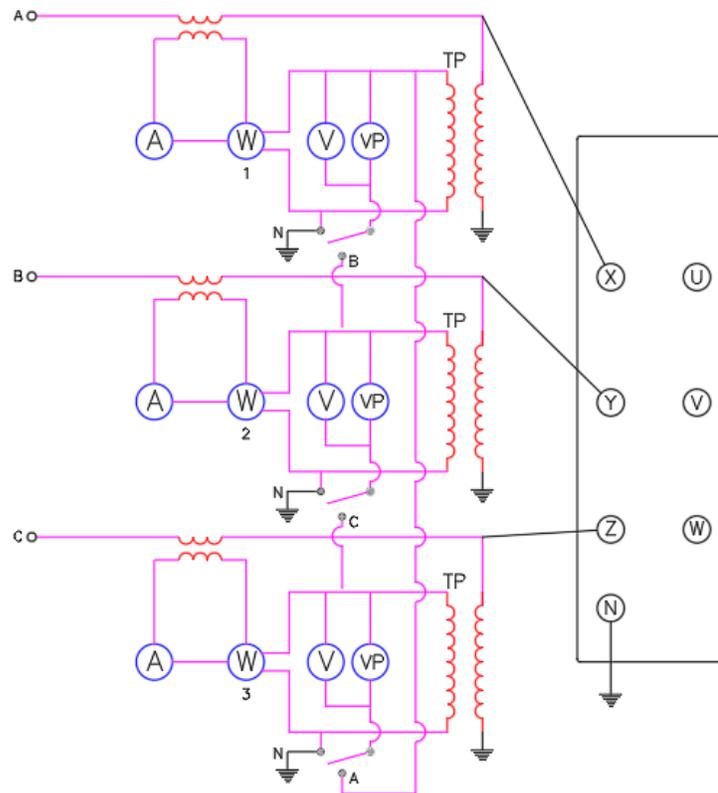
Lo anteriormente descrito con respecto a los transformadores monofásicos se aplica también para los transformadores trifásicos, teniendo presente las siguientes modificaciones y adiciones.

- a) En la Figura 3-12 se hace un perfil del instrumento y las interconexiones requeridas para desarrollar las mediciones de las pérdidas en vacío de una máquina de transformación trifásica en el caso de utilizar transformadores de medida. Se debe

utilizar el método de los tres vatímetros para determinar las pérdidas sin carga de un transformador trifásico durante las respectivas pruebas.

- b) Para obtener las pérdidas sin carga se conectan tres vatímetros entre la fase y el neutro, cada uno en una fase respectiva, con el fin de sumar sus lecturas y conocer el valor total. Cuando no existe el neutro se puede crear provisionalmente, (ver Figura 3-12).

**Figura 3-12** Esquema de conexión de tres vatímetros para obtener las pérdidas sin carga en transformadores trifásicos.



**Nombre de la fuente:** NTC 1031

**Nota:** para transformadores conectados YY el neutro de la fuente tiene que estar disponible en el evento de que no estén presentes bobinados en delta que proporcionen recorridos de regreso desde el neutro de la máquina de transformación.

Para devanados conectados en delta los voltímetros deben ser conectados línea-línea, o para devanados en Y se deben conectar línea-neutro.

- c) La interconexión de los equipos para medir voltaje tiene que ser de tal manera que la forma de onda adaptada a estos sea igual a la que la forma de onda a través de los bobinados con tensión, entonces, dependiendo de si los devanados energizados del transformador durante la prueba están conectados en Y o  $\Delta$ .
- d) Para el ensayo en transformadores trifásicos se debe ajustar al valor promedio leído por los voltímetros de cada fase.
- e) Para conocer la corriente sin carga en un transformador trifásico se calcula con el promedio de la magnitud de corriente por cada fase.

#### 3.2.7.4 Corrección por temperatura de las pérdidas sin carga

- a) Las pérdidas sin carga varían con la temperatura del núcleo, por lo que se requiere una temperatura de referencia. La temperatura de referencia estándar,  $T_r$  para las pérdidas sin carga de transformadores es 20°C.
- b) Cambios en la temperatura del núcleo, cambios en la estructura del núcleo debido a las fatigas mecánicas y cambios en la resistividad del acero en el núcleo crean el decrecimiento en las pérdidas sin carga por el incremento en la temperatura. Todos estos factores cambian de proyecto en proyecto, inclusive entre máquinas transformadoras del mismo proyecto, por lo que no resulta útil determinar una fórmula puntual para cuantificar el cambio de temperatura en todo el rango de acción de las máquinas transformadoras.<sup>53</sup>
- c) Si se cumplen las siguientes consideraciones, no se verían afectadas de forma significativa las pérdidas sin carga por lo que no se necesitaría aplicar las correcciones por temperatura.

Para transformadores sumergidos en líquido refrigerante:

- La temperatura de referencia  $T_r$ , indica que la temperatura del líquido refrigerante debe oscilar entre -10°C y +10°C en el nivel superior.

---

<sup>53</sup> TRANSFORMADORES. ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS Y CORRIENTE SIN CARGA: ((ICONTEC), NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1031)

- Entre la temperatura del fondo y la del nivel superior, su diferencia no sobrepasa los 5°C.

Para transformadores secos:

- La temperatura de referencia  $T_r$ , indica que la temperatura del núcleo debe oscilar entre -10°C y +10°C en el nivel superior.
  - Entre la temperatura del nivel inferior y el superior, su diferencia no sobrepasa los 5°C.
- d) Si el ensayo se realiza con temperaturas que están por fuera de los rangos establecidos, se aplica la siguiente fórmula empírica para corregir estas pérdidas medidas en vacío a la temperatura de referencia:<sup>54</sup>

$$P_r(T_r) = P_c(T_m)[1 + (T_m - T_r)K_t] \quad (3-8)$$

Donde:

$P_c(T_r)$  = pérdidas en vacío, corregidas a la temperatura de referencia ( $T_r$ )

$P_c(T_m)$  = pérdidas en vacío, corregidas por forma de onda, a la temperatura ( $T_m$ )

$T_r$  = temperatura de referencia, en °C.

$K_T$  = valor empírico por unidad de cambio en las pérdidas en vacío por °C.

- e) Se puede utilizar un valor de 0.00065 por unidad de cambio por °C si el dato real de  $K_T$  no está disponible. Este dato es característico para núcleos fabricados de acero al silicio de grano orientado y es conveniente como forma de corregir las pérdidas en vacío en casos donde la máquina de transformación debe ser probada fuera de la condición de temperatura especificada.<sup>55</sup>

---

<sup>54</sup> TRANSFORMADORES. ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS Y CORRIENTE SIN CARGA: ((ICONTEC), NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1031)

<sup>55</sup> TRANSFORMADORES. ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS Y CORRIENTE SIN CARGA: ((ICONTEC), NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1031)

## 4. Capítulo 4: Diseño e implementación

Teniendo presente las normas NTC 3654 y NTC 3445 para el diseño y fabricación que están establecidas para un transformador tipo seco y las normas IEC 60076-1, IEC 60076-2, IEC 60076-3, IEC 60076-4, IEC 60076-5, ANSI/IEEE Std C57.12.01-1998, ANSI/IEEE Std C57.96 -1999, NTC IEC 60529, NTC-ISO-IEC 17025, NTC 2743 y NTC 380 para las pruebas eléctricas, se realiza el diseño y construcción del banco para prácticas y pruebas eléctricas en transformadores.

El principal objetivo es el de implementar en el laboratorio de la Universidad Antonio Nariño, un banco de prácticas y pruebas para transformadores monofásicos y trifásicos, para esto, en el proceso de diseño se establecen parámetros técnicos con base en el tipo de equipo y las condiciones de operación, partiendo de ahí se define que el banco debe ser móvil, de un costo moderado, de fácil manejo, con buena maniobrabilidad, debe cumplir con todas las normas de seguridad eléctrica mencionadas anteriormente, debe poder ser operado por los alumnos con una inducción fácil y rápida por parte del encargado.

En su interior se instalan tres transformadores secos de fácil visualización, pero de difícil acceso manual, cada uno de 2 kVA de potencia, se instalan los instrumentos eléctricos que permitirán recopilar la información requerida para el correcto desarrollo de las pruebas de laboratorio. Cuenta con un tablero frontal en forma de mímico que permita una fácil interacción con los transformadores a conectar según la prueba a realizar.

## 4.1 Diseño eléctrico

Los planos eléctricos de potencia y control del banco de pruebas son elaborados en el software EPLAN Electric. El banco cuenta con las siguientes características:

1. Tiene una capacidad máxima de 6 kVA a 220 VAC.
2. La tensión máxima requerida para operar es de 220 VAC trifásicos.
3. Cuenta con tres transformadores monofásicos tipo seco, la potencia de cada uno es de 2 kVA, voltaje en el primario 110 VAC / Voltaje en el secundario 220 VAC.
4. Equipos para alimentación del control, con sus respectivas protecciones magneto térmicas.
5. 2 analizadores de redes, uno para realizar mediciones por baja y otro por alta tensión, con las siguientes características:
  - Voltaje (fase-neutro, fase-fase y valores del sistema)
  - Corrientes de fase y neutro
  - Potencia Activa (P), Reactiva (Q) y Aparente (S) por fase y total
  - Factor potencia de cada fase y equivalente
  - Frecuencia
  - Asimetría de corriente y tensión ASY (VLL), ASY (VLN), ASY (I)
  - Distorsión armónica total por fase en voltaje THD-V (L-L) y THD-V (L-N)
  - Distorsión armónica total por fase en corriente THD-I (L)
  - Contadores de energía activa, reactiva importada y exportada, parcial y total (kWh, kVARh, kVAh)
  - Contador de horas (total y parcial)
  - Función de promedios de variables medidas.
  - Demanda acumulada de variables medidas.
  - Indicación y Registro de valores máx. y min. de variables medidas.
6. Seis transformadores de corriente seleccionados a partir del cálculo para el modelo real del transformador.
7. Accesorios para conexiones eléctricas seguras.
8. Barraje de distribución, protecciones magneto térmicas, equipos de señalización mando y control, bornes de conexión, fungibles de montaje (canaleta, conductores eléctricos, terminales, rieles, marcación, etc.).

En la Tabla 4-1 se presentan los datos que se obtuvieron de las pruebas realizadas en laboratorio a un transformador reductor de 2 kVA y 220/110 V, 60 Hz. (ver Anexo C: Pruebas transformadores (FAT)).

**Tabla 4-1** Datos obtenidos pruebas FAT.

| DATOS OBTENIDOS PRUEBAS FAT   |                             |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Circuito abierto (lado de BT) | Cortocircuito (lado de AT). |
| $V = 110 V$                   | $V_{CC} = 8 V$              |
| $I = 1,2 A$                   | $I_{CC} = 9,1 A$            |
| $P = 30 W$                    | $P_{CC} = 234 W$            |

Determinaremos el circuito equivalente del transformador como se observa desde a) el lado de alta y b) el lado de bajo voltaje.

#### 4.1.1 Ensayo de vacío

Debido a que la prueba de circuito abierto debe realizarse con el voltaje especificado en las terminales, los datos anteriores nos indican que la prueba se ejecutó en el lado de bajo voltaje. Por lo tanto, la resistencia equivalente (rama de magnetización) de la pérdida en el núcleo referida al lado de bajo voltaje es:

$$R_{mL} = \frac{110^2 V}{30 W} = 403.33 \Omega \quad (4-1)$$

La potencia aparente en condiciones sin carga referida al lado de bajo voltaje es:

$$S_{OC} = V_{OC} I_{OC} = 110 V * 1,2 A = 132 VA \quad (4-2)$$

Luego, la potencia reactiva referida al lado de bajo voltaje es:

$$Q_{oc} = \sqrt{132^2 VA - 30^2 W} = 128.55 VAR \quad (4-3)$$

Por tanto, la reactancia de magnetización referida al lado de bajo voltaje es:

$$X_{mL} = \frac{110^2 V}{128.55 VAR} = 94.127 \Omega \quad (4-4)$$

La resistencia de pérdida en el núcleo y la reactancia de magnetización referidas al lado de alto voltaje se obtuvieron así:

$$a = \frac{220}{110} = 2 \quad (4-5)$$

$$R_{mH} = a^2 R_{mL} = (2^2)(403.33 \Omega) = 1.61 k\Omega \quad (4-6)$$

$$X_{mH} = a^2 X_{mL} = (2^2)(94.127 \Omega) = 0.38 k\Omega \quad (4-7)$$

Teniendo en cuenta que la corriente asignada del primario es:

$$I_{CC} = \frac{S}{V_H} = \frac{2000 VA}{220 V} = 9.1 A \quad (4-8)$$

La corriente de vacío  $I = 1.2 A$  representa un valor relativo:

$$\frac{I}{I_{CC}} = \frac{1.2}{9.1} = 13.19 \% \quad (4-9)$$

## 4.1.2 Ensayo de cortocircuito

Debido que la corriente de cortocircuito es de 9.1 A, la prueba se ejecutó en el lado de alto voltaje, entonces:

$$R_{eH} = \frac{P_{SC}}{I_{SC}^2} = \frac{234 \text{ W}}{9.1^2 \text{ A}} = 2.826 \Omega \quad (4-10)$$

$$Z_{eH} = \frac{V_{SC}}{I_{SC}} = \frac{8 \text{ V}}{9.1 \text{ A}} = 0.88 \Omega \quad (4-11)$$

$$X_{eH} = \sqrt{2.826^2 \Omega - 0.88^2 \Omega} = 2.685 \Omega \quad (4-12)$$

Los parámetros del devanado referido al lado de bajo voltaje son:

$$R_{eL} = \frac{R_{eH}}{a^2} = \frac{2.826 \Omega}{2^2} = 0.706 \Omega \quad (4-13)$$

$$X_{eL} = \frac{X_{eH}}{a^2} = \frac{2.685 \Omega}{2^2} = 0.671 \Omega \quad (4-14)$$

El valor relativo de la tensión de cortocircuito es:

$$\varepsilon_{CC} = \frac{V_{CC}}{V_H} * 100 = \frac{8}{220} = 3.6 \% \quad (4-15)$$

Al ocurrir una falla de cortocircuito en el transformador, la corriente correspondiente, que aparece en el primario será:

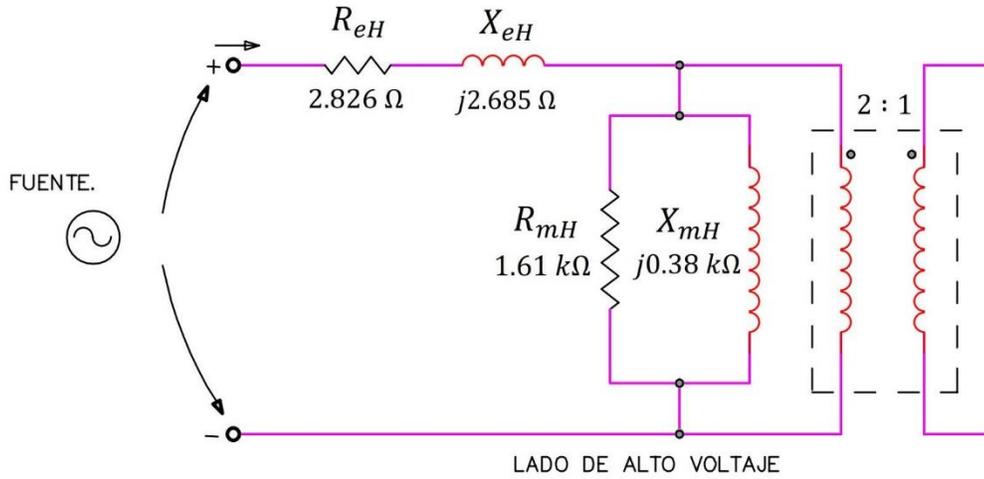
$$I_{Hfalla} = \frac{100}{3.6} * 9.1 \text{ A} = 252.7 \text{ A} \quad (4-16)$$

Que corresponde al secundario a una intensidad:

$$I_L = \frac{S}{V_L} = \frac{2000 \text{ VA}}{110 \text{ V}} = 18.2 \text{ A} \quad (4-17)$$

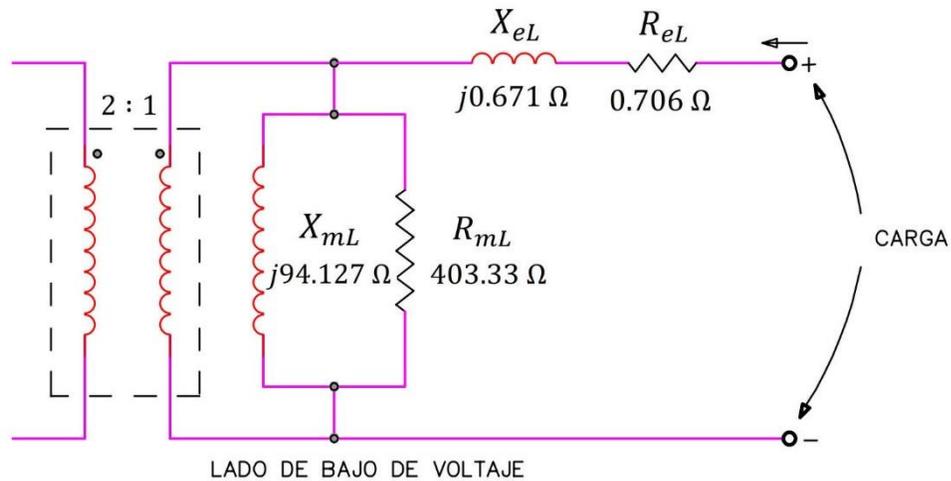
$$I_{Lfalla} = \frac{100}{\varepsilon_{CC}} * I_L = \frac{100}{3.6} * 18.2 \text{ A} = 505.5 \text{ A} \quad (4-18)$$

**Figura 4-1** Circuito equivalente aproximado observado desde el lado de alto voltaje



**Nombre de la fuente:** Elaboración propia.

**Figura 4-2** Circuito equivalente aproximado observado desde el lado de bajo voltaje



**Nombre de la fuente:** Elaboración propia.

Los circuitos equivalentes aproximados como se observaron desde los lados de alto y bajo voltaje se muestran en la Figura 4-1 y la Figura 4-2 respectivamente. Con el objetivo de trazar un circuito equivalente exacto, pueden segregarse las resistencias de los devanados y las reactivas de dispersión, es decir:

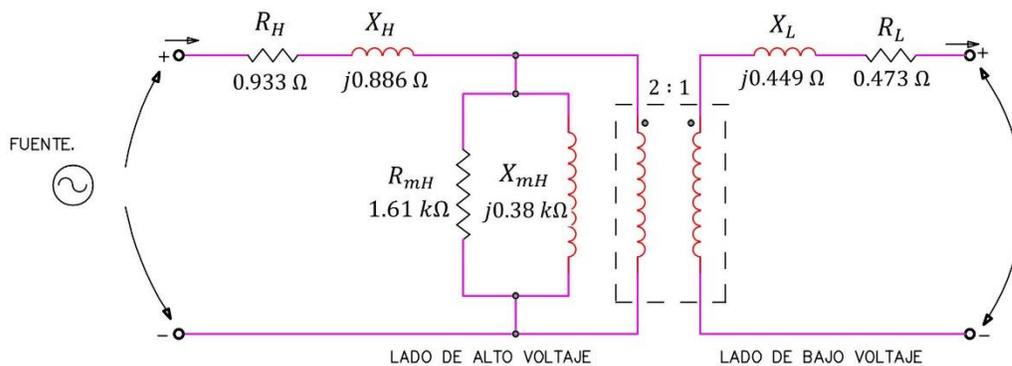
$$R_H = 0.33(R_{eH}) = 0.33(2.826 \Omega) = 0.933 \Omega \quad (4-19)$$

$$X_H = 0.33(X_{eH}) = 0.33(2.685 \Omega) = 0.886 \Omega \quad (4-20)$$

$$R_L = \frac{0.67(R_{eH})}{a^2} = \frac{0.67(2.826 \Omega)}{2^2} = 0.473 \Omega \quad (4-21)$$

$$X_L = \frac{0.67(X_{eH})}{a^2} = \frac{0.67(2.685 \Omega)}{2^2} = 0.449 \Omega \quad (4-22)$$

**Figura 4-3** Circuito equivalente exacto del transformador



**Nombre de la fuente:** Elaboración propia.

### 4.1.3 Ensayos módulo trifásico

En el banco será posible ensamblar un transformador trifásico, conectando los tres transformadores monofásicos con los que cuenta, cada uno de 2000 VA y 220/110 VAC. Las constantes para cada transformador según los resultados anteriores son:

$R_H = 0.933 \Omega$ ,  $X_H = 0.886 \Omega$ ,  $R_L = 0.473 \Omega$ ,  $X_L = 0.449 \Omega$ ,  $R_{mH} = 1.61 k\Omega$  y  $X_{mH} = 0.38 k\Omega$

Para cada una de las cuatro configuraciones, determinaremos el voltaje nominal y las especificaciones de potencia del transformador trifásico. Trazaremos la disposición de los devanados y el circuito equivalente por fase para cada configuración.

La especificación de potencia de un transformador trifásico para cada conexión es:

$$S_{3\phi} = 3 * 2000 VA = 6000 VA \text{ o } 6 kVA \quad (4-23)$$

**a) Para cada conexión Y/Y, los valores nominales de los voltajes de línea en los lados primario y secundario son:**

$$V_{1L} = \sqrt{3} * 220 V = 381.05 V \quad (4-24)$$

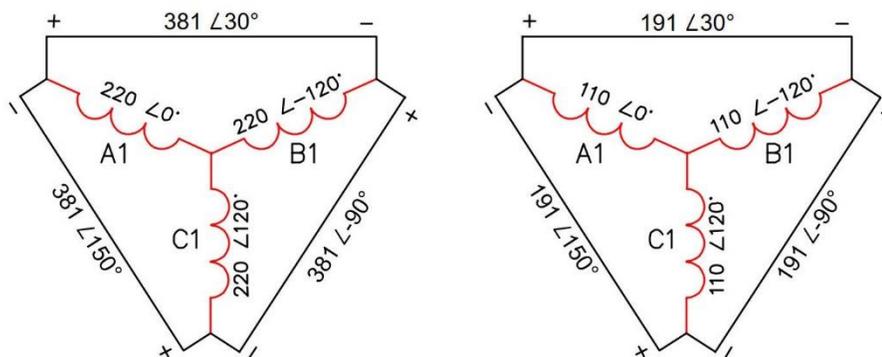
$$V_{2L} = \sqrt{3} * 110 V = 190.53 V \quad (4-25)$$

Luego, las especificaciones nominales para el transformador trifásico son:

$$6 kVA \quad 381.05 / 190.53 V \quad \text{Conexión } \frac{Y}{Y}$$

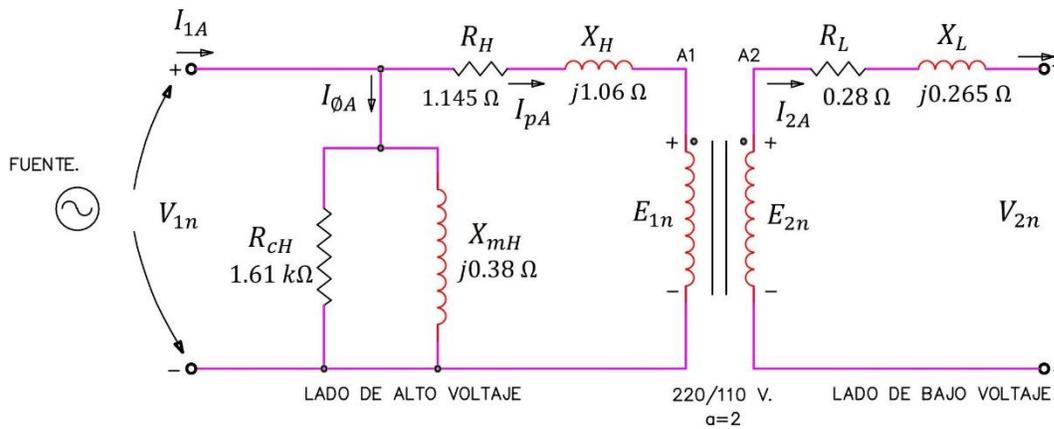
La disposición de los devanados y el circuito equivalente por fase se muestran a continuación:

**Figura 4-4** Disposición de los devanados, así como voltajes de fase y de línea.



Nombre de la fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-5** Circuito equivalente por fase.



Nombre de la fuente: Elaboración propia.

b) Los valores nominales de los voltajes de línea, para una conexión Δ/Δ son:

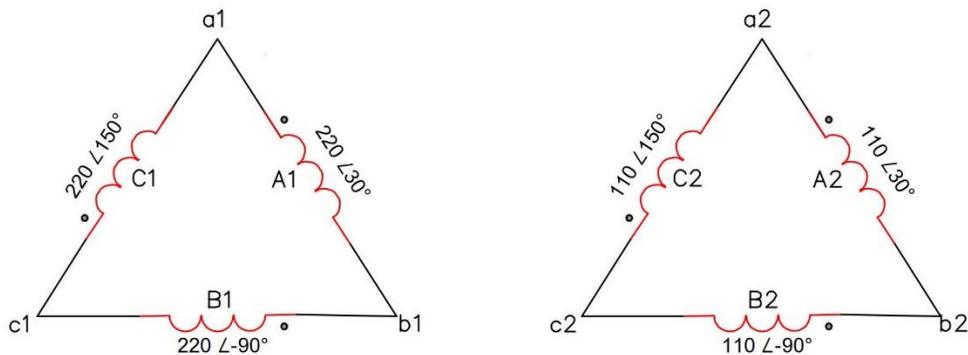
$$V_{1L} = 220 \text{ V} \quad V_{2L} = 110 \text{ V}$$

Por tanto, las especificaciones nominales en el transformador trifásico son:

$$6 \text{ kVA} \quad 220 / 110 \text{ V} \quad \text{Conexión } \Delta/\Delta$$

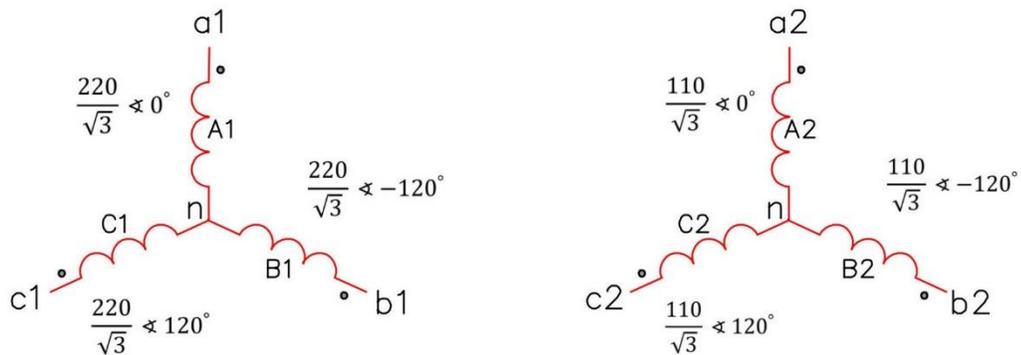
Las conexiones de los devanados, la representación equivalente Y/Y y el circuito equivalente por fase se ilustran en las siguientes figuras respectivamente:

**Figura 4-6** Disposición de los devanados.



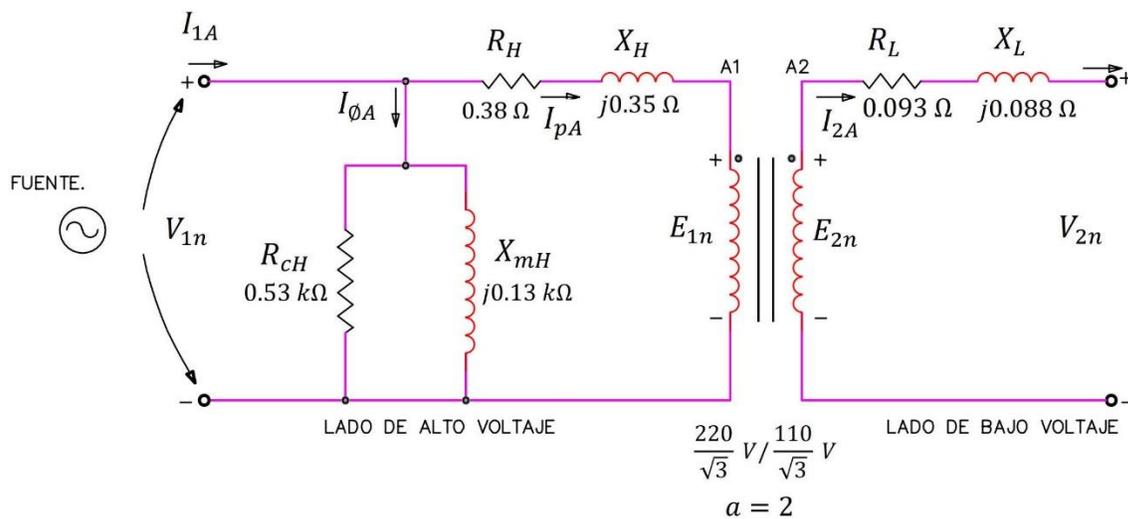
**Nombre de la fuente:** Elaboración propia.

**Figura 4-7** Representación equivalente Y/Y.



**Nombre de la fuente:** Elaboración propia.

**Figura 4-8** Circuito equivalente por fase.



**Nombre de la fuente:** Elaboración propia.

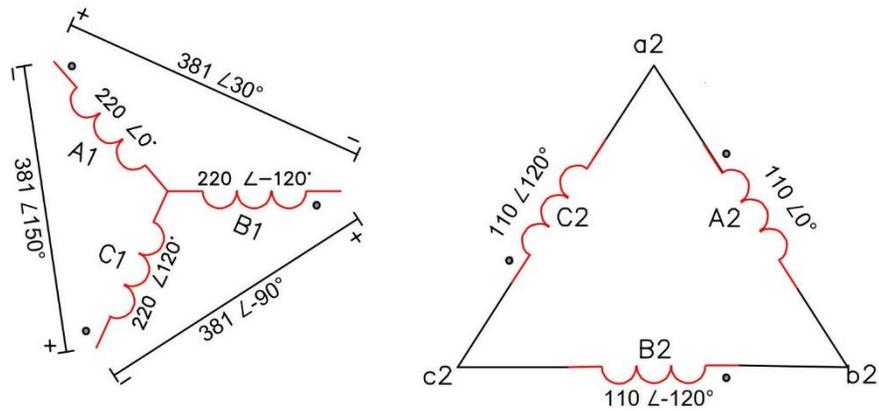
c) Cuando se conectan los devanados primario y secundario de tres transformadores monofásicos para formar una conexión Y/Δ trifásica, las especificaciones nominales del transformador trifásico son:

$$6 \text{ kVA} \quad 381 / 110 \text{ V} \quad \text{Conexión Y}/\Delta$$

$$E_{1n} = aE_{2n} \angle 30^\circ \quad I_{pA} = \frac{1}{a} I_{2A} \angle 30^\circ$$

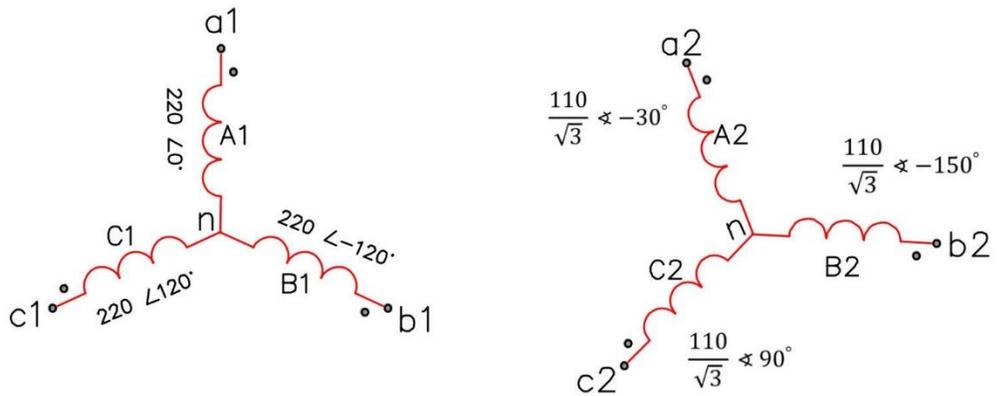
La disposición de los devanados y el circuito equivalente por fase se muestran a continuación:

**Figura 4-9** Disposición de los devanados.



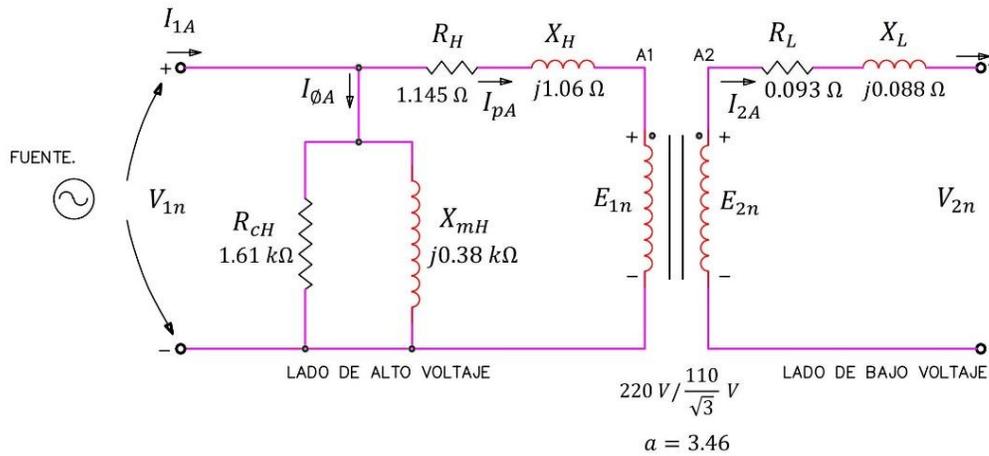
**Nombre de la fuente:** Elaboración propia.

**Figura 4-10** Representación equivalente Y/Y.



**Nombre de la fuente:** Elaboración propia.

**Figura 4-11** Circuito equivalente por fase.



Nombre de la fuente: Elaboración propia.

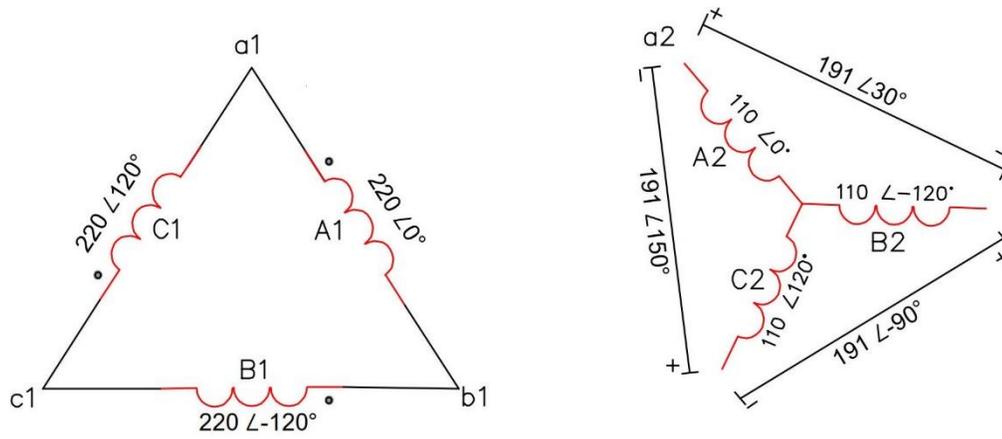
- d) Cuando se conectan los devanados primario y secundario de los tres transformadores monofásicos se conectan para formar una conexión trifásica  $\Delta/Y$ , las especificaciones nominales del transformador trifásico son:

$$6 \text{ kVA} \quad 220 / 190.53 \text{ V} \quad \text{Conexión } \frac{\Delta}{Y}$$

$$E_{1n} = aE_{2n} \angle 30^\circ \quad I_{pA} = \frac{1}{a}I_{2A} \angle 30^\circ$$

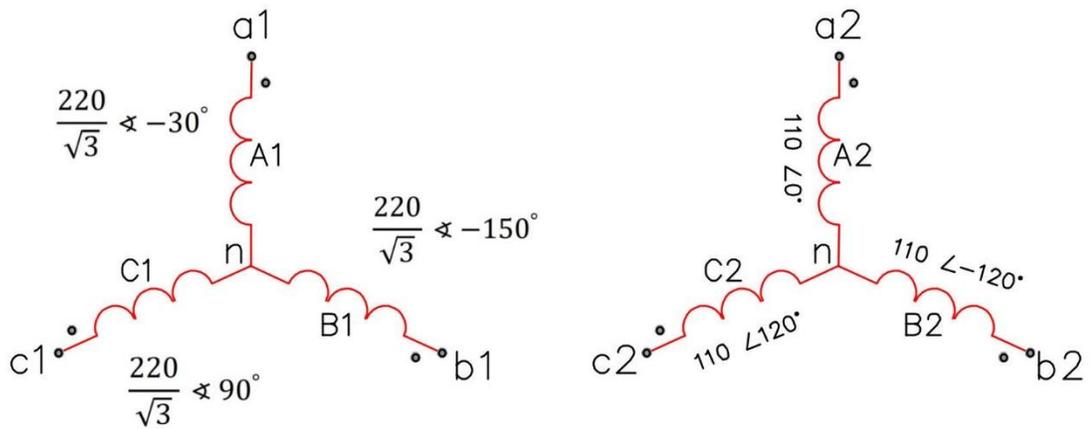
La disposición de los devanados y el circuito equivalente por fase se muestran a continuación:

**Figura 4-12** Disposición de los devanados.

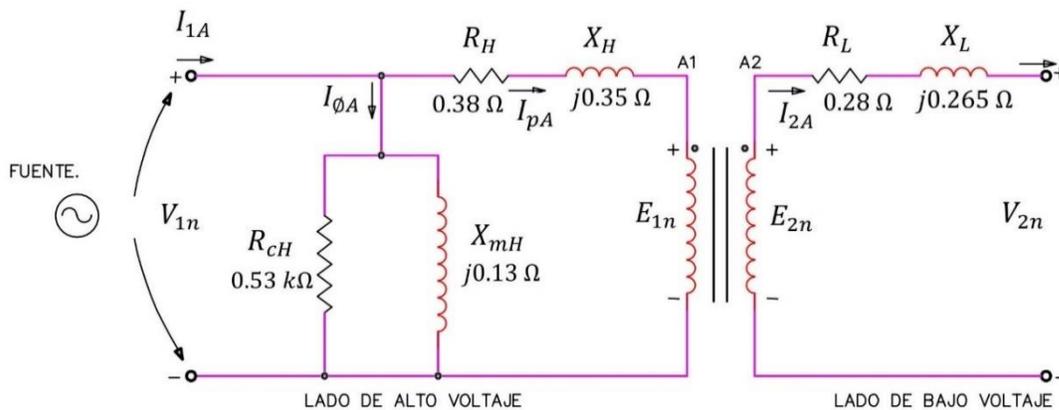


**Nombre de la fuente:** Elaboración propia.

**Figura 4-13** Representación equivalente Y/Y.



**Nombre de la fuente:** Elaboración propia.

**Figura 4-14** Circuito equivalente por fase.

**Nombre de la fuente:** Elaboración propia.

Para la realización de los planos eléctricos se utiliza el software EPLAN Electric, donde se modelan los circuitos eléctricos teniendo presente las características del banco y las conexiones que se quieren realizar en cada una de las prácticas, por lo tanto, se establecieron las siguientes condiciones para el desarrollo de los planos eléctricos:

1. Por ningún motivo se debe tener ambos barrajes alimentados de fuentes independientes.
2. Todas las posibles conexiones deben contar con su respectiva protección magnetotérmica.
3. Solo estará en funcionamiento lo estrictamente requerido de acuerdo a la práctica que se realizará.
4. Los equipos de medición siempre estarán prestos para ser utilizados en cualquiera de las prácticas.
5. El sistema de control eléctrico garantiza la protección de las personas y del equipo en el caso de que pueda existir algún error de manipulación en el banco de prácticas, sin embargo, es importante aclarar que el banco se debe manipular conservando las debidas medidas de precaución.

La información en detalle se puede consultar en el Anexo D: Planos eléctricos.

## 4.2 Diseño mecánico

### 4.2.1 Construcción

Para la construcción del banco de prácticas y pruebas eléctricas para transformadores y después de haber seleccionado los equipos eléctricos, se procede a realizar el dimensionamiento real donde se define un plano mecánico elaborado en el software Autodesk Inventor Professional para concretar la forma real en su diseño.

Se procede a realizar un escalamiento de los siguientes componentes:

- Transformadores monofásicos de 2 kVA
- Transformador variable de voltaje VARIAC (equipo futuro)
- Analizadores de red
- Transformadores de corriente
- Interruptores
- Accesorios

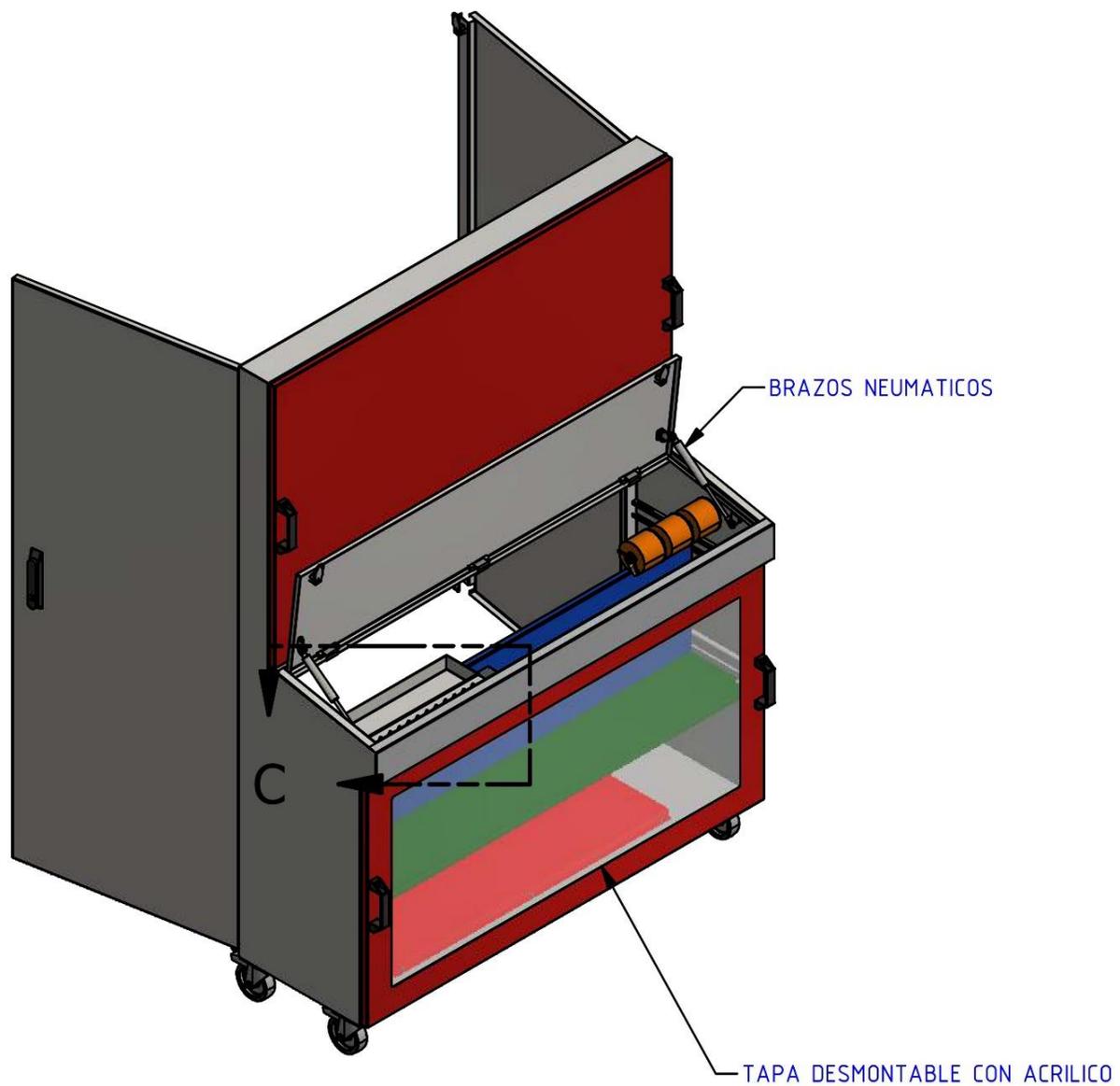
La envolvente que se contempla tiene las siguientes medidas aproximadas de (1798x1300x450) mm alto, ancho y profundo respectivamente. Este banco cuenta con cuatro ruedas de trabajo industrial, para una fácil movilización dentro de los laboratorios de la universidad, brazos neumáticos en su tapa para el acceso al cajón de herramientas y accesorios, también cuenta con una tapa frontal desmontable en acrílico, bandeja corrediza para equipos, entrepaño para el soporte de los condensadores y su respectivo soporte omega para el montaje de los transformadores, como se ilustra en la Figura 4-15 y Figura 4-16.

Para realizar mantenimientos preventivos o reemplazos de equipos se diseñan puertas con bisagras soldadas, con una apertura o giro de 120° grados.

La envolvente tendrá un grado de protección (IP-54), para uso interior y el color de pintura seleccionado es RAL 7035.

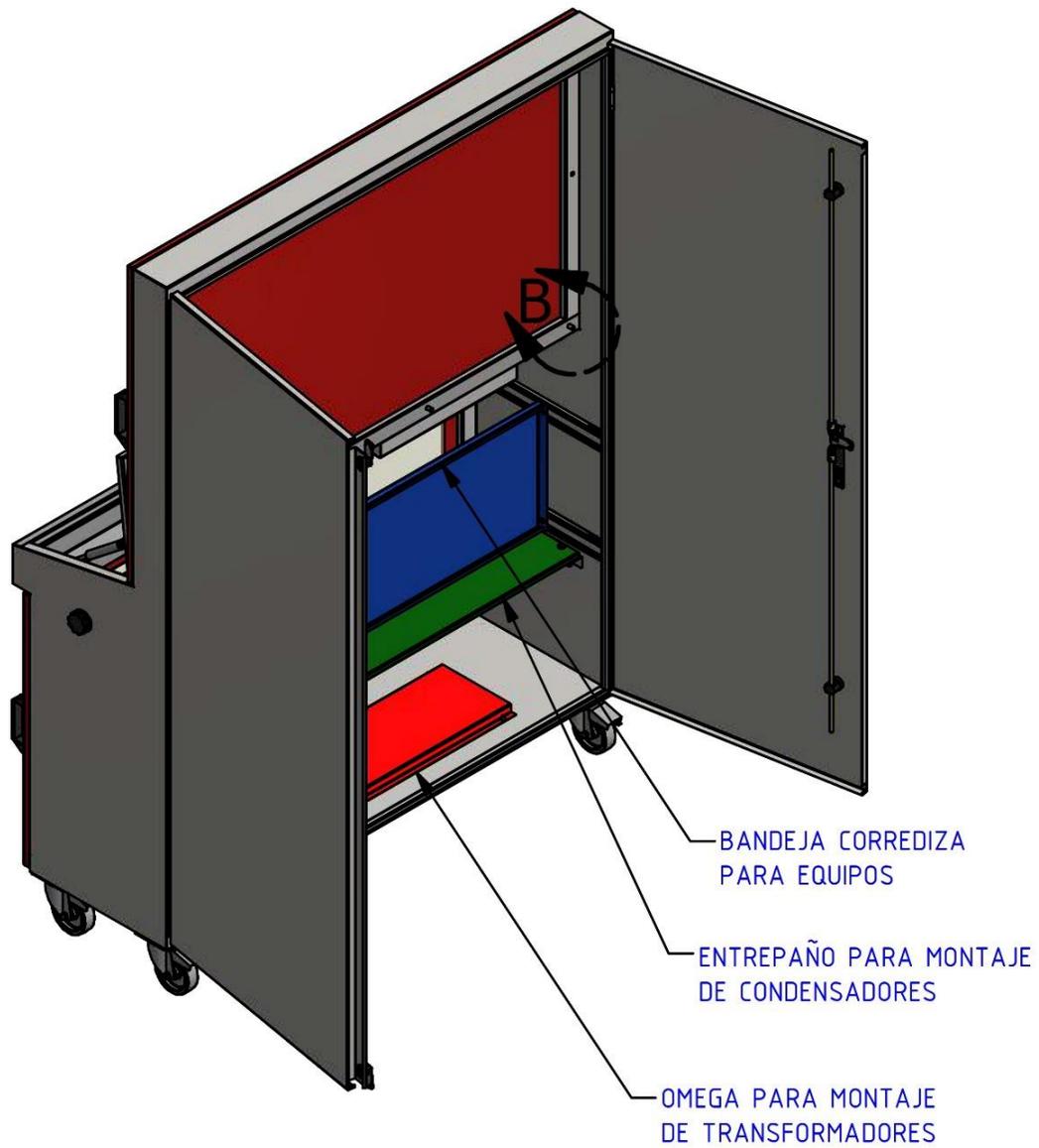
Se realiza el modelado del banco de prácticas en el software Autodesk Inventor Professional para obtener la disposición final. Todos los planos de ensamble mecánico se pueden consultar en el Anexo E: Planos mecánicos.

**Figura 4-15** Vista frontal del banco de prácticas y pruebas eléctricas para transformadores



Nombre de la fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-16** Vista posterior del banco de prácticas y pruebas eléctricas para transformadores

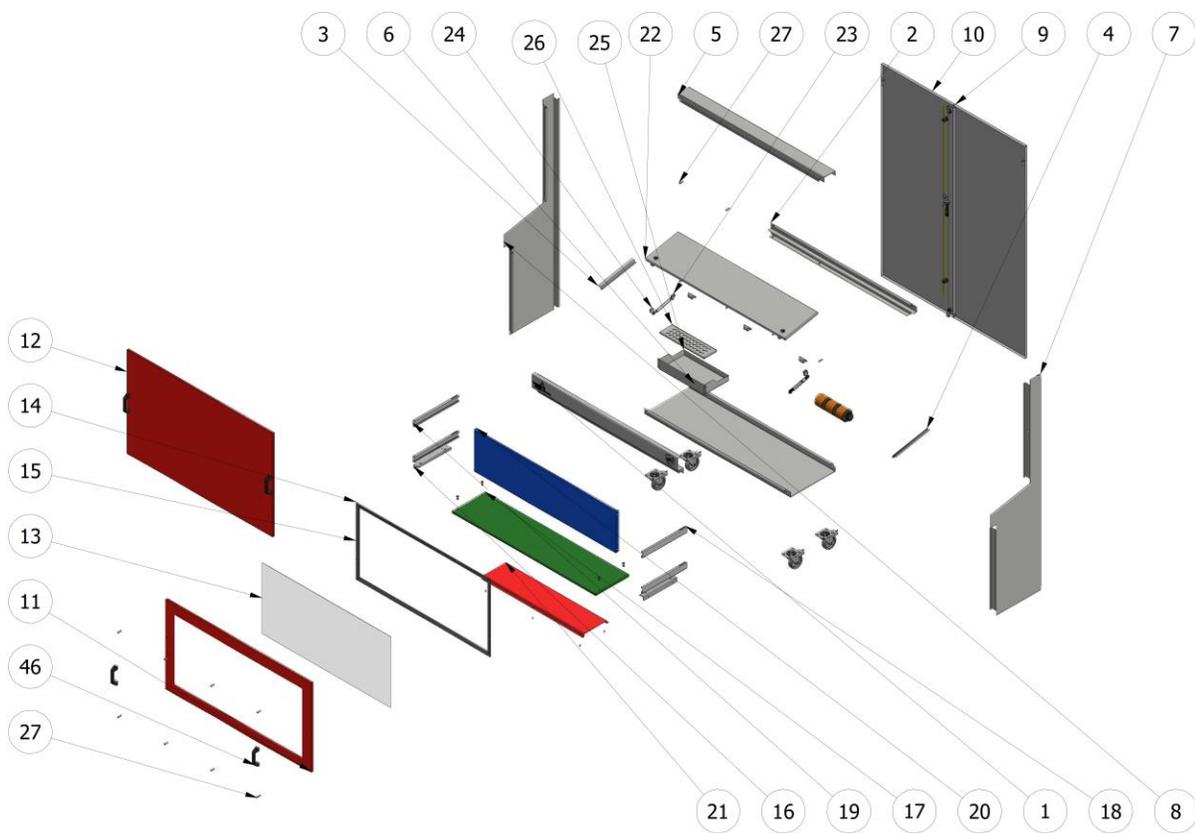


**Nombre de la fuente:** Elaboración propia.

Finalmente se obtiene el despiece detallado del banco de prácticas, como se muestra en la Figura 4-17, y que a través del software Autodesk Inventor Professional se genera un listado de piezas que se puede consultar en Anexo F: Listado de piezas de fabricación.

Una vez realizados y aprobados los respectivos planos, se procede con la fabricación de la metalmecánica.

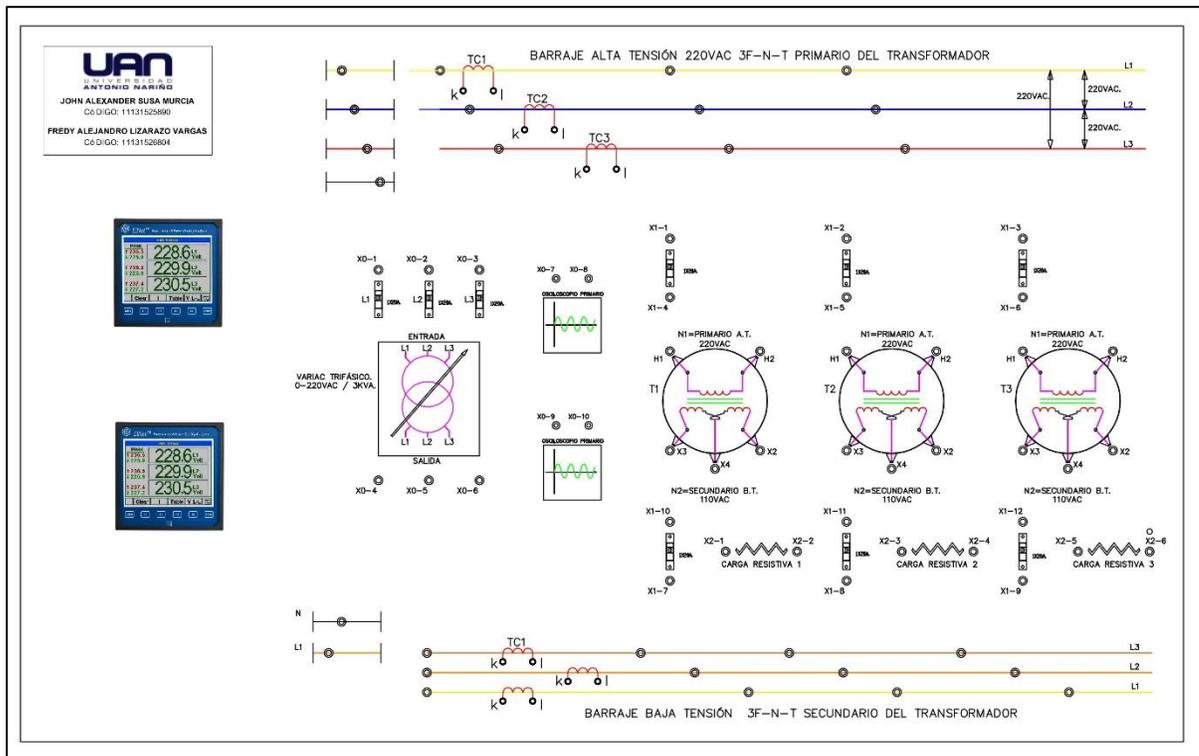
**Figura 4-17** Despiece del banco de prácticas y pruebas eléctricas para transformadores



**Nombre de la fuente:** Elaboración propia.

Para el panel frontal se realiza un diseño que permitirá una interacción práctica y sencilla entre el estudiante y el banco de prácticas, cuenta con un mímico de identificación con el diagrama unifilar donde se muestran los puntos de conexión tipo Plug-and-Play (en español "enchufar, conectar y usar"), los cuales permitirán al estudiante desarrollar las diferentes prácticas propuestas, estas prácticas se describen en el Anexo A: Prácticas. A continuación se muestra el panel frontal en la Figura 4-18.

**Figura 4-18** Panel de conexión del banco de prácticas y pruebas eléctricas para transformadores



Nombre de la fuente: Elaboración propia.

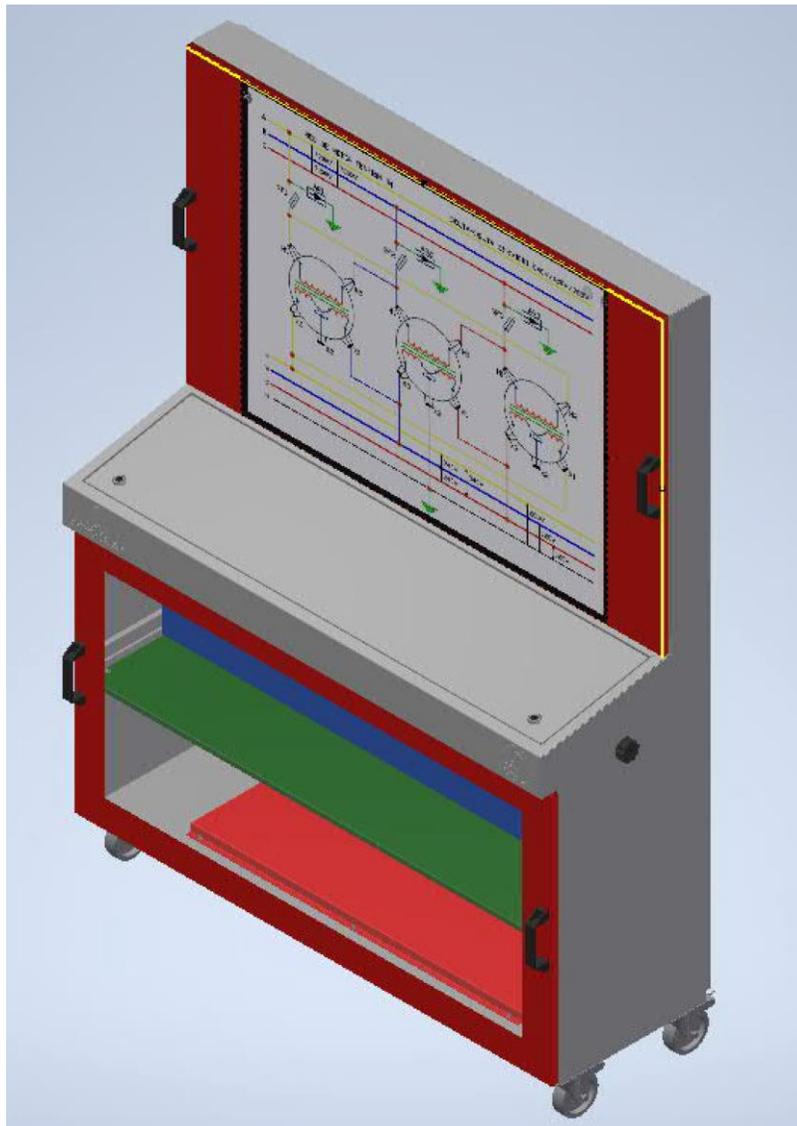
## 4.2.2 Ensamble

Una vez terminada la etapa de diseño y construcción de la metalmecánica, se procede a trasladar todas las piezas para la estructura y los accesorios correspondientes a la empresa Ingeniería Derivada donde se realiza el ensamble de acuerdo a los planos

generados. Luego de armada la estructura es revisada mediante una lista de chequeo para verificar que se encuentre completa.

Finalmente se procede con el montaje de equipos donde corresponden y se ajustan los pernos de anclaje respectivamente.

**Figura 4-19** Banco de prácticas y pruebas eléctricas para transformadores



**Nombre de la fuente:** Elaboración propia.

### **4.2.3 Conexionado**

Después de terminar el montaje de equipos se realiza la instalación de canaletas para los conductores, en ellas se ubica el cable de manera ordenada que interconecta los equipos principales y secundarios con las borneras correspondientes. El tipo de cable seleccionado para el control es TFF calibre 18 y el cable seleccionado para la fuerza es THHN calibres 12 y 10. Los cables que no queden dentro de las canaletas serán organizados peinándolos sin cruces y sujetos mediante amarres plásticos. Para la conexión de estos cables se utilizan terminales tipo horquilla, redondo o anillo, de punta o pin, entre otros.

Todos los cables estarán identificados con marquillas termoencogibles hechas de material de poliolefina encogible, durable y resistente al calor y a la radiación reticulada por un haz electrónico de alta energía, adicionalmente su marcación será bidireccional (origen / destino).

## 5. Conclusiones y recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

- El conocimiento sobre las normas que se aplican para las pruebas a los transformadores, es un excelente punto de partida para el desarrollo de este banco de prácticas.
- Este proyecto de grado les permite a los estudiantes acceder e interactuar de una forma segura, con una máquina eléctrica como lo es el transformador.
- Utilizando el banco de pruebas para transformadores es posible demostrar que la teoría de los circuitos equivalentes se asemeja mucho, en la práctica, a los transformadores reales.
- Para realizar los ensayos o prácticas propuestas en el banco, es necesario tener conocimientos básicos en el área eléctrica.
- Se diseña el banco de pruebas para transformadores aplicando mejores tecnologías, afines a los requerimientos actuales y asegurando una buena información a partir de la toma de datos confiables con instrumentos de mejor precisión.
- La disposición frontal del panel principal le permite al estudiante realizar una conexión precisa y segura para cada práctica o ensayo.
- Para definir los equipos requeridos para el funcionamiento del banco es necesario el desarrollo previo de la ingeniería básica de diseño.
- En el banco se pueden realizar las prácticas establecidas en el Anexo A: Prácticas, todas ellas con el fin de entender el funcionamiento de los transformadores monofásicos y las diferentes conexiones que se pueden realizar con los mismos.

- Los estudiantes que utilicen el banco de pruebas podrán seguir las indicaciones descritas en cada una de las prácticas, donde se detallan las conexiones y toma de datos requeridos para lograr los objetivos establecidos al inicio de la práctica.

## 5.2 Recomendaciones

- Para el uso de este tablero se debe utilizar una fuente de alimentación trifásica a 220 VAC de 3 líneas y neutro.
- Se debe tener en cuenta que dentro del banco existen equipos con puntos de conexión no aislados y que, si son manipulados con el banco energizado, estos pueden provocar una descarga eléctrica.
- Para reemplazar algún componente del banco si presentara alguna avería se debe consultar con el responsable del laboratorio de máquinas eléctricas.
- El banco cuenta con el espacio destinado y borneras de conexión para la instalación del transformador de tensión variable VARIAC, (equipo futuro).

## Bibliografía

- (ICONTEC), I. C. (s.f.). NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1005.  
*TRANSFORMADORES. DETERMINACION DE LA TENSION DE CORTOCIRCUITO.*
- (ICONTEC), I. C. (s.f.). NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1031.  
*TRANSFORMADORES. ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS Y CORRIENTE SIN CARGA.*
- (ICONTEC), I. C. (s.f.). NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2743.
- (ICONTEC), I. C. (s.f.). NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 3445.
- (ICONTEC), I. C. (s.f.). NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 3654.
- (ICONTEC), I. C. (s.f.). NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 375.  
*TRANSFORMADORES. MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS DEVANADOS.*
- (ICONTEC), I. C. (s.f.). NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 380.
- (ICONTEC), I. C. (s.f.). NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 471.  
*TRANSFORMADORES. RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN. VERIFICACIÓN DE LA POLARIDAD Y RELACIÓN DE FASE.* Obtenido de TRANSFORMADORES. RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN. VERIFICACIÓN DE LA POLARIDAD Y RELACIÓN DE FASE.
- (ICONTEC), I. C. (s.f.). NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 532.  
*TRANSFORMADORES. APTITUD PARA SOPORTAR EL CORTOCIRCUITO.*
- (ICONTEC), I. C. (s.f.). NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 837.  
*TRANSFORMADORES. ENSAYO DEL DIELECTRICO.*
- (ICONTEC), I. C. (s.f.). NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC-IEC 60529.
- (RETIE), R. T. (s.f.). ANEXO GENERAL DEL RETIE RESOLUCIÓN 9 0708 DE AGOSTO 30 DE 2013 CON SUS AJUSTES .

- BARBERÁ, O. y. (1996 Vol.: 14 Núm.:3 ). EL TRABAJO PRÁCTICO EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS: UNA REVISIÓN. *Revista de Investigación y experiencias didácticas*.
- CERTIFICACIÓN, I. I. (s.f.). CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO - NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC2050.
- Chapman, S. J. (2004). *MÁQUINAS ELÉCTRICAS*. México: McGraw-Hill.
- Chapman, S. J. (s.f.). *MÁQUINAS ELÉCTRICAS QUINTA EDICIÓN*. Mc Graw Hill.
- Chapman, S. J. (s.f.). *Máquinas eléctricas tercera edición*.
- Guru, B. S. (s.f.). *Máquinas eléctricas y transformadores tercera edición*.
- HODSON, D. (1994). HACIA UN ENFOQUE MÁS CRÍTICO DEL TRABAJO DE LABORATORIO. *Investigación y experiencias didácticas*.
- IEC 60076-1, I. S. (s.f.). Power transformers - Part 1.
- IEC 60076-2, I. S. (s.f.). Temperature rise - Part 2.
- IEC 60076-3, I. S. (s.f.). Insulation levels, dielectric test and external clearances in air - Part 3.
- IEC 60076-4, I. S. (s.f.). Guide to the lightning impulse and switching impulse testing - Power transformers and reactors - Part 4.
- IEC 60076-5, I. S. (s.f.). Ability to withstand short circuit - Part 5.
- IEEE Std C57.12.01-1998, P. E. (s.f.). IEEE Standard General Requirements for Dry-Type Distribution and Power Transformers Including Those with Solid-Cast and/or Resin-Encapsulated Windings.
- IEEE Std C57.96-1999, P. E. (s.f.). IEEE Guide for Loading Dry-Type Distribution and Power Transformers.
- Kosow, I. L. (s.f.). *Máquinas eléctricas y transformadores*.
- Mora, J. F. (s.f.). *Máquinas eléctricas quinta edición*.
- Wildi, T. (s.f.). *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia sexta edición*. Pearson.

## 6. Anexos

### 1. Anexo A: Prácticas

Se elaboran quince prácticas, se adjuntan los diagramas de conexión y las tablas para diligenciar durante la práctica. Estas prácticas se elaboran teniendo presente las normas que apliquen a los ensayos propuestos.

- Práctica No.1: Familiarización con banco de pruebas para transformadores.
- Práctica No.2: Relación fundamental de la transformación.
- Práctica No.3: Prueba en vacío.
- Práctica No.4: Prueba con carga.
- Práctica No.5: Prueba de polaridad.
- Práctica No.6: Prueba de circuito abierto.
- Práctica No.7: Prueba de cortocircuito.
- Práctica No.8: Rendimiento de un transformador monofásico.
- Práctica No.9: Diagrama fasorial de un transformador monofásico.
- Práctica No.10: Conexiones serie - paralelo / transformador monofásico.
- Práctica No.11: Transformador de potencial.
- Práctica No.12: Conexión trifásica YE-YE. (Y-Y)
- Práctica No.13: Conexión trifásica YE – DELTA. (Y- $\Delta$ )
- Práctica No.14: Conexión trifásica DELTA – YE. ( $\Delta$ -Y)
- Práctica No.15: Conexión trifásica DELTA – DELTA. ( $\Delta$ - $\Delta$ )

|   |   |
|---|---|
| <b>Banco de pruebas y prácticas para transformadores</b>                        |  |
| <b>Práctica No.1:</b> Familiarización con banco de pruebas para transformadores |   |

| DATOS GENERALES       |  |
|-----------------------|--|
| Docente responsable:  |  |
| Asignatura:           |  |
| Nombre del alumno:    |  |
| Código:               |  |
| Fecha de la práctica: |  |

| OBJETIVOS  |   |
|--|---|
| <p><b>Objetivo general:</b></p> <p>Conocer el banco de pruebas del laboratorio de máquinas eléctricas, construido con el fin de ejecutar las prácticas para transformadores.</p> | <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <p>Consultar el manual del usuario.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Recordar las normas de seguridad.</li> <li>▪ Reconocer las condiciones físicas del banco.</li> <li>▪ Conocer los componentes del módulo de interacción con el banco (Tablero frontal).</li> <li>▪ Conocer los componentes eléctricos del banco.</li> <li>▪ Probar cada uno de los componentes eléctricos del banco. Utilizar protocolo de pruebas.</li> </ul> |

### MARCO TEÓRICO

- Instrumentación para mediciones de corriente alterna.
- Fuentes variables de corriente alterna.
- Normas de seguridad de un laboratorio.
- Normas de procedimientos para un laboratorio.
- Formatos para registro de valores experimentales.
- Formatos para elaboración y presentación de informes de laboratorio.

### PROCEDIMIENTO

- Verificar y estudiar el diagrama eléctrico frontal del tablero correspondiente al banco.
- Reconocer cada uno de los elementos que hacen parte del banco de pruebas.
- Energizar bajo la autorización y supervisión del docente, comprobar el correcto funcionamiento de cada uno de los elementos que componen el banco.
- Generar el reporte de funcionalidad de cada uno de los elementos verificados.
- Concretar observaciones, comentarios y conclusiones de la práctica.

### RECURSOS

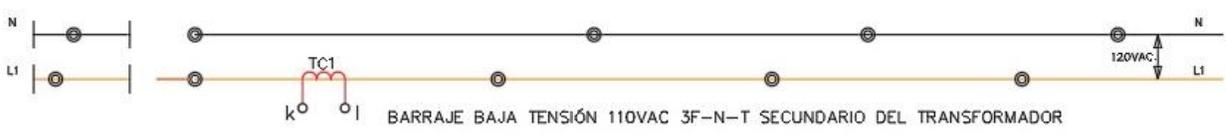
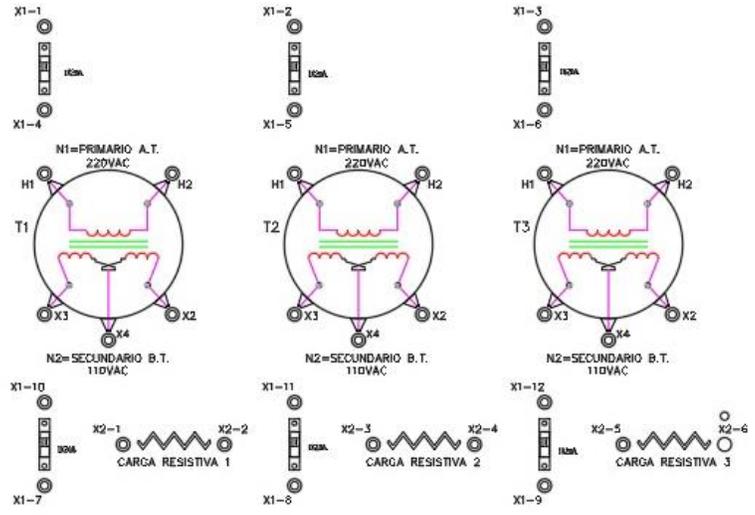
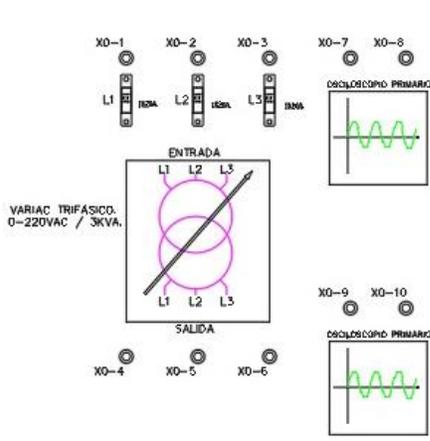
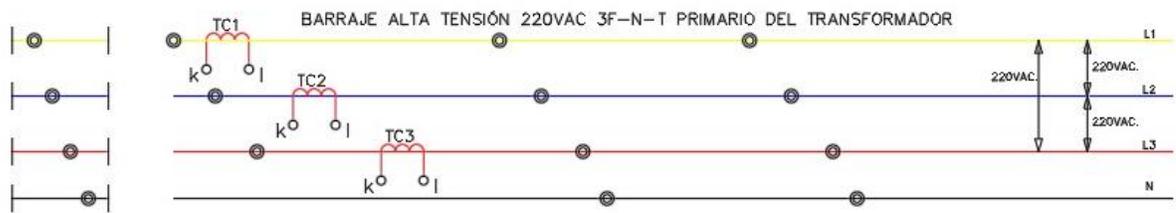
- Banco de pruebas para transformadores.
- Instrumentación para medir:
  - ✓ Tensión: Voltaje (3 fases) -  $V_1, V_2, V_3, V_{12}, V_{23}, V_{31}, V_{\text{asimétrico}}$ .
  - ✓ Corriente:  $I_1, I_2, I_3, I_n$ .
  - ✓ Potencia activa:  $P_1, P_2, P_3, P_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia Reactiva:  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia aparente:  $S_1, S_2, S_3, S_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Energía activa:
  - ✓ Energía reactiva: Inductiva y capacitiva.
  - ✓ Frecuencia:
  - ✓ Factor de potencia:  $PF_1, PF_2, PF_3, PF_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Distorsión armónica total: - Voltaje y Corriente
  - ✓ Desplazamiento del factor de potencia: -  $\text{Cos } j_1, \text{Cos } j_2, \text{Cos } j_3, \text{Cos } j_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Medición del ángulo fasor en 360° para: -  $V_1, V_2, V_3, I_1, I_2, I_3$ .
- Formato para registro de valores experimentales y resultados.

- Cargas eléctricas.
- Cables de laboratorio.

**ANEXOS**

- Formato para verificación de funcionamiento.

**ANEXO: Formato para verificación de funcionamiento.**



## Banco de pruebas y prácticas para transformadores



### Práctica No.2: Relación fundamental de transformación

#### DATOS GENERALES

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Docente responsable:  |  |
| Asignatura:           |  |
| Nombre del alumno:    |  |
| Código:               |  |
| Fecha de la práctica: |  |

#### OBJETIVOS

|   |  |
|---|--|
| <p><b>Objetivo general:</b></p> <p>Probar la relación fundamental de transformación aplicada a un transformador monofásico ideal.</p> | <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Comprender el principio de funcionamiento de un transformador.</li> <li>▪ Determinar la correspondencia existente entre tensión, corriente y número de espiras en un transformador.</li> </ul> |
|---|--|

#### MARCO TEÓRICO

|   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Principio de funcionamiento de un transformador monofásico ideal.</li> <li>▪ Relación fundamental de transformación.</li> <li>▪ Diseño y construcción de un transformador monofásico.</li> </ul> |
|---|

#### PROCEDIMIENTO

|   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verificar y estudiar el correspondiente diagrama eléctrico.</li> <li>▪ Utilizando el tablero del banco de pruebas para transformadores, realizar las correspondientes conexiones.</li> <li>▪ Energizar bajo la autorización y supervisión del docente</li> <li>▪ Tomar las mediciones indicadas y registrar en las tablas de pruebas.</li> <li>▪ Establecer observaciones, comentarios y conclusiones de la práctica.</li> </ul> |
|---|

**PROCEDIMIENTO**

- Generar reporte de la práctica para su respectiva entrega.

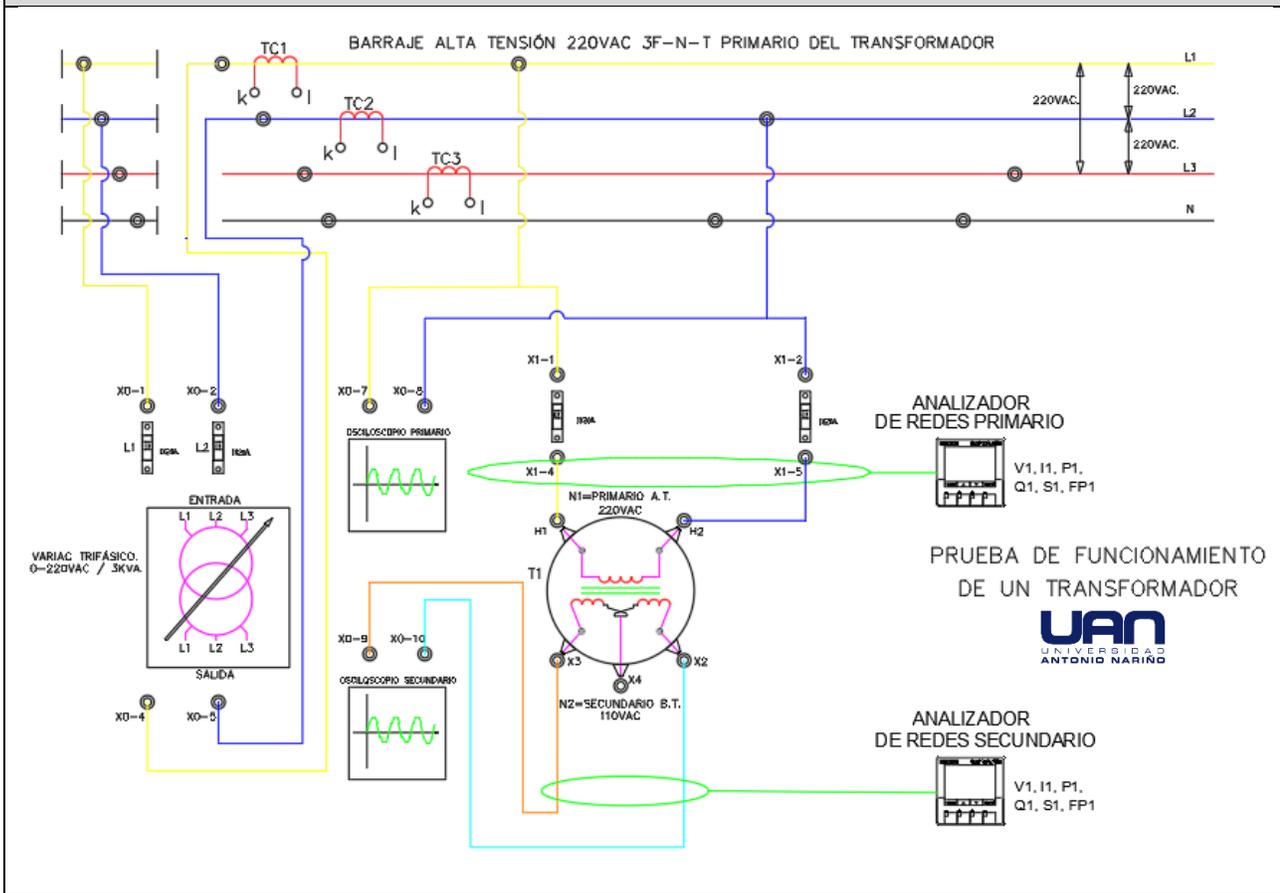
**RECURSOS**

- Banco de pruebas para transformadores.
- Instrumentación para medir:
  - ✓ Tensión: Voltaje (3 fases) -  $V_1, V_2, V_3, V_{12}, V_{23}, V_{31}, V_{\text{asimétrico}}$ .
  - ✓ Corriente:  $I_1, I_2, I_3, I_n$ .
  - ✓ Potencia activa:  $P_1, P_2, P_3, P_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia Reactiva:  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia aparente:  $S_1, S_2, S_3, S_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Energía activa:
  - ✓ Energía reactiva: Inductiva y capacitiva.
  - ✓ Frecuencia:
  - ✓ Factor de potencia:  $PF_1, PF_2, PF_3, PF_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Distorsión armónica total: - Voltaje y Corriente
  - ✓ Desplazamiento del factor de potencia: -  $\text{Cos } j_1, \text{Cos } j_2, \text{Cos } j_3, \text{Cos } j_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Medición del ángulo fasor en 360° para: -  $V_1, V_2, V_3, I_1, I_2, I_3$ .
- Formato para registro de valores experimentales y resultados.
- Cargas eléctricas.
- Cables de laboratorio.

**ANEXOS**

- Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.
- Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.
- Cuestionario de preguntas.

**ANEXO: Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.**



**ANEXO: Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.**

| VALORES MEDIDOS (AT): |  | VALORES MEDIDOS (BT): |  |
|-----------------------|--|-----------------------|--|
| V1 - [V]              |  | V1 - [V]              |  |
| I1 - [A]              |  | I1 - [A]              |  |
| V2 - [V]              |  | V2 - [V]              |  |
| I2 - [A]              |  | I2 - [A]              |  |
| V3 - [V]              |  | V3 - [V]              |  |
| I3 - [A]              |  | I3 - [A]              |  |

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_1}{I_2}$$

|  |   |
|--|---|
| <b>Banco de pruebas y prácticas para transformadores</b> |  |
| <b>Práctica No.3:</b> Prueba en vacío                    |   |

| DATOS GENERALES       |  |
|-----------------------|--|
| Docente responsable:  |  |
| Asignatura:           |  |
| Nombre del alumno:    |  |
| Código:               |  |
| Fecha de la práctica: |  |

| OBJETIVOS  |  |
|--|--|
| <b>Objetivo general:</b><br>Determinar experimentalmente los valores de impedancias y resistencias en el modelo del transformador. | <b>Objetivos específicos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Determinar la corriente de vacío <math>I_0</math></li> <li>▪ La relación de transformación</li> <li>▪ Determinar las pérdidas en el entre hierro del transformador <math>P_{FE}</math></li> </ul> |

| MARCO TEÓRICO   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Circuito equivalente de un Transformador.</li> <li>▪ Determinación de los valores de los componentes en el modelo de transformador.</li> </ul> |

| PROCEDIMIENTO   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verificar y estudiar el correspondiente diagrama eléctrico.</li> <li>▪ Utilizando el tablero del banco de pruebas para transformadores, realizar las correspondientes conexiones.</li> <li>▪ Energizar bajo la autorización y supervisión del docente, (en el devanado de B.T. 110VAC).</li> <li>▪ Tomar las mediciones indicadas y registrar en las tablas de pruebas.</li> <li>▪ Establecer observaciones, comentarios y conclusiones de la práctica.</li> <li>▪ Generar reporte de la práctica para su respectiva entrega.</li> </ul> |

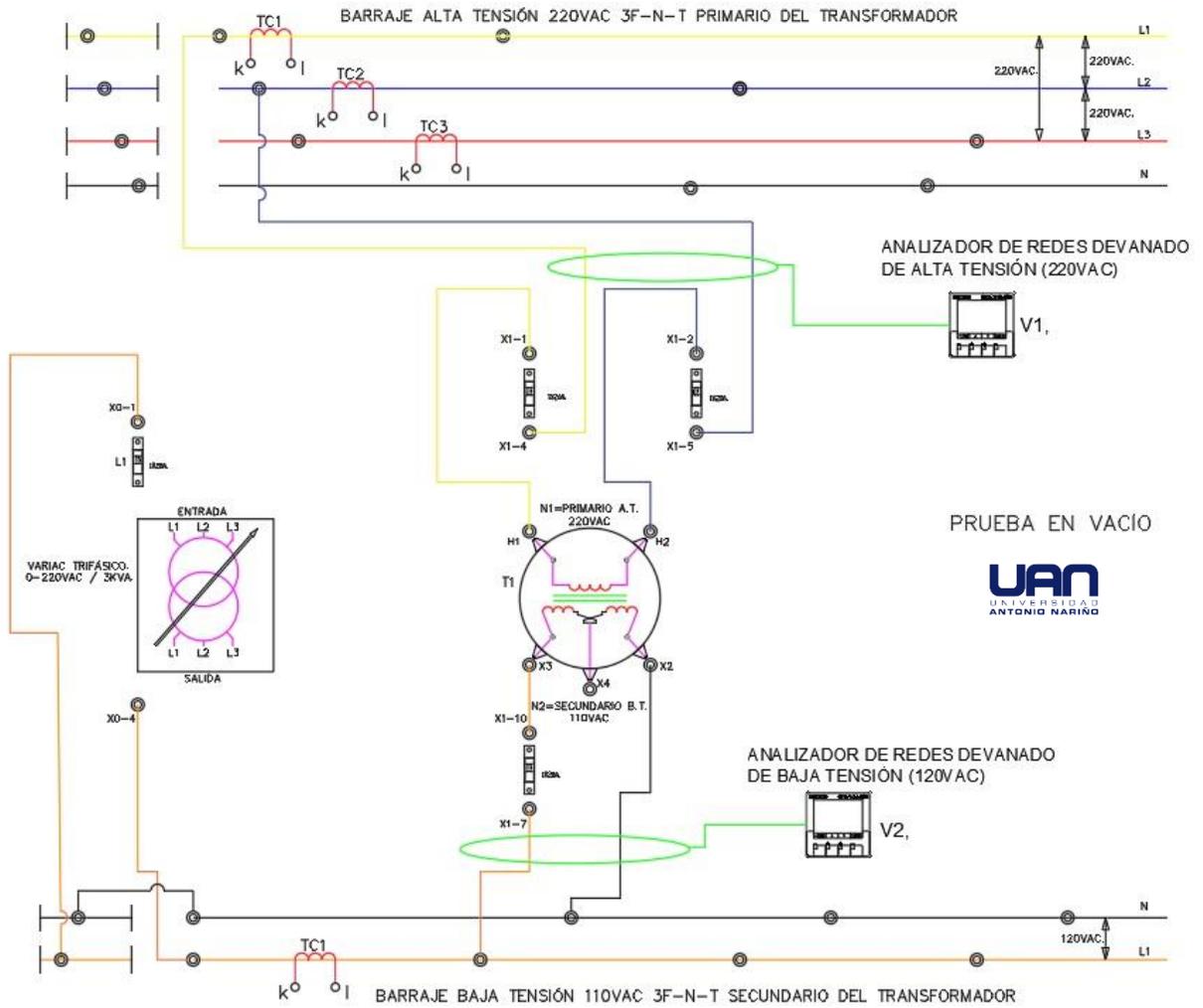
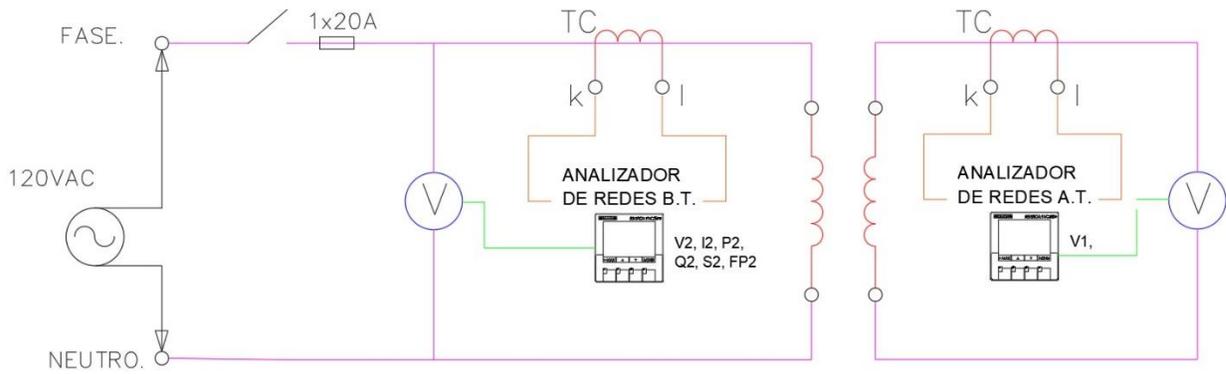
**RECURSOS**

- Banco de pruebas para transformadores.
- Instrumentación para medir:
  - ✓ Tensión: Voltaje (3 fases) -  $V_1, V_2, V_3, V_{12}, V_{23}, V_{31}, V_{\text{asimétrico}}$ .
  - ✓ Corriente:  $I_1, I_2, I_3, I_n$ .
  - ✓ Potencia activa:  $P_1, P_2, P_3, P_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia Reactiva:  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia aparente:  $S_1, S_2, S_3, S_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Energía activa:
  - ✓ Energía reactiva: Inductiva y capacitiva.
  - ✓ Frecuencia:
  - ✓ Factor de potencia:  $PF_1, PF_2, PF_3, PF_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Distorsión armónica total: - Voltaje y Corriente
  - ✓ Desplazamiento del factor de potencia: -  $\cos \phi_1, \cos \phi_2, \cos \phi_3, \cos \phi_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Medición del ángulo fasor en 360° para: -  $V_1, V_2, V_3, I_1, I_2, I_3$ .
- Formato para registro de valores experimentales y resultados.
- Cargas eléctricas.
- Cables de laboratorio.

**ANEXOS**

- Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.
- Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.
- Cuestionario de preguntas.

**ANEXO: Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.**



**ANEXO: Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.**

| PRUEBA EN VACÍO.         |               |                    |        |        |        |         |               |
|--------------------------|---------------|--------------------|--------|--------|--------|---------|---------------|
| TENSIONES                | VALOR TEÓRICO | VALOR EXPERIMENTAL | %ERROR | N1/ESP | N2/ESP | A=N1/N2 | OBSERVACIONES |
| MEDIDA VOLTÍMETRO $V_2$  |               |                    |        |        |        |         |               |
| MEDIDA AMPERÍMETRO $A_2$ |               |                    |        |        |        |         |               |
| MEDIDA VATÍMETRO $W_2$   |               |                    |        |        |        |         |               |
| MEDIDA VOLTÍMETRO $V_1$  |               |                    |        |        |        |         |               |

|  |   |
|--|---|
| <b>Banco de pruebas y prácticas para transformadores</b> |  |
| <b>Práctica No.4:</b> Prueba con carga                   |   |

| DATOS GENERALES       |  |
|-----------------------|--|
| Docente responsable:  |  |
| Asignatura:           |  |
| Nombre del alumno:    |  |
| Código:               |  |
| Fecha de la práctica: |  |

| OBJETIVOS   |  |
|---|--|
| <b>Objetivo general:</b><br>Comportamiento del transformador con carga. | <b>Objetivos específicos:</b><br><ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Comprobar cómo influye la carga, tanto en su valor, como su factor de potencia.</li> </ul> |

| MARCO TEÓRICO   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Regulación de voltaje y eficiencia de un transformador.</li> </ul> |

| PROCEDIMIENTO  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verificar y estudiar el correspondiente diagrama eléctrico.</li> <li>▪ Utilizando el tablero del banco de pruebas para transformadores, realizar las correspondientes conexiones.</li> <li>▪ Energizar bajo la autorización y supervisión del docente, (en el devanado de B.T. 110 VAC).</li> <li>▪ Tomar las mediciones indicadas y registrar en las tablas de pruebas.</li> <li>▪ Establecer observaciones, comentarios y conclusiones de la práctica.</li> <li>▪ Generar reporte de la práctica para su respectiva entrega.</li> </ul> |

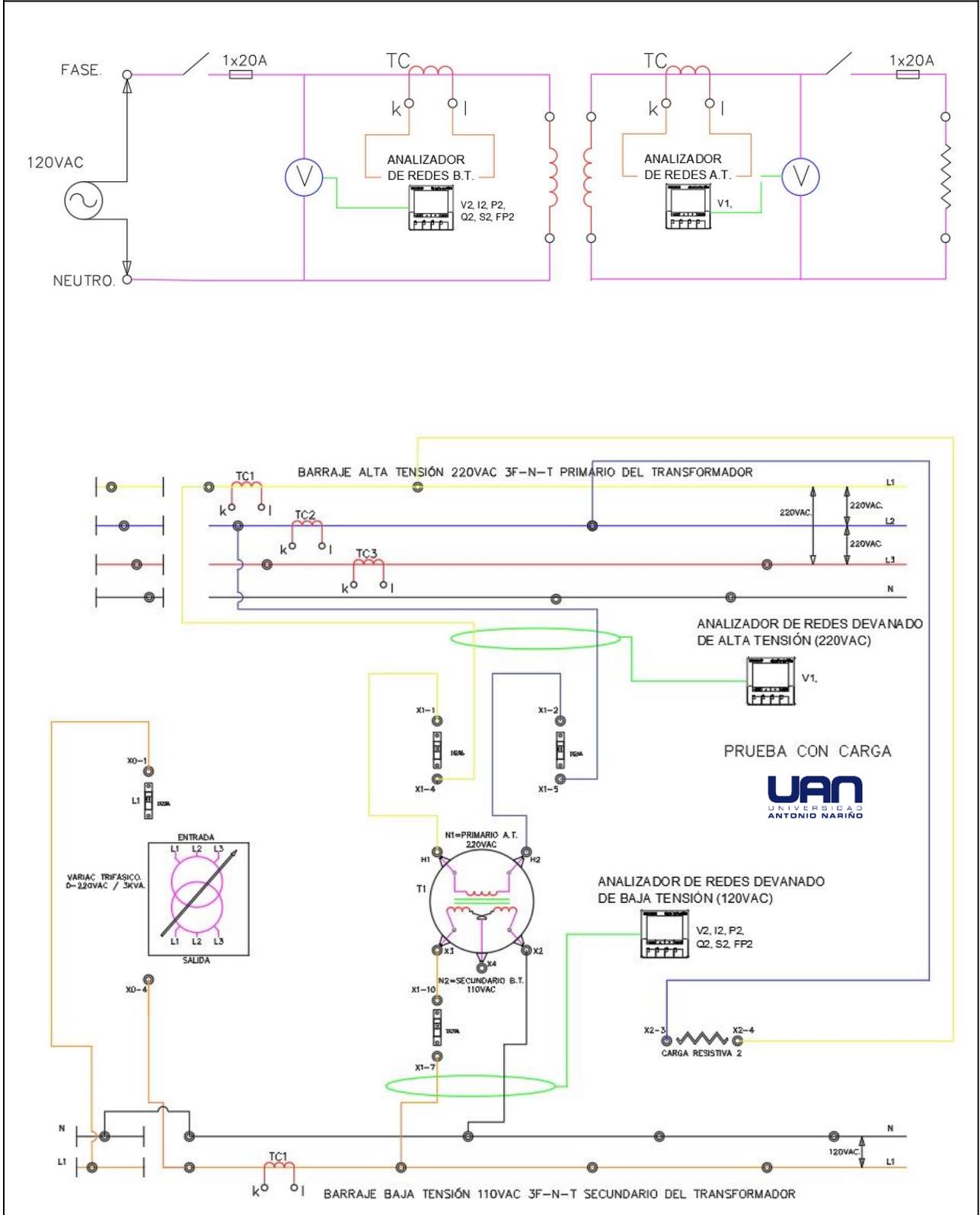
**RECURSOS**

- Banco de pruebas para transformadores.
- Instrumentación para medir:
  - ✓ Tensión: Voltaje (3 fases) -  $V_1, V_2, V_3, V_{12}, V_{23}, V_{31}, V_{\text{asimétrico}}$ .
  - ✓ Corriente:  $I_1, I_2, I_3, I_n$ .
  - ✓ Potencia activa:  $P_1, P_2, P_3, P_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia Reactiva:  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia aparente:  $S_1, S_2, S_3, S_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Energía activa:
  - ✓ Energía reactiva: Inductiva y capacitiva.
  - ✓ Frecuencia:
  - ✓ Factor de potencia:  $PF_1, PF_2, PF_3, PF_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Distorsión armónica total: - Voltaje y Corriente
  - ✓ Desplazamiento del factor de potencia: -  $\cos \phi_1, \cos \phi_2, \cos \phi_3, \cos \phi_{\text{promedio}}$ ,
  - ✓ Medición del ángulo fasor en 360° para: -  $V_1, V_2, V_3, I_1, I_2, I_3$ .
- Formato para registro de valores experimentales y resultados.
- Cargas eléctricas.
- Cables de laboratorio.

**ANEXOS**

- Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.
- Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.
- Cuestionario de preguntas.

**ANEXO: Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.**



**ANEXO: Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.**

| <b>PRUEBA CON CARGA – VALORES NOMINALES</b>                      |                 |                           |                      |
|--|-----------------|---------------------------|----------------------|
| <b>ÍTEM</b>  | <b>VARIABLE</b> | <b>VALOR EXPERIMENTAL</b> | <b>OBSERVACIONES</b> |
| 1  | $V_1$           |                           |                      |
| 2  | $I_1$           |                           |                      |
| 3  | $P_1$           |                           |                      |
| 4  | $Q_1$           |                           |                      |
| 5  | $S_1$           |                           |                      |
| 6  | $FP_1$          |                           |                      |
| 7  | $V_2$           |                           |                      |
| 8  | $I_2$           |                           |                      |
| 9  | $P_2$           |                           |                      |
| 10   | $Q_2$           |                           |                      |
| 11   | $S_2$           |                           |                      |
| 12   | $FP_2$          |                           |                      |
| <b>VERIFICACIÓN DE LA RELACIÓN FUNDAMENTAL DE TRANSFORMACIÓN</b> |                 |                           |                      |

**ANEXO: Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.**

| <b>PRUEBA CON CARGA</b>  |                 |                           |                      |
|--|-----------------|---------------------------|----------------------|
| <b>ÍTEM</b>  | <b>VARIABLE</b> | <b>VALOR EXPERIMENTAL</b> | <b>OBSERVACIONES</b> |
| 1  | V <sub>1</sub>  |                           |                      |
| 2  | I <sub>1</sub>  |                           |                      |
| 3  | P <sub>1</sub>  |                           |                      |
| 4  | Q <sub>1</sub>  |                           |                      |
| 5  | S <sub>1</sub>  |                           |                      |
| 6  | FP <sub>1</sub> |                           |                      |
| 7  | V <sub>2</sub>  |                           |                      |
| 8  | I <sub>2</sub>  |                           |                      |
| 9  | P <sub>2</sub>  |                           |                      |
| 10   | Q <sub>2</sub>  |                           |                      |
| 11   | S <sub>2</sub>  |                           |                      |
| 12   | FP <sub>2</sub> |                           |                      |
| <b>VERIFICACIÓN DE LA RELACIÓN FUNDAMENTAL DE TRANSFORMACIÓN</b> |                 |                           |                      |

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_1}{I_2}$$

## Banco de pruebas y prácticas para transformadores



### Práctica No.5: Prueba de polaridad

#### DATOS GENERALES

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Docente responsable:  |  |
| Asignatura:           |  |
| Nombre del alumno:    |  |
| Código:               |  |
| Fecha de la práctica: |  |

#### OBJETIVOS

|   |   |
|---|---|
| <b>Objetivo general:</b><br>Determinar el modelo real de un transformador monofásico. | <b>Objetivos específicos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Determinar la polaridad de un transformador. Aditiva o sustractiva.</li> </ul> |
|---|---|

#### MARCO TEÓRICO

- Prueba de polaridad

#### PROCEDIMIENTO

- Verificar y estudiar el correspondiente diagrama eléctrico.
- Utilizando el tablero del banco de pruebas para transformadores, realizar las correspondientes conexiones.
- Energizar bajo la autorización y supervisión del docente, (en el devanado de B.T. 110 VAC).
- Tomar las mediciones indicadas y registrar en las tablas de pruebas.
- Establecer observaciones, comentarios y conclusiones de la práctica.
- Generar reporte de la práctica para su respectiva entrega.

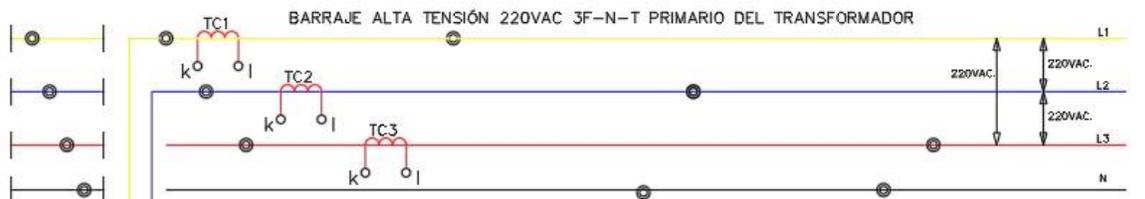
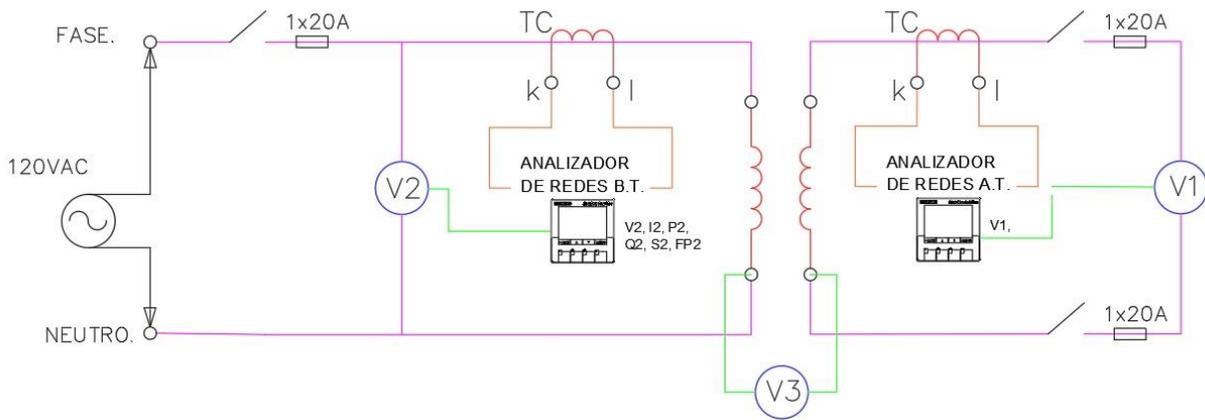
**RECURSOS**

- Banco de pruebas para transformadores.
- Instrumentación para medir:
  - ✓ Tensión: Voltaje (3 fases) -  $V_1, V_2, V_3, V_{12}, V_{23}, V_{31}, V_{\text{asimétrico}}$ .
  - ✓ Corriente:  $I_1, I_2, I_3, I_n$ .
  - ✓ Potencia activa:  $P_1, P_2, P_3, P_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia Reactiva:  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia aparente:  $S_1, S_2, S_3, S_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Energía activa:
  - ✓ Energía reactiva: Inductiva y capacitiva.
  - ✓ Frecuencia:
  - ✓ Factor de potencia:  $PF_1, PF_2, PF_3, PF_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Distorsión armónica total: - Voltaje y Corriente
  - ✓ Desplazamiento del factor de potencia: -  $\cos \phi_1, \cos \phi_2, \cos \phi_3, \cos \phi_{\text{promedio}}$ ,
  - ✓ Medición del ángulo fasor en 360° para: -  $V_1, V_2, V_3, I_1, I_2, I_3$ .
- Formato para registro de valores experimentales y resultados.
- Cargas eléctricas.
- Cables de laboratorio.

**ANEXOS**

- Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.
- Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.
- Cuestionario de preguntas.

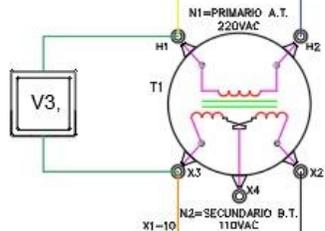
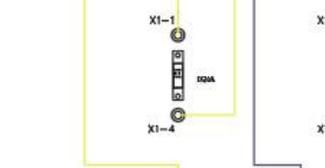
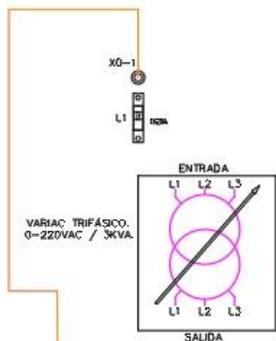
**ANEXO: Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.**



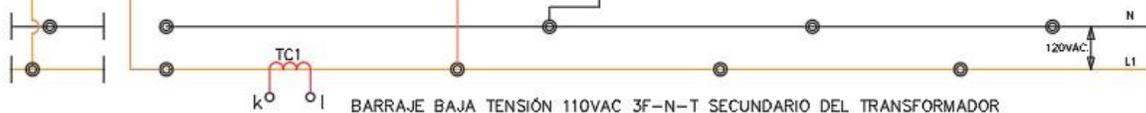
ANALIZADOR DE REDES DEVANADO DE ALTA TENSION (220VAC)



PRUEBA DE POLARIDAD



ANALIZADOR DE REDES DEVANADO DE BAJA TENSION (120VAC)



**ANEXO: Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.**

| <b>PRUEBA DE POLARIDAD</b> |                       |                        |                          |
|----------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|
| <b>PRUEBA</b>              | <b>V ALIMENTACIÓN</b> | <b>LECTURA TENSIÓN</b> | <b>TIPO DE POLARIDAD</b> |
| 1                          | 60 VAC                | V1=<br>V2=<br>V3=      |                          |
| 2                          | 120 VAC               | V1=<br>V2=<br>V3=      |                          |

## Banco de pruebas y prácticas para transformadores



### Práctica No.6: Prueba de circuito abierto

#### DATOS GENERALES

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Docente responsable:  |  |
| Asignatura:           |  |
| Nombre del alumno:    |  |
| Código:               |  |
| Fecha de la práctica: |  |

#### OBJETIVOS

|   |  |
|---|--|
| <p><b>Objetivo general:</b></p> <p>Determinar experimentalmente los valores de impedancias y resistencias en el modelo del transformador.</p> | <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Determinar y analizar el circuito equivalente exacto de un transformador real.</li> <li>▪ Determinar y estudiar los circuitos equivalentes aproximados de un transformador.</li> </ul> |
|---|--|

#### MARCO TEÓRICO

- Circuito equivalente de un Transformador.
- Determinación de los valores de los componentes en el modelo de transformador.

#### PROCEDIMIENTO

- Verificar y estudiar el correspondiente diagrama eléctrico.
- Utilizando el tablero del banco de pruebas para transformadores, realizar las correspondientes conexiones.
- Energizar bajo la autorización y supervisión del docente, (en el devanado de B.T. 110 VAC).
- Tomar las mediciones indicadas y registrar en las tablas de pruebas.
- Establecer observaciones, comentarios y conclusiones de la práctica.

### PROCEDIMIENTO

- Generar reporte de la práctica para su respectiva entrega.

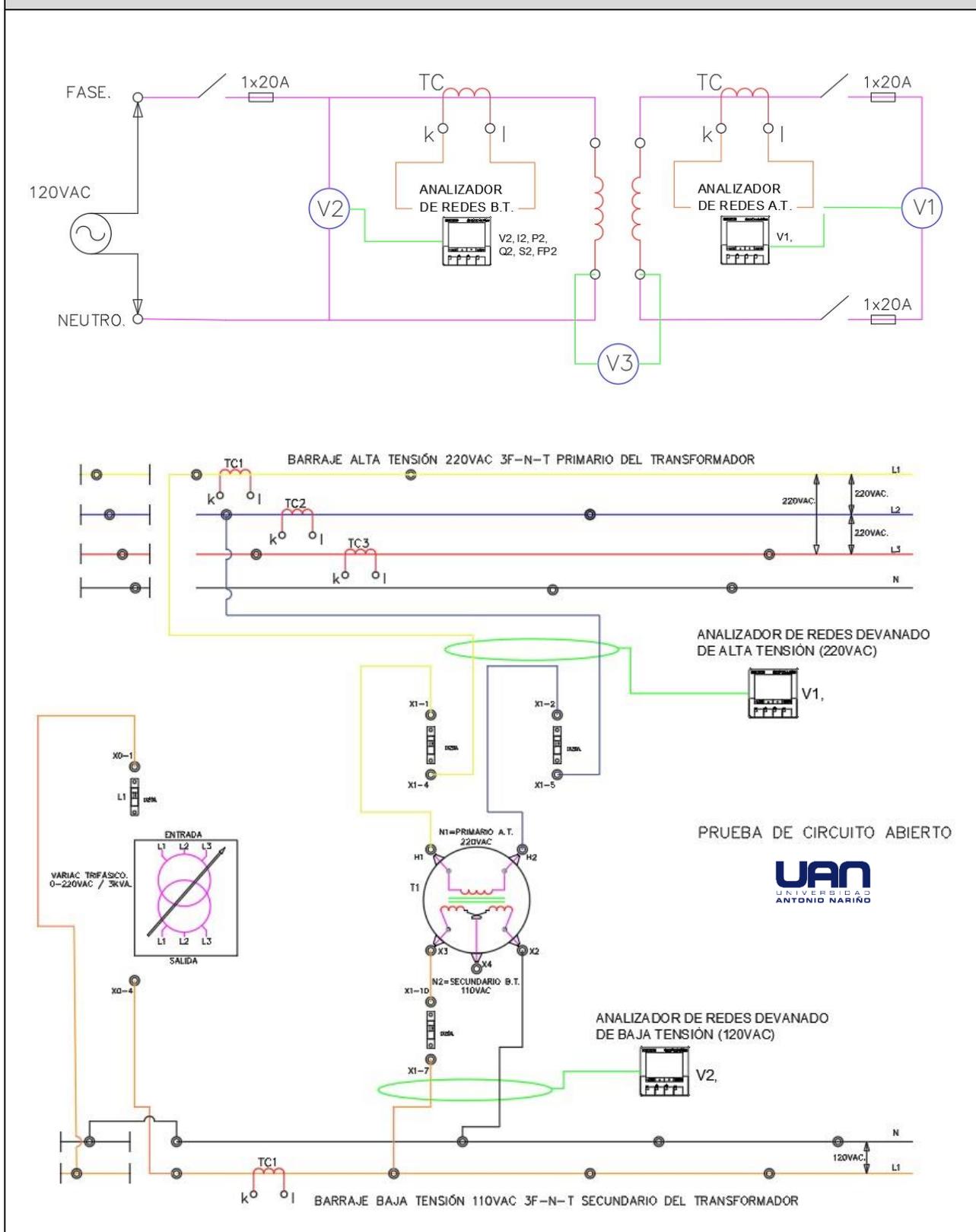
### RECURSOS

- Banco de pruebas para transformadores.
- Instrumentación para medir:
  - ✓ Tensión: Voltaje (3 fases) -  $V_1, V_2, V_3, V_{12}, V_{23}, V_{31}, V_{\text{asimétrico}}$ .
  - ✓ Corriente:  $I_1, I_2, I_3, I_n$ .
  - ✓ Potencia activa:  $P_1, P_2, P_3, P_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia Reactiva:  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia aparente:  $S_1, S_2, S_3, S_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Energía activa:
  - ✓ Energía reactiva: Inductiva y capacitiva.
  - ✓ Frecuencia:
  - ✓ Factor de potencia:  $PF_1, PF_2, PF_3, PF_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Distorsión armónica total: - Voltaje y Corriente
  - ✓ Desplazamiento del factor de potencia: -  $\cos \phi_1, \cos \phi_2, \cos \phi_3, \cos \phi_{\text{promedio}}$ ,
  - ✓ Medición del ángulo fasor en 360° para: -  $V_1, V_2, V_3, I_1, I_2, I_3$ .
- Formato para registro de valores experimentales y resultados.
- Cargas eléctricas.
- Cables de laboratorio.

### ANEXOS

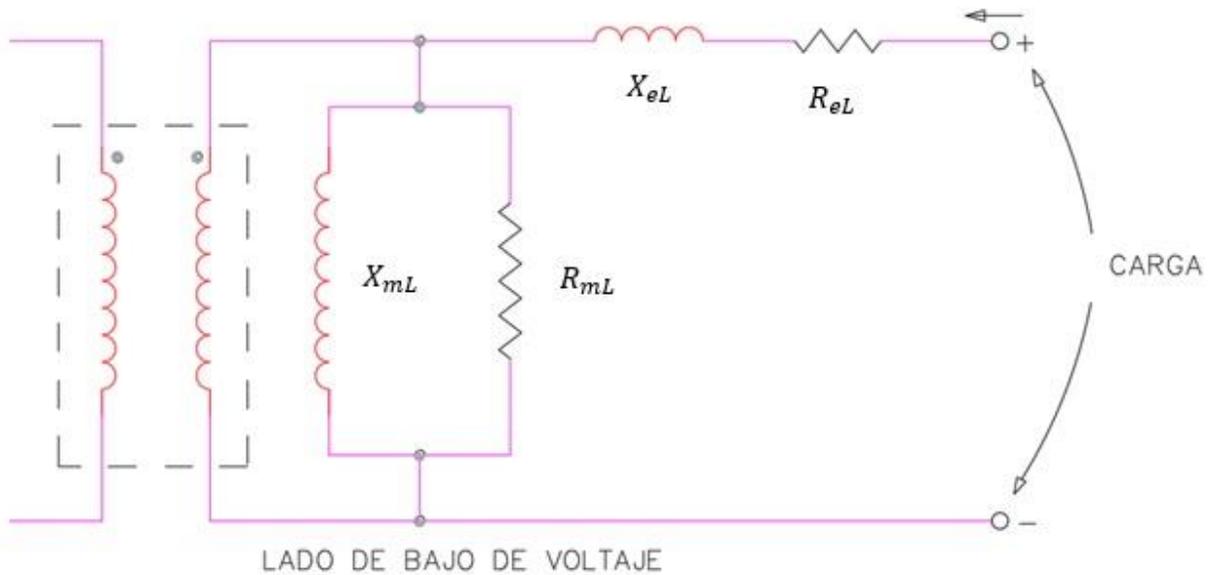
- Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.
- Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.
- Cuestionario de preguntas.

**ANEXO: Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.**



**ANEXO: Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.**

| PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO                               |  |   |          |          |          |          |                       |
|--|--|---|----------|----------|----------|----------|-----------------------|
| VALORES OBTENIDOS DESDE EL LADO DE BAJA TENSIÓN – 120VAC |  |   |          |          |          |          |                       |
| V. PRUEBA<br>TENSIÓN<br>NOMINAL                          | Valor eficaz<br>corriente de<br>circuito<br>abierto. ( $I_0$ ) | Potencia<br>(activa) en el<br>ensayo de<br>circuito<br>abierto. ( $P_0$ ) | $X_{eL}$ | $R_{eL}$ | $X_{mL}$ | $R_{mL}$ | $a = \frac{N_1}{N_2}$ |
| V BT =120<br>VAC.  |  |   |          |          |          |          |                       |



## Banco de pruebas y prácticas para transformadores



### Práctica No.7: Prueba de cortocircuito

#### DATOS GENERALES

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Docente responsable:  |  |
| Asignatura:           |  |
| Nombre del alumno:    |  |
| Código:               |  |
| Fecha de la práctica: |  |

#### OBJETIVOS

|   |  |
|---|--|
| <p><b>Objetivo general:</b></p> <p>Determinar experimentalmente los valores de impedancias y resistencias en el modelo del transformador.</p> | <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Determinar y analizar el circuito equivalente exacto de un transformador real.</li> <li>▪ Determinar y estudiar los circuitos equivalentes aproximados de un transformador.</li> </ul> |
|---|--|

#### MARCO TEÓRICO

- Circuito equivalente de un Transformador.
- Determinación de los valores de los componentes en el modelo de transformador.

#### PROCEDIMIENTO

- Verificar y estudiar el correspondiente diagrama eléctrico.
- Utilizando el tablero del banco de pruebas para transformadores, realizar las correspondientes conexiones.
- Energizar bajo la autorización y supervisión del docente, (en el devanado de A.T. – VOLTAJE DE PRUEBA).
- Para realizar el ensayo de cortocircuito se cierra el interruptor y se sube paulatinamente la tensión del autotransformador hasta que el devanado de A.T. del transformador a

### PROCEDIMIENTO

ensayar esté recorrido por su intensidad asignada. Hay que tener cuidado de subir la tensión muy despacio y vigilando constantemente que la corriente no sea excesiva, pues la tensión necesaria va a ser muy baja.

- Tomar las mediciones indicadas y registrar en las tablas de pruebas.
- Establecer observaciones, comentarios y conclusiones de la práctica.
- Generar reporte de la práctica para su respectiva entrega.

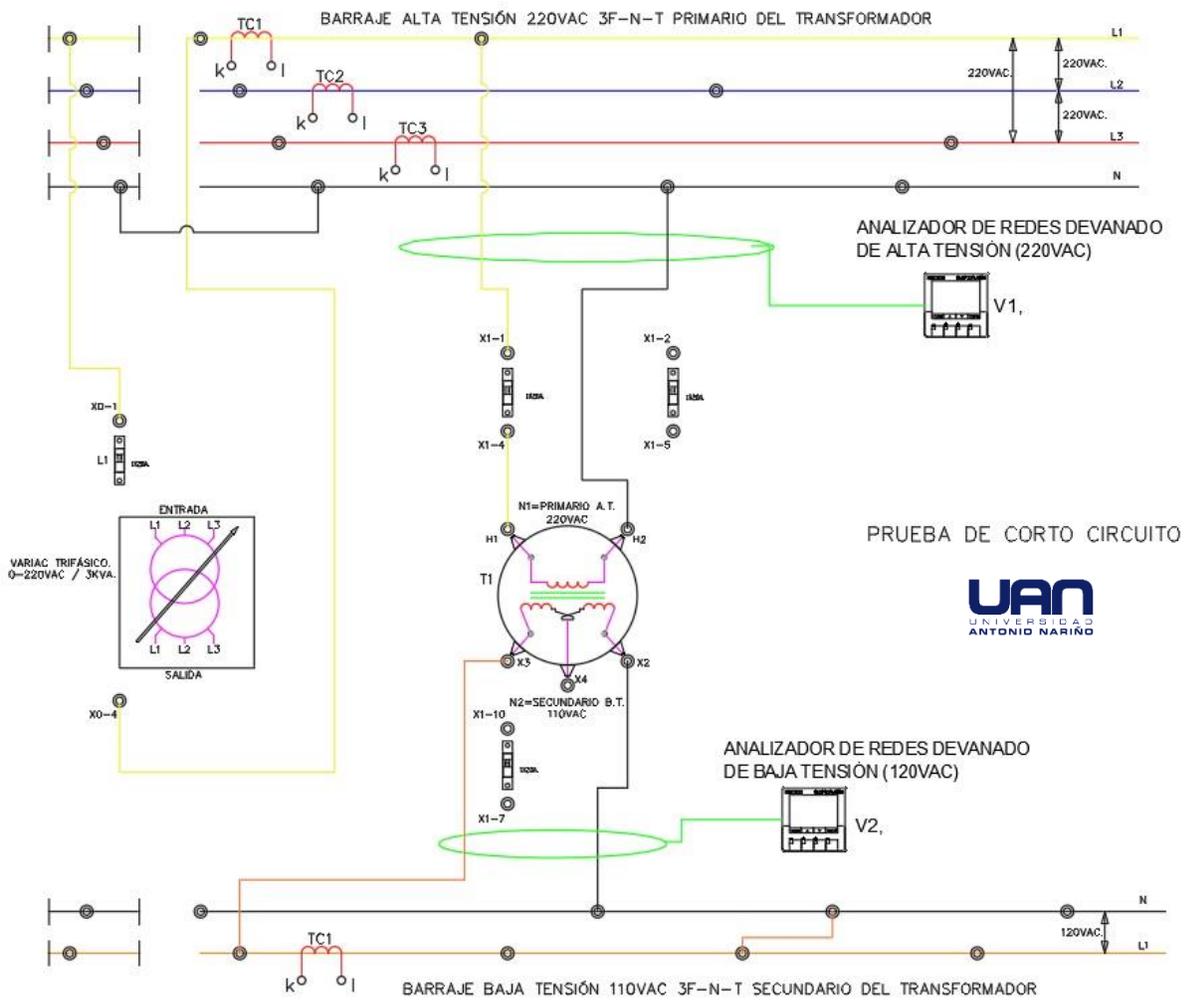
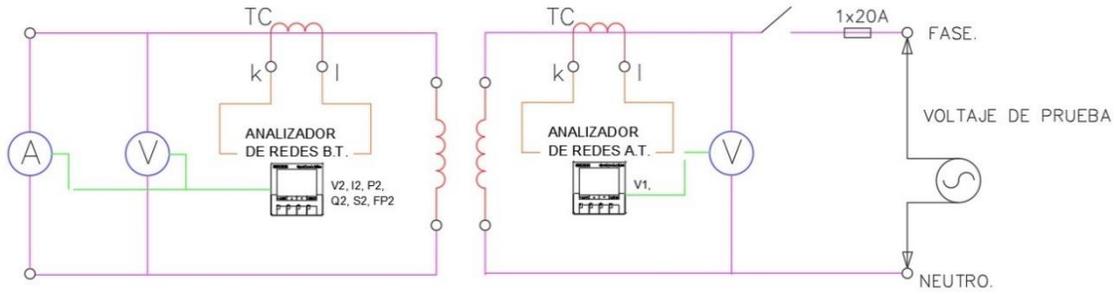
### RECURSOS

- Banco de pruebas para transformadores.
- Instrumentación para medir:
  - ✓ Tensión: Voltaje (3 fases) -  $V_1, V_2, V_3, V_{12}, V_{23}, V_{31}, V_{\text{asimétrico}}$ .
  - ✓ Corriente:  $I_1, I_2, I_3, I_n$ .
  - ✓ Potencia activa:  $P_1, P_2, P_3, P_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia Reactiva:  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia aparente:  $S_1, S_2, S_3, S_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Energía activa:
  - ✓ Energía reactiva: Inductiva y capacitiva.
  - ✓ Frecuencia:
  - ✓ Factor de potencia:  $PF_1, PF_2, PF_3, PF_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Distorsión armónica total: - Voltaje y Corriente
  - ✓ Desplazamiento del factor de potencia: -  $\cos \phi_1, \cos \phi_2, \cos \phi_3, \cos \phi_{\text{promedio}}$ ,
  - ✓ Medición del ángulo fasor en 360° para: -  $V_1, V_2, V_3, I_1, I_2, I_3$ .
- Formato para registro de valores experimentales y resultados.
- Cargas eléctricas.
- Cables de laboratorio.

### ANEXOS

- Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.
- Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.
- Cuestionario de preguntas.

**ANEXO: Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.**

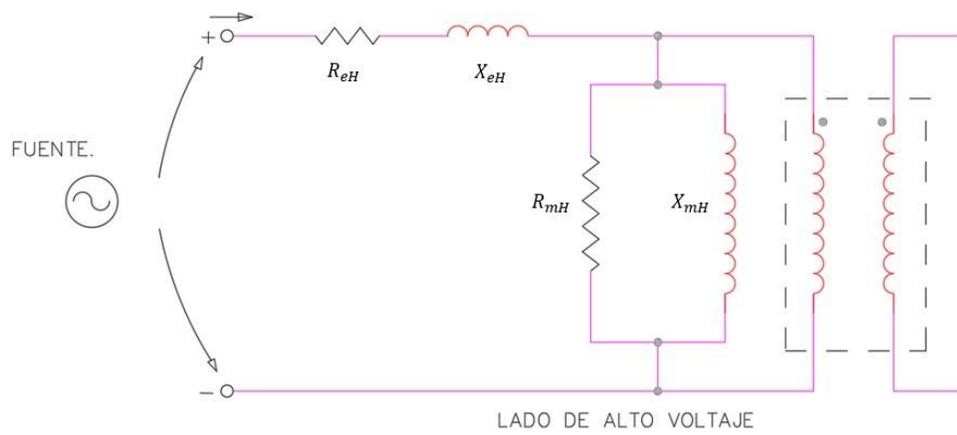


**ANEXO: Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.**

**PRUEBA DE CORTOCIRCUITO**

**VALORES OBTENIDOS DESDE EL LADO DE ALTA TENSIÓN – 220VAC**

| V. PRUEBA | $(V_{CC})$ | $R_{eH}$ | $X_{eH}$ | $R_{mH}$ | $X_{mH}$ |  | $a = \frac{N_1}{N_2}$ |
|-----------|------------|----------|----------|----------|----------|--|-----------------------|
|           |            |          |          |          |          |  |                       |



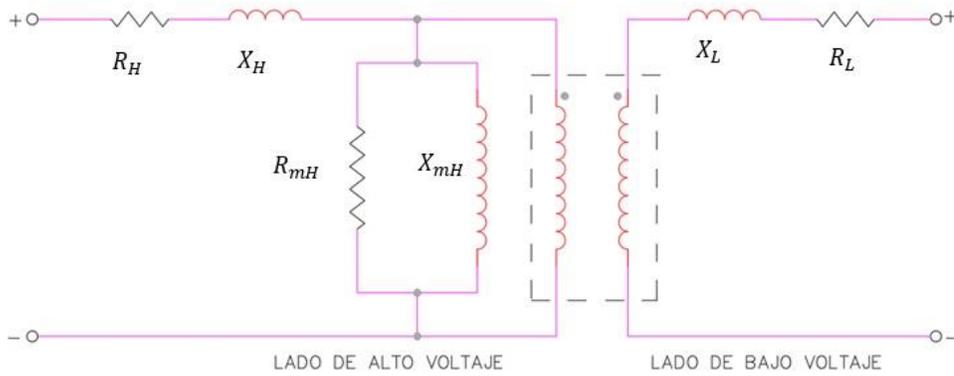
**ANEXO: Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.**

**PRUEBA DE CORTOCIRCUITO**

**VALORES IMPEDANCIAS DEL TRANSFORMADOR**

| V. PRUEBA | $R_H$ | $X_H$ | $R_{mH}$ | $X_{mH}$ | $X_L$ | $R_L$ | $a = \frac{N_1}{N_2}$ |
|-----------|-------|-------|----------|----------|-------|-------|-----------------------|
|           |       |       |          |          |       |       |                       |

MODELO REAL COMPLETO DEL TRANSFORMADOR.



|  |   |
|--|---|
| <b>Banco de pruebas y prácticas para transformadores</b>         |  |
| <b>Práctica No.8:</b> Rendimiento de un transformador monofásico |   |

| DATOS GENERALES       |  |
|-----------------------|--|
| Docente responsable:  |  |
| Asignatura:           |  |
| Nombre del alumno:    |  |
| Código:               |  |
| Fecha de la práctica: |  |

| OBJETIVOS  |  |
|--|--|
| <p><b>Objetivo general:</b></p> <p>Determinar el rendimiento de un transformador monofásico.</p> | <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Analizar el rendimiento de un transformador utilizando un modelo real, visto desde baja tensión.</li> <li>▪ Analizar el rendimiento de un transformador utilizando un modelo real, visto desde baja tensión.</li> <li>▪ Determinar la fuerza electromotriz inducida.</li> <li>▪ Determinar la fuerza contra electromotriz.</li> <li>▪ Determinar el triángulo de potencias y factor de potencia en el lado de alimentación del transformador.</li> </ul> |

| MARCO TEÓRICO  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Modelo real de un Transformador.</li> <li>▪ Pérdidas y rendimiento de un transformador.</li> <li>▪ Pérdidas eléctricas y magnéticas en un transformador.</li> </ul> |

### PROCEDIMIENTO

- Verificar y estudiar el correspondiente diagrama eléctrico.
- Utilizando el tablero del banco de pruebas para transformadores, realizar las correspondientes conexiones.
- Energizar bajo la autorización y supervisión del docente.
- Tomar las mediciones indicadas y registrar en las tablas de pruebas.
- Establecer observaciones, comentarios y conclusiones de la práctica.
- Generar reporte de la práctica para su respectiva entrega.

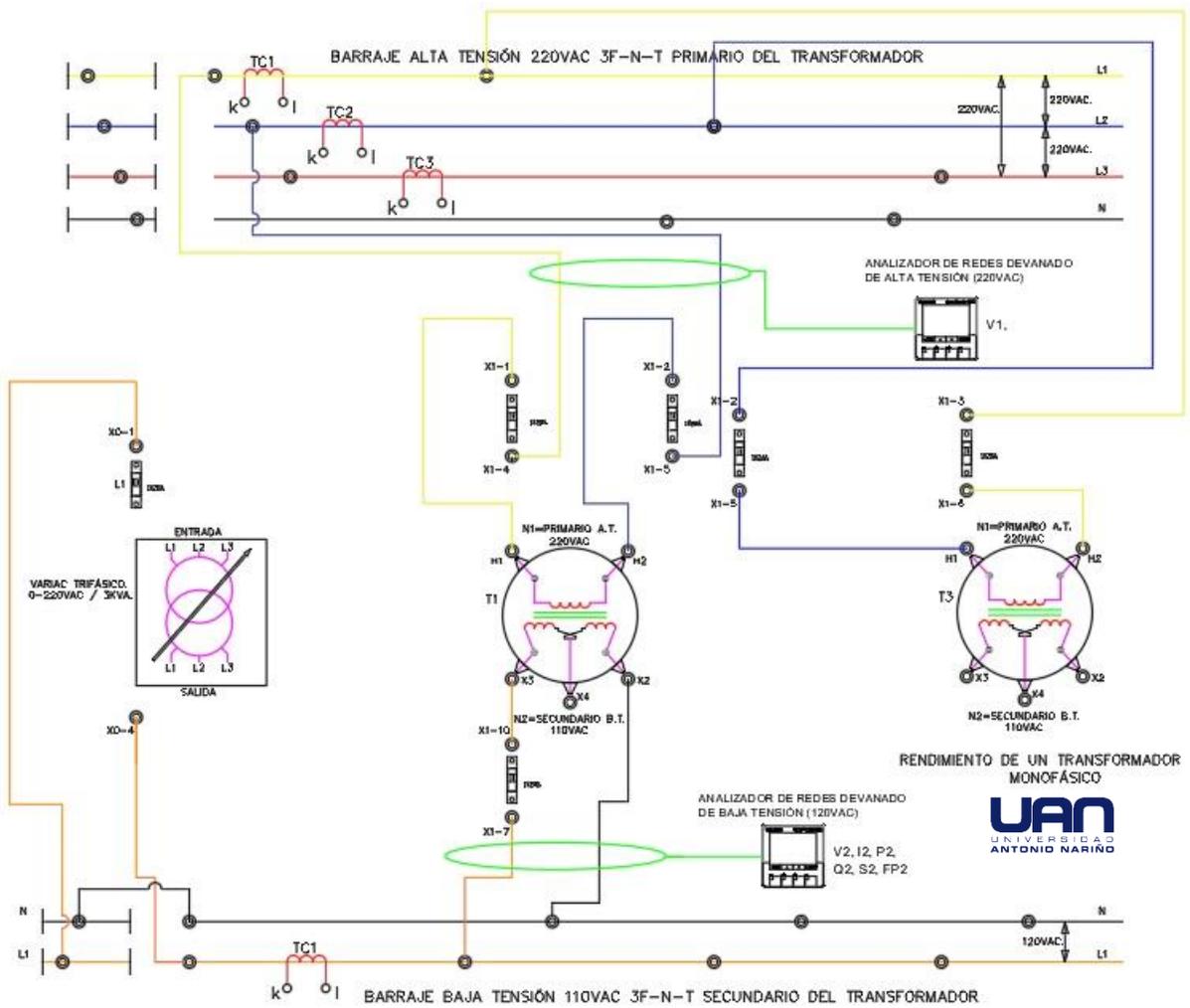
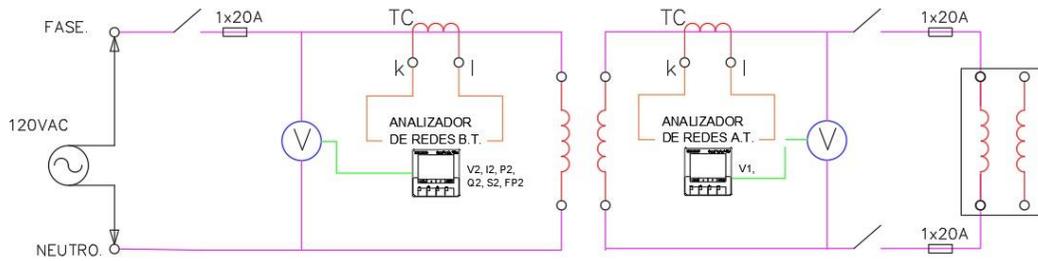
### RECURSOS

- Banco de pruebas para transformadores.
- Instrumentación para medir:
  - ✓ Tensión: Voltaje (3 fases) -  $V_1, V_2, V_3, V_{12}, V_{23}, V_{31}, V_{\text{asimétrico}}$ .
  - ✓ Corriente:  $I_1, I_2, I_3, I_n$ .
  - ✓ Potencia activa:  $P_1, P_2, P_3, P_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia Reactiva:  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia aparente:  $S_1, S_2, S_3, S_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Energía activa:
  - ✓ Energía reactiva: Inductiva y capacitiva.
  - ✓ Frecuencia:
  - ✓ Factor de potencia:  $PF_1, PF_2, PF_3, PF_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Distorsión armónica total: - Voltaje y Corriente
  - ✓ Desplazamiento del factor de potencia: -  $\text{Cos } j_1, \text{Cos } j_2, \text{Cos } j_3, \text{Cos } j_{\text{promedio}}$ ,
  - ✓ Medición del ángulo fasor en 360° para: -  $V_1, V_2, V_3, I_1, I_2, I_3$ .
- Formato para registro de valores experimentales y resultados.
- Cargas eléctricas.
- Cables de laboratorio.

### ANEXOS

- Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.
- Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.
- Cuestionario de preguntas.

**ANEXO: Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.**



**ANEXO: Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.**

| VALORES NOMINALES DE TRANSFORMACIÓN |         |
|-------------------------------------|---------|
| VARIABLES                           | VALORES |
| $S(VA)$                             |         |
| $V_1$                               |         |
| $V_2$                               |         |
| $I_1$                               |         |
| $I_2$                               |         |
| $R_H$                               |         |
| $X_H$                               |         |
| $R_L$                               |         |
| $X_L$                               |         |
| $R_{mH}$                            |         |
| $X_{mH}$                            |         |

**ANEXO: Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.**

| VALORES MEDIDOS DESDE EL DEVANADO DE B.T 120VAC. |               |                    |                |
|--|---------------|--------------------|----------------|
| VARIABLES  | VALOR TEÓRICO | VALOR EXPERIMENTAL | OBSERVACIONES. |
| $V_1$  |               |                    |                |
| $I_1$  |               |                    |                |
| $P_1$  |               |                    |                |
| $Q_1$  |               |                    |                |
| $S_1$  |               |                    |                |
| $FP_1$   |               |                    |                |
| $V_2$  |               |                    |                |
| $I_2$  |               |                    |                |
| $P_2$  |               |                    |                |
| $Q_2$  |               |                    |                |
| $S_2$  |               |                    |                |
| $FP_2$   |               |                    |                |
| $I_0$  |               |                    |                |
| $I_{h+0}$  |               |                    |                |
| $I_m$  |               |                    |                |
| $P_{\text{núcleo}}$                              |               |                    |                |
| $P_{\text{mag núcleo}}$                          |               |                    |                |
| $P_{\text{cu}}$                                  |               |                    |                |
| $P_{\text{cu1}}$                                 |               |                    |                |
| $P_{\text{cu2}}$                                 |               |                    |                |
| $P_{\text{eléctricas}}$                          |               |                    |                |
| $P_{\text{magnéticas}}$                          |               |                    |                |
| $\%_n$   |               |                    |                |

**ANEXO: Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.**

| VALORES MEDIDOS DESDE EL DEVANADO DE A.T 220VAC. |               |                    |                |
|--|---------------|--------------------|----------------|
| VARIABLES  | VALOR TEÓRICO | VALOR EXPERIMENTAL | OBSERVACIONES. |
| $V_1$  |               |                    |                |
| $I_1$  |               |                    |                |
| $P_1$  |               |                    |                |
| $Q_1$  |               |                    |                |
| $S_1$  |               |                    |                |
| $FP_1$   |               |                    |                |
| $V_2$  |               |                    |                |
| $I_2$  |               |                    |                |
| $P_2$  |               |                    |                |
| $Q_2$  |               |                    |                |
| $S_2$  |               |                    |                |
| $FP_2$   |               |                    |                |
| $I_0$  |               |                    |                |
| $I_{h+0}$  |               |                    |                |
| $I_m$  |               |                    |                |
| $P_{\text{núcleo}}$                              |               |                    |                |
| $P_{\text{mag núcleo}}$                          |               |                    |                |
| $P_{\text{cu}}$                                  |               |                    |                |
| $P_{\text{cu1}}$                                 |               |                    |                |
| $P_{\text{cu2}}$                                 |               |                    |                |
| $P_{\text{eléctricas}}$                          |               |                    |                |
| $P_{\text{magnéticas}}$                          |               |                    |                |
| $\%_n$   |               |                    |                |

|  |  |
|--|--|
| <b>Banco de pruebas y prácticas para transformadores</b>               |  |
| <b>Práctica No.9:</b> Diagrama fasorial de un transformador monofásico |  |

| DATOS GENERALES       |  |
|-----------------------|--|
| Docente responsable:  |  |
| Asignatura:           |  |
| Nombre del alumno:    |  |
| Código:               |  |
| Fecha de la práctica: |  |

| OBJETIVOS   |   |
|---|---|
| <p><b>Objetivo general:</b></p> <p>Determinar el comportamiento fasorial de un transformador monofásico</p> | <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Analizar el comportamiento fasorial de un transformador monofásico, cuando da servicio a una carga resistiva.</li> <li>▪ Analizar el comportamiento fasorial de un transformador monofásico, cuando da servicio a una carga inductiva.</li> </ul> |

| MARCO TEÓRICO   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diagrama fasorial de un Transformador.</li> <li>▪ Cargas resistivas e inductivas.</li> </ul> |

| PROCEDIMIENTO  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verificar y estudiar el correspondiente diagrama eléctrico.</li> <li>▪ Utilizando el tablero del banco de pruebas para transformadores, realizar las correspondientes conexiones.</li> <li>▪ Energizar bajo la autorización y supervisión del docente.</li> <li>▪ Tomar las mediciones indicadas y registrar en las tablas de pruebas.</li> <li>▪ Establecer observaciones, comentarios y conclusiones de la práctica.</li> </ul> |

**PROCEDIMIENTO**

- Generar reporte de la práctica para su respectiva entrega.

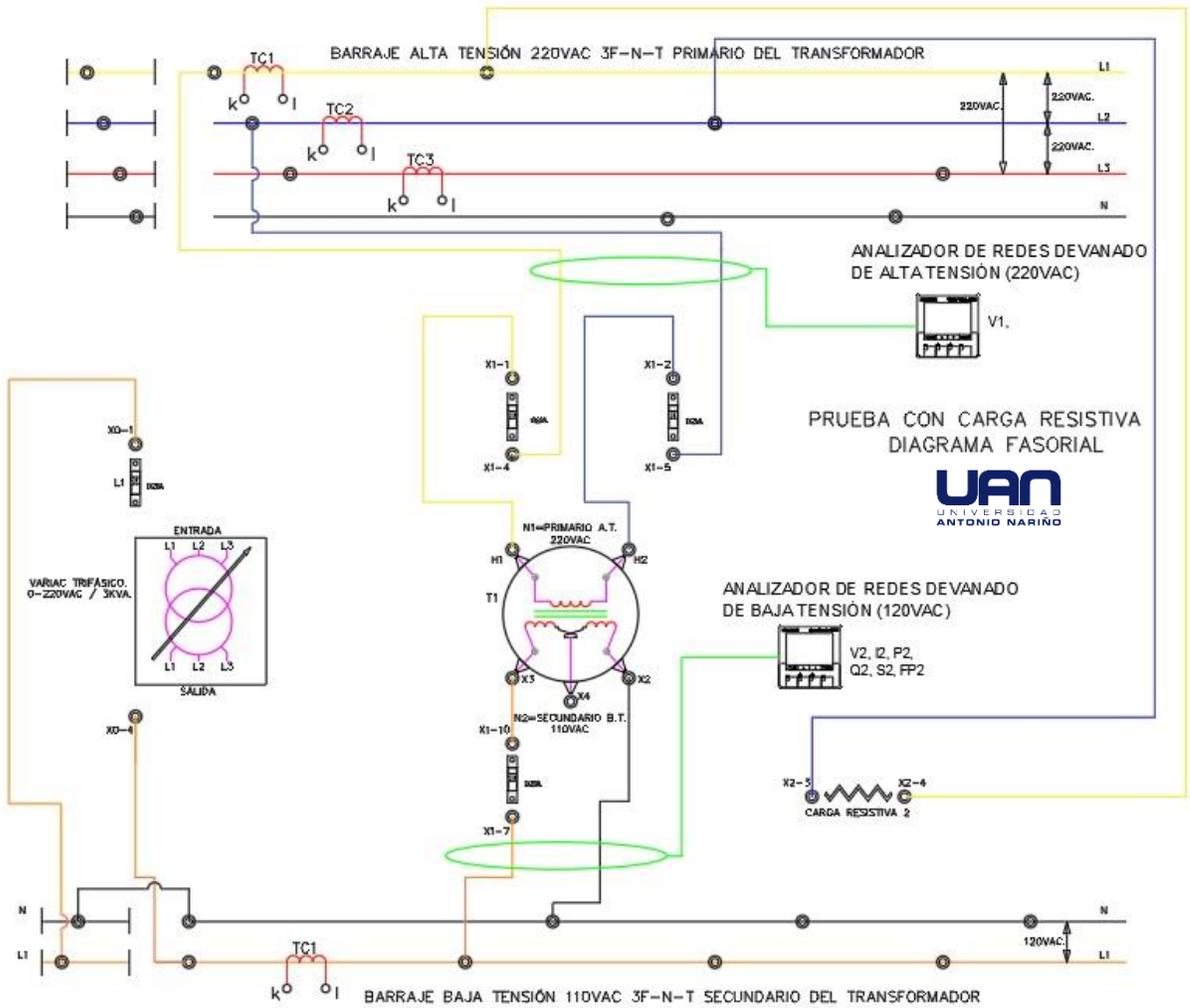
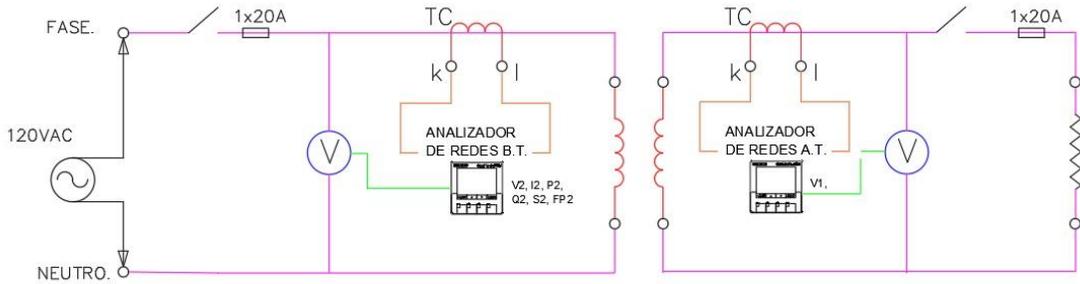
**RECURSOS**

- Banco de pruebas para transformadores.
- Instrumentación para medir:
  - ✓ Tensión: Voltaje (3 fases) -  $V_1, V_2, V_3, V_{12}, V_{23}, V_{31}, V_{\text{asimétrico}}$ .
  - ✓ Corriente:  $I_1, I_2, I_3, I_n$ .
  - ✓ Potencia activa:  $P_1, P_2, P_3, P_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia Reactiva:  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia aparente:  $S_1, S_2, S_3, S_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Energía activa:
  - ✓ Energía reactiva: Inductiva y capacitiva.
  - ✓ Frecuencia:
  - ✓ Factor de potencia:  $PF_1, PF_2, PF_3, PF_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Distorsión armónica total: - Voltaje y Corriente
  - ✓ Desplazamiento del factor de potencia: -  $\text{Cos } j_1, \text{Cos } j_2, \text{Cos } j_3, \text{Cos } j_{\text{promedio}}$ ,
  - ✓ Medición del ángulo fasor en 360° para: -  $V_1, V_2, V_3, I_1, I_2, I_3$ .
- Formato para registro de valores experimentales y resultados.
- Cargas eléctricas.
- Cables de laboratorio.

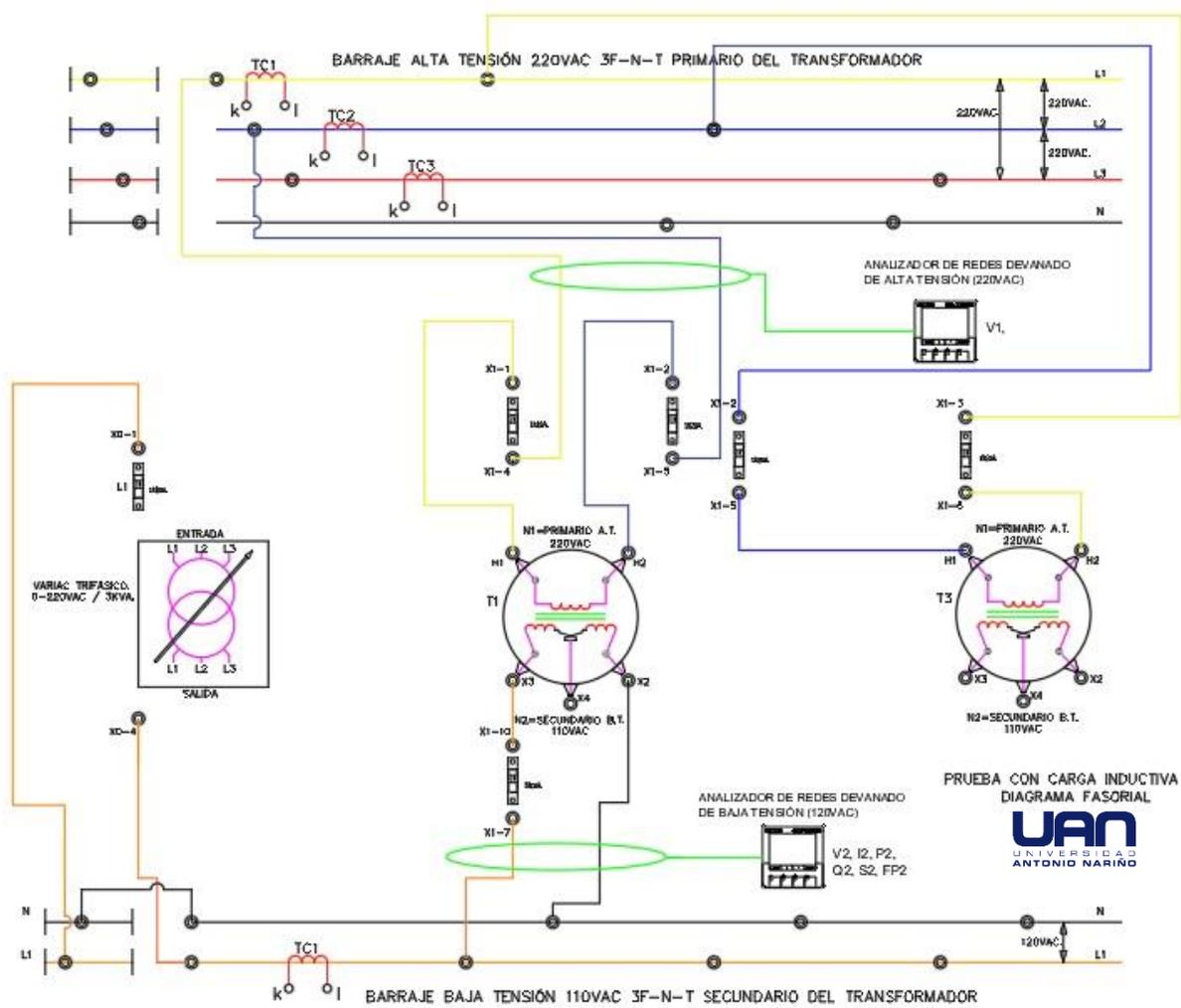
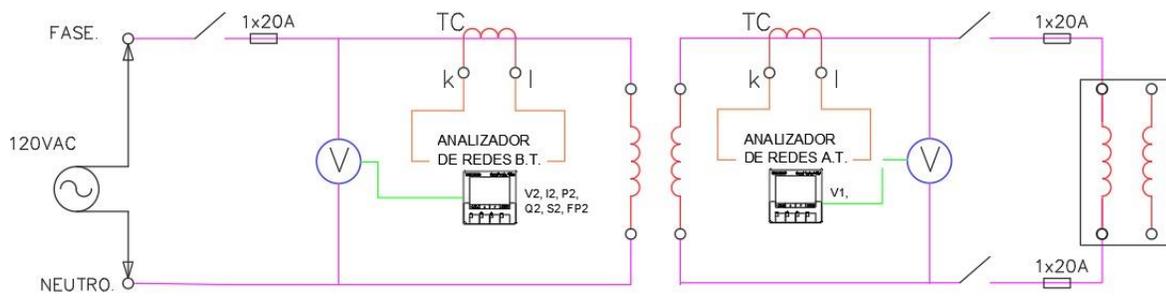
**ANEXOS**

- Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.
- Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.
- Cuestionario de preguntas.

**ANEXO: Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.**



**ANEXO: Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.**



**ANEXO: Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.**

| VALORES NOMINALES DE TRANSFORMACIÓN |         |
|-------------------------------------|---------|
| VARIABLES                           | VALORES |
| S(VA)                               |         |
| $V_1$                               |         |
| $V_2$                               |         |
| $I_1$                               |         |
| $I_2$                               |         |
| $R_H$                               |         |
| $X_H$                               |         |
| $R_L$                               |         |
| $X_L$                               |         |
| $R_{mH}$                            |         |
| $X_{mH}$                            |         |

| DIAGRAMA FASORIAL CON CARGA RESISTIVA |               |                    |                |
|---------------------------------------|---------------|--------------------|----------------|
| VARIABLES                             | VALOR TEÓRICO | VALOR EXPERIMENTAL | OBSERVACIONES. |
| $V_1$                                 |               |                    |                |
| $I_1$                                 |               |                    |                |
| $P_1$                                 |               |                    |                |
| $Q_1$                                 |               |                    |                |
| $S_1$                                 |               |                    |                |
| $FP_1$                                |               |                    |                |
| $V_2$                                 |               |                    |                |
| $I_2$                                 |               |                    |                |
| $P_2$                                 |               |                    |                |
| $Q_2$                                 |               |                    |                |
| $S_2$                                 |               |                    |                |
| $FP_2$                                |               |                    |                |

**ANEXO: Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.**

| DIAGRAMA FASORIAL CON CARGA INDUCTIVA |               |                    |                |
|---------------------------------------|---------------|--------------------|----------------|
| VARIABLES                             | VALOR TEÓRICO | VALOR EXPERIMENTAL | OBSERVACIONES. |
| $V_1$                                 |               |                    |                |
| $I_1$                                 |               |                    |                |
| $P_1$                                 |               |                    |                |
| $Q_1$                                 |               |                    |                |
| $S_1$                                 |               |                    |                |
| $FP_1$                                |               |                    |                |
| $V_2$                                 |               |                    |                |
| $I_2$                                 |               |                    |                |
| $P_2$                                 |               |                    |                |
| $Q_2$                                 |               |                    |                |
| $S_2$                                 |               |                    |                |
| $FP_2$                                |               |                    |                |

|   |   |
|---|---|
| <b>Banco de pruebas y prácticas para transformadores</b>                      |  |
| <b>Práctica No.10:</b> Conexiones serie - paralelo / transformador monofásico |   |

| DATOS GENERALES       |  |
|-----------------------|--|
| Docente responsable:  |  |
| Asignatura:           |  |
| Nombre del alumno:    |  |
| Código:               |  |
| Fecha de la práctica: |  |

| OBJETIVOS   |   |
|---|---|
| <p><b>Objetivo general:</b><br/>Realizar conexión serie paralelo entre transformadores monofásicos.</p> | <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Realizar conexiones serie de devanados de un transformador.</li> <li>▪ Realizar conexiones paralelo de devanados de un transformador.</li> <li>▪ Conectar en paralelo dos transformadores monofásicos.</li> </ul> |

| MARCO TEÓRICO   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Polaridad de transformadores.</li> <li>▪ Capacidad de transformadores conectados en serie-paralelo.</li> </ul> |

| PROCEDIMIENTO  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verificar y estudiar el correspondiente diagrama eléctrico.</li> <li>▪ Utilizando el tablero del banco de pruebas para transformadores, realizar las correspondientes conexiones.</li> <li>▪ Energizar bajo la autorización y supervisión del docente.</li> <li>▪ Tomar las mediciones indicadas y registrar en las tablas de pruebas.</li> <li>▪ Establecer observaciones, comentarios y conclusiones de la práctica.</li> </ul> |

### PROCEDIMIENTO

- Generar reporte de la práctica para su respectiva entrega.

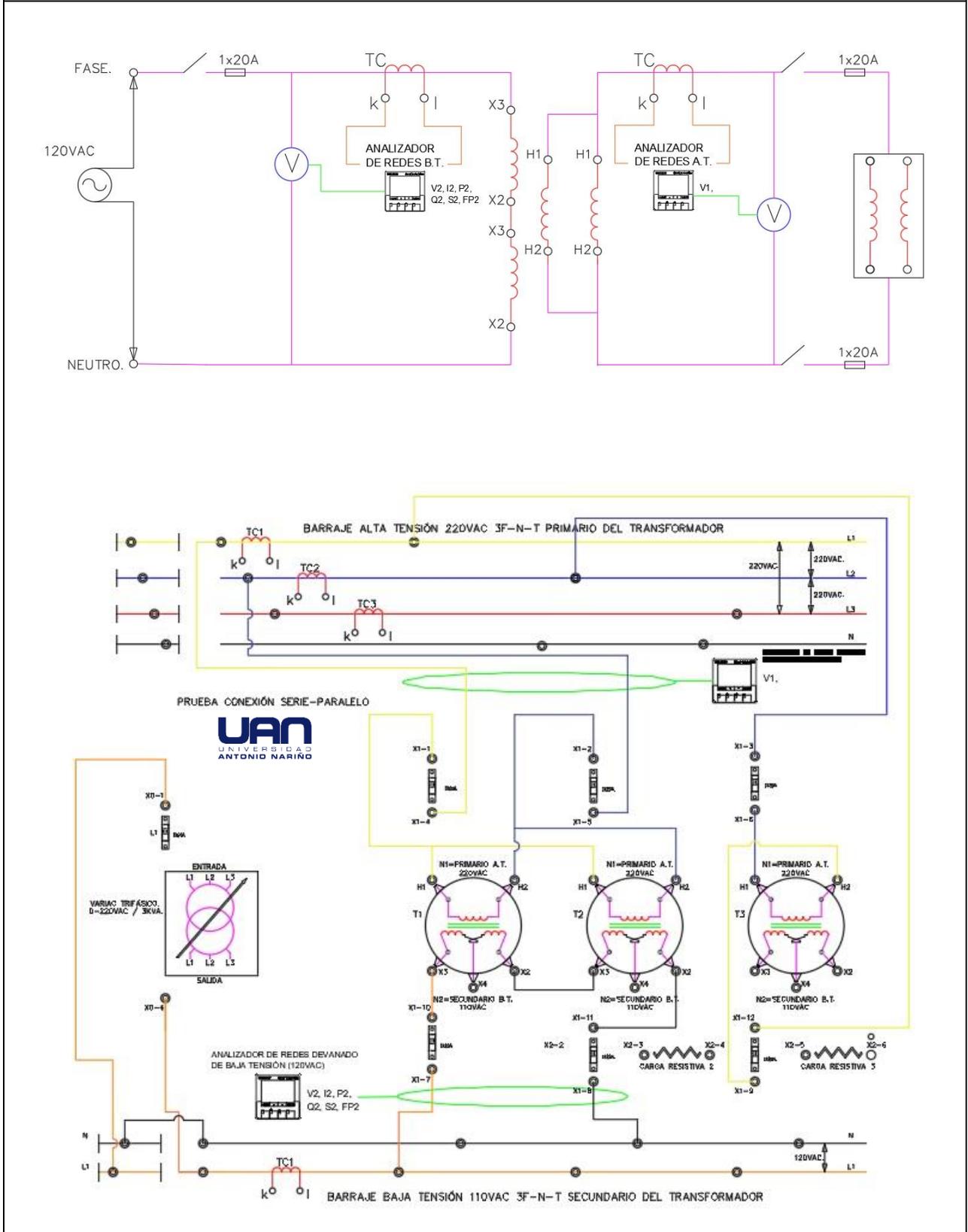
### RECURSOS

- Banco de pruebas para transformadores.
- Instrumentación para medir:
  - ✓ Tensión: Voltaje (3 fases) -  $V_1, V_2, V_3, V_{12}, V_{23}, V_{31}, V_{\text{asimétrico}}$ .
  - ✓ Corriente:  $I_1, I_2, I_3, I_n$ .
  - ✓ Potencia activa:  $P_1, P_2, P_3, P_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia Reactiva:  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia aparente:  $S_1, S_2, S_3, S_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Energía activa:
  - ✓ Energía reactiva: Inductiva y capacitiva.
  - ✓ Frecuencia:
  - ✓ Factor de potencia:  $PF_1, PF_2, PF_3, PF_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Distorsión armónica total: - Voltaje y Corriente
  - ✓ Desplazamiento del factor de potencia: -  $\text{Cos } j_1, \text{Cos } j_2, \text{Cos } j_3, \text{Cos } j_{\text{promedio}}$ ,
  - ✓ Medición del ángulo fasor en 360° para: -  $V_1, V_2, V_3, I_1, I_2, I_3$ .
- Formato para registro de valores experimentales y resultados.
- Cargas eléctricas.
- Cables de laboratorio.

### ANEXOS

- Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.
- Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.
- Cuestionario de preguntas.

**ANEXO: Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.**



**ANEXO: Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.**

| VALORES OBTENIDOS CONEXIÓN SERIE – PARALELO. |               |                    |                |
|--|---------------|--------------------|----------------|
| VARIABLES                                    | VALOR TEÓRICO | VALOR EXPERIMENTAL | OBSERVACIONES. |
| $V_1$  |               |                    |                |
| $I_1$  |               |                    |                |
| $P_1$  |               |                    |                |
| $Q_1$  |               |                    |                |
| $S_1$  |               |                    |                |
| $FP_1$                                       |               |                    |                |
| $V_2$  |               |                    |                |
| $I_2$  |               |                    |                |
| $P_2$  |               |                    |                |
| $Q_2$  |               |                    |                |
| $S_2$  |               |                    |                |
| $FP_2$                                       |               |                    |                |
| $S_{\max.(\text{BARRAJE B.T.})}$             |               |                    |                |
| $S_{\max.(\text{BARRAJE A.T.})}$             |               |                    |                |
| $a_{\text{SISTEMA}}$                         |               |                    |                |

|  |  |
|--|--|
| <b>Banco de pruebas y prácticas para transformadores</b> |  |
| <b>Práctica No.11:</b> Transformador de potencial        |  |

| DATOS GENERALES       |  |
|-----------------------|--|
| Docente responsable:  |  |
| Asignatura:           |  |
| Nombre del alumno:    |  |
| Código:               |  |
| Fecha de la práctica: |  |

| OBJETIVOS  |  |
|--|--|
| <b>Objetivo general:</b><br>Analizar el comportamiento de transformadores para medición, protección y control. | <b>Objetivos específicos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Analizar el comportamiento de un transformador de potencial.</li> <li>▪ Analizar el comportamiento de un transformador de corriente.</li> </ul> |

| MARCO TEÓRICO  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Transformador de potencial.</li> <li>▪ Transformador de corriente.</li> </ul> |

| PROCEDIMIENTO  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verificar y estudiar el correspondiente diagrama eléctrico.</li> <li>▪ Utilizando el tablero del banco de pruebas para transformadores, realizar las correspondientes conexiones.</li> <li>▪ Energizar bajo la autorización y supervisión del docente, (en el devanado de B.T. 110 VAC).</li> <li>▪ Tomar las mediciones indicadas y registrar en las tablas de pruebas.</li> <li>▪ Establecer observaciones, comentarios y conclusiones de la práctica.</li> <li>▪ Generar reporte de la práctica para su respectiva entrega.</li> </ul> |

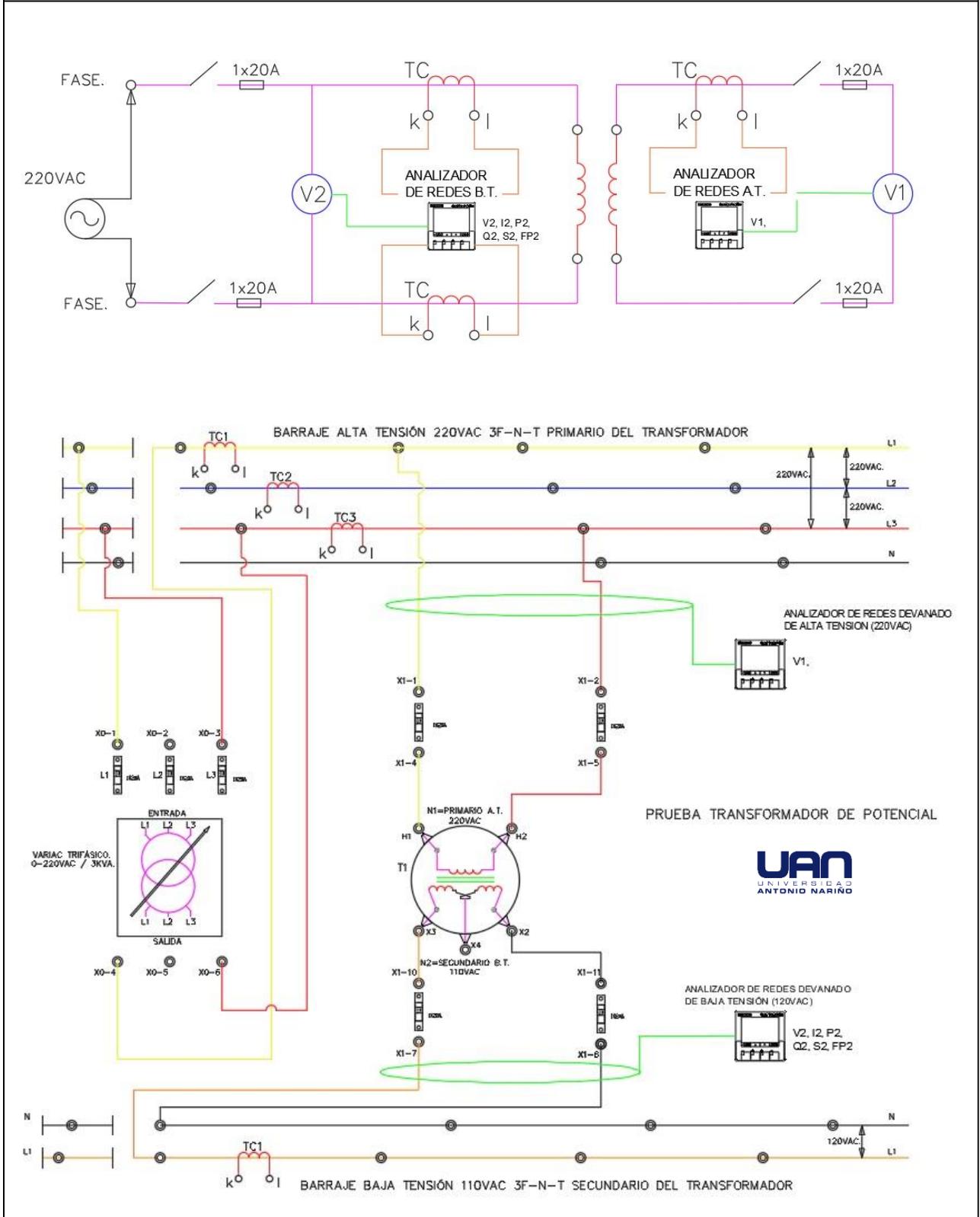
**RECURSOS**

- Banco de pruebas para transformadores.
- Instrumentación para medir:
  - ✓ Tensión: Voltaje (3 fases) -  $V_1, V_2, V_3, V_{12}, V_{23}, V_{31}, V_{\text{asimétrico}}$ .
  - ✓ Corriente:  $I_1, I_2, I_3, I_n$ .
  - ✓ Potencia activa:  $P_1, P_2, P_3, P_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia Reactiva:  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia aparente:  $S_1, S_2, S_3, S_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Energía activa:
  - ✓ Energía reactiva: Inductiva y capacitiva.
  - ✓ Frecuencia:
  - ✓ Factor de potencia:  $PF_1, PF_2, PF_3, PF_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Distorsión armónica total: - Voltaje y Corriente
  - ✓ Desplazamiento del factor de potencia: -  $\cos \phi_1, \cos \phi_2, \cos \phi_3, \cos \phi_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Medición del ángulo fasor en 360° para: -  $V_1, V_2, V_3, I_1, I_2, I_3$ .
- Formato para registro de valores experimentales y resultados.
- Cargas eléctricas.
- Cables de laboratorio.

**ANEXOS**

- Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.
- Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.
- Cuestionario de preguntas.

**ANEXO: Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.**



**ANEXO: Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.**

**VALORES OBTENIDOS DE UN TRANSFORMADOR DE POTENCIAL**

| V <sub>1</sub> | V <sub>2</sub> | OBSERVACIONES | V <sub>1</sub> - V <sub>2</sub> |
|----------------|----------------|---------------|---------------------------------|
| 220            |                |               |                                 |
| 210            |                |               |                                 |
| 200            |                |               |                                 |
| 190            |                |               |                                 |
| 180            |                |               |                                 |
| 170            |                |               |                                 |
| 150            |                |               |                                 |
| 140            |                |               |                                 |
| 130            |                |               |                                 |
| 120            |                |               |                                 |

**VALORES OBTENIDOS DE UN TRANSFORMADOR DE CORRIENTE**

| A <sub>1</sub> | A <sub>2</sub> | OBSERVACIONES | A <sub>1</sub> - A <sub>2</sub> |
|----------------|----------------|---------------|---------------------------------|
| 1              |                |               |                                 |
| 2              |                |               |                                 |
| 3              |                |               |                                 |
| 4              |                |               |                                 |
| 5              |                |               |                                 |
| 6              |                |               |                                 |
| 7              |                |               |                                 |
| 8              |                |               |                                 |
| 9              |                |               |                                 |
| 10             |                |               |                                 |

|  |  |
|--|--|
| <b>Banco de pruebas y prácticas para transformadores</b> |  |
| <b>Práctica No.12:</b> Conexión trifásica YE-YE. (Y-Y)   |  |

| DATOS GENERALES       |  |
|-----------------------|--|
| Docente responsable:  |  |
| Asignatura:           |  |
| Nombre del alumno:    |  |
| Código:               |  |
| Fecha de la práctica: |  |

| OBJETIVOS  |   |
|--|---|
| <b>Objetivo general:</b><br>Estudiar el comportamiento de un sistema de transformación, estrella-estrella. | <b>Objetivos específicos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Realizar la conexión trifásica.</li> <li>▪ Análisis fasorial de tensiones.</li> <li>▪ Relación fundamental de transformación.</li> <li>▪ Triangulo de potencias en baja y alta tensión.</li> </ul> |

| MARCO TEÓRICO   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sistemas de transformación de tensión trifásica.</li> <li>▪ Banco trifásico de transformadores, YE-YE.</li> <li>▪ Capacidad de bancos trifásicos.</li> <li>▪ Dimensionamiento de bancos trifásicos.</li> </ul> |

| PROCEDIMIENTO  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verificar y estudiar el correspondiente diagrama eléctrico.</li> <li>▪ Utilizando el tablero del banco de pruebas para transformadores, realizar las correspondientes conexiones.</li> <li>▪ Energizar bajo la autorización y supervisión del docente.</li> <li>▪ Tomar las mediciones indicadas y registrar en las tablas de pruebas.</li> </ul> |

### PROCEDIMIENTO

- Establecer observaciones, comentarios y conclusiones de la práctica.
- Generar reporte de la práctica para su respectiva entrega.

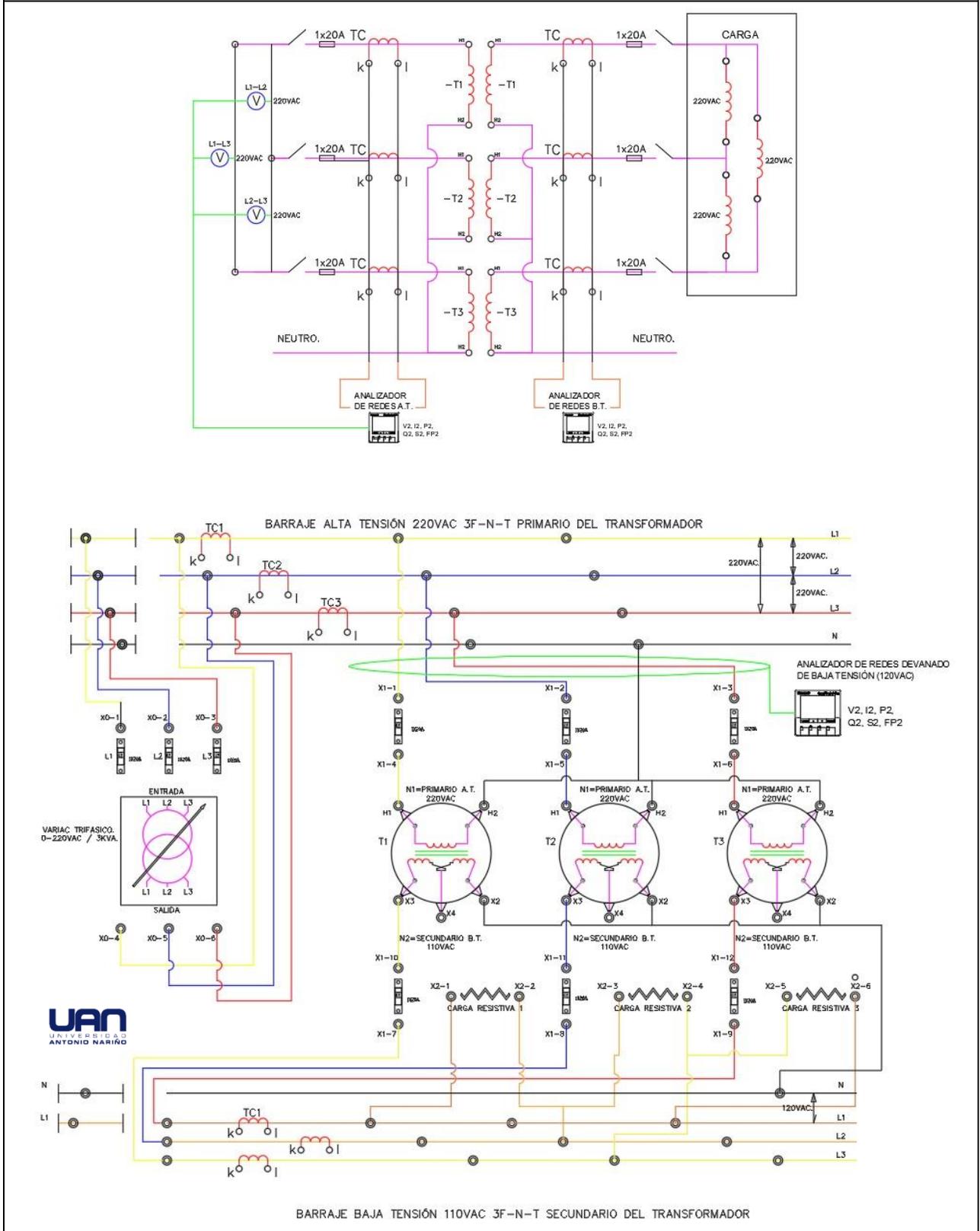
### RECURSOS

- Banco de pruebas para transformadores.
- Instrumentación para medir:
  - ✓ Tensión: Voltaje (3 fases) -  $V_1, V_2, V_3, V_{12}, V_{23}, V_{31}, V_{\text{asimétrico}}$ .
  - ✓ Corriente:  $I_1, I_2, I_3, I_n$ .
  - ✓ Potencia activa:  $P_1, P_2, P_3, P_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia Reactiva:  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia aparente:  $S_1, S_2, S_3, S_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Energía activa:
  - ✓ Energía reactiva: Inductiva y capacitiva.
  - ✓ Frecuencia:
  - ✓ Factor de potencia:  $PF_1, PF_2, PF_3, PF_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Distorsión armónica total: - Voltaje y Corriente
  - ✓ Desplazamiento del factor de potencia: -  $\text{Cos } j_1, \text{Cos } j_2, \text{Cos } j_3, \text{Cos } j_{\text{promedio}}$ ,
  - ✓ Medición del ángulo fasor en 360° para: -  $V_1, V_2, V_3, I_1, I_2, I_3$ .
- Formato para registro de valores experimentales y resultados.
- Cargas eléctricas.
- Cables de laboratorio.

### ANEXOS

- Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.
- Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.
- Cuestionario de preguntas.

**ANEXO: Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.**



**ANEXO: Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.**

| VALORES DE TENSIÓN, CORRIENTE Y FACTOR DE POTENCIA. |  |              |  |               |
|---|--|--------------|--|---------------|
| ALTA TENSIÓN  |  | BAJA TENSIÓN |  | OBSERVACIONES |
| $V_{R-S}$   |  | $V_{R-S}$    |  |               |
| $V_{S-T}$   |  | $V_{S-T}$    |  |               |
| $V_{R-T}$   |  | $V_{R-T}$    |  |               |
| $V_{R-N}$   |  | $V_{R-N}$    |  |               |
| $V_{S-N}$   |  | $V_{S-N}$    |  |               |
| $V_{T-N}$   |  | $V_{T-N}$    |  |               |
| $I_R$   |  | $I_R$        |  |               |
| $I_S$   |  | $I_S$        |  |               |
| $I_T$   |  | $I_T$        |  |               |
| $I_N$   |  | $I_N$        |  |               |
| P 3Ø  |  | P 3Ø         |  |               |
| Q 3Ø  |  | Q 3Ø         |  |               |
| S 3Ø  |  | S 3Ø         |  |               |
| FP 3Ø   |  | FP 3Ø        |  |               |

| VALORES PROMEDIO DE TENSIÓN, CORRIENTE. |  |              |  |                             |                             |
|---|--|--------------|--|-----------------------------|-----------------------------|
| ALTA TENSIÓN                            |  | BAJA TENSIÓN |  | Y/AT                        | Y/BT                        |
| $V_{L-L}$                               |  | $V_{L-L}$    |  | $V_{L-L} = \sqrt{3} * FASE$ | $V_{L-L} = \sqrt{3} * FASE$ |
| $V_{FASE}$                              |  | $V_{FASE}$   |  |                             |                             |
| $I_L$                                   |  | $I_L$        |  | $I_L = FASE$                | $I_L = FASE$                |
| $I_{FASE}$                              |  | $I_{FASE}$   |  |                             |                             |

$$\alpha = \frac{V_{L-L(AT)}}{V_{L-L(BT)}} = \frac{N_{(AT)}}{N_{(BT)}} = \frac{I_{L(BT)}}{I_{L(AT)}}$$

| ANÁLISIS DE POTENCIAS. |  |              |  |  |      |
|------------------------|--|--------------|--|--|------|
| ALTA TENSIÓN           |  | BAJA TENSIÓN |  | DIFERENCIA DE POTENCIAS<br>(A.T. - B.T.) | Y/BT |
| P 3Ø                   |  | P 3Ø         |  |  |      |
| Q 3Ø                   |  | Q 3Ø         |  |  |      |
| S 3Ø                   |  | S 3Ø         |  |  |      |
| FP 3Ø                  |  | FP 3Ø        |  |  |      |

| VALORES NOMINALES DEL BANCO TRIFÁSICO (Y-Y). |  |                      |  |  |
|--|--|----------------------|--|--|
| ALTA TENSIÓN                                 |  | BAJA TENSIÓN         |  | DIFERENCIA DE POTENCIAS (A.T. -<br>B.T.) |
| N <sub>(AT)</sub>                            |  | N <sub>(BT)</sub>    |  |  |
| V <sub>L-L</sub>                             |  | V <sub>L-L</sub>     |  |  |
| V <sub>FASE</sub>                            |  | V <sub>FASE</sub>    |  |  |
| S <sub>(VA)</sub> 3Ø                         |  | S <sub>(VA)</sub> 3Ø |  |  |

## Banco de pruebas y prácticas para transformadores



**Práctica No.13:** Conexión trifásica YE – DELTA. (Y- $\Delta$ )

### DATOS GENERALES

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Docente responsable:  |  |
| Asignatura:           |  |
| Nombre del alumno:    |  |
| Código:               |  |
| Fecha de la práctica: |  |

### OBJETIVOS

|   |  |
|---|--|
| <p><b>Objetivo general:</b><br/>Estudiar el comportamiento de un sistema de transformación, estrella - triángulo.</p> | <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Realizar la conexión trifásica.</li> <li>▪ Análisis fasorial de tensiones.</li> <li>▪ Relación fundamental de transformación.</li> <li>▪ Triangulo de potencias en baja y alta tensión.</li> </ul> |
|---|--|

### MARCO TEÓRICO

|  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sistemas de transformación de tensión trifásica.</li> <li>▪ Banco trifásico de transformadores, YE-DELTA.</li> <li>▪ Capacidad de bancos trifásicos.</li> <li>▪ Dimensionamiento de bancos trifásicos.</li> </ul> |
|--|

### PROCEDIMIENTO

|  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verificar y estudiar el correspondiente diagrama eléctrico.</li> <li>▪ Utilizando el tablero del banco de pruebas para transformadores, realizar las correspondientes conexiones.</li> <li>▪ Energizar bajo la autorización y supervisión del docente.</li> <li>▪ Tomar las mediciones indicadas y registrar en las tablas de pruebas.</li> </ul> |
|--|

### PROCEDIMIENTO

- Establecer observaciones, comentarios y conclusiones de la práctica.
- Generar reporte de la práctica para su respectiva entrega.

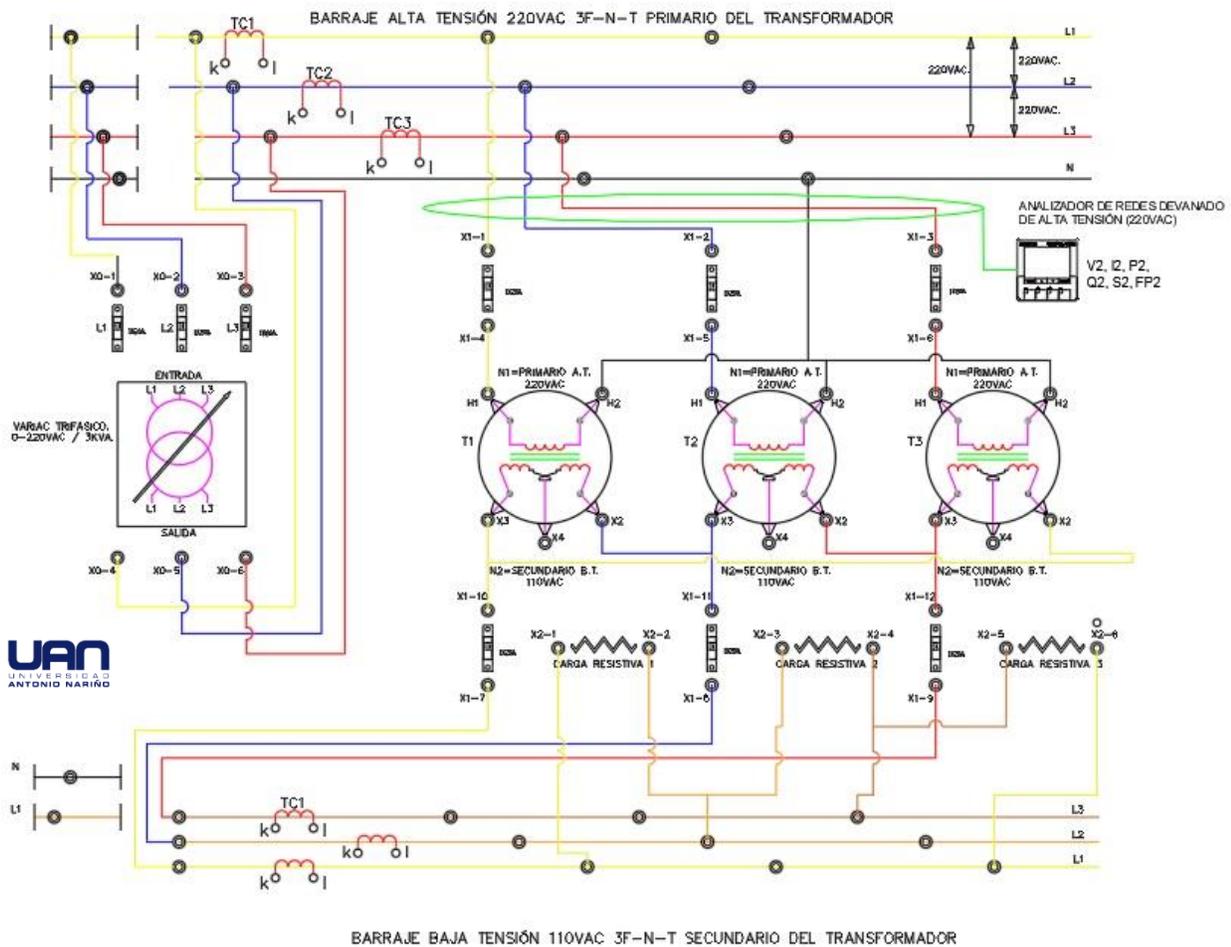
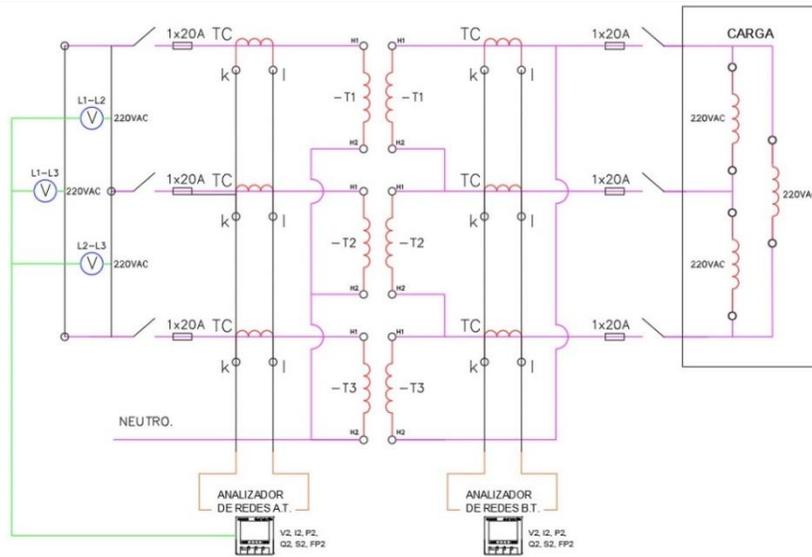
### RECURSOS

- Banco de pruebas para transformadores.
- Instrumentación para medir:
  - ✓ Tensión: Voltaje (3 fases) -  $V_1, V_2, V_3, V_{12}, V_{23}, V_{31}, V_{\text{asimétrico}}$ .
  - ✓ Corriente:  $I_1, I_2, I_3, I_n$ .
  - ✓ Potencia activa:  $P_1, P_2, P_3, P_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia Reactiva:  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia aparente:  $S_1, S_2, S_3, S_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Energía activa:
  - ✓ Energía reactiva: Inductiva y capacitiva.
  - ✓ Frecuencia:
  - ✓ Factor de potencia:  $PF_1, PF_2, PF_3, PF_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Distorsión armónica total: - Voltaje y Corriente
  - ✓ Desplazamiento del factor de potencia: -  $\text{Cos } j_1, \text{Cos } j_2, \text{Cos } j_3, \text{Cos } j_{\text{promedio}}$ ,
  - ✓ Medición del ángulo fasor en 360° para: -  $V_1, V_2, V_3, I_1, I_2, I_3$ .
- Formato para registro de valores experimentales y resultados.
- Cargas eléctricas.
- Cables de laboratorio.

### ANEXOS

- Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.
- Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.
- Cuestionario de preguntas.

**ANEXO: Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.**



**ANEXO: Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.**

| VALORES DE TENSIÓN, CORRIENTE Y FACTOR DE POTENCIA. |  |                  |  |               |
|---|--|------------------|--|---------------|
| ALTA TENSIÓN  |  | BAJA TENSIÓN     |  | OBSERVACIONES |
| $V_{R-S}$   |  | $V_{R-S}$        |  |               |
| $V_{S-T}$   |  | $V_{S-T}$        |  |               |
| $V_{R-T}$   |  | $V_{R-T}$        |  |               |
| $V_{R-N}$   |  | $V_{R-N}$        |  |               |
| $V_{S-N}$   |  | $V_{S-N}$        |  |               |
| $V_{T-N}$   |  | $V_{T-N}$        |  |               |
| $I_R$   |  | $I_R$            |  |               |
| $I_S$   |  | $I_S$            |  |               |
| $I_T$   |  | $I_T$            |  |               |
| $I_N$   |  | $I_N$            |  |               |
| $P\ 3\emptyset$                                     |  | $P\ 3\emptyset$  |  |               |
| $Q\ 3\emptyset$                                     |  | $Q\ 3\emptyset$  |  |               |
| $S\ 3\emptyset$                                     |  | $S\ 3\emptyset$  |  |               |
| $FP\ 3\emptyset$                                    |  | $FP\ 3\emptyset$ |  |               |

| VALORES PROMEDIO DE TENSIÓN, CORRIENTE. |  |              |  |                             |                             |
|---|--|--------------|--|-----------------------------|-----------------------------|
| ALTA TENSIÓN                            |  | BAJA TENSIÓN |  | Y/IAT                       | $\Delta/BT$                 |
| $V_{L-L}$                               |  | $V_{L-L}$    |  | $V_{L-L} = \sqrt{3} * FASE$ | $V_{L-L} = \sqrt{3} * FASE$ |
| $V_{FASE}$                              |  | $V_{FASE}$   |  |                             |                             |
| $I_L$                                   |  | $I_L$        |  | $I_L \neq FASE$             | $I_L \neq FASE$             |
| $I_{FASE}$                              |  | $I_{FASE}$   |  |                             |                             |

$$a = \frac{V_{L-L(AT)}}{V_{L-L(BT)}} = \frac{N_{(AT)}}{N_{(BT)}} = \frac{I_{L(BT)}}{I_{L(AT)}}$$

| ALTA TENSIÓN |  | BAJA TENSIÓN |  | DIFERENCIA DE POTENCIAS<br>(A.T. – B.T.) |
|--------------|--|--------------|--|--|
| P 3Ø         |  | P 3Ø         |  |  |
| Q 3Ø         |  | Q 3Ø         |  |  |
| S 3Ø         |  | S 3Ø         |  |  |
| FP 3Ø        |  | FP 3Ø        |  |  |

| VALORES NOMINALES DEL BANCO TRIFÁSICO (Y-Δ). |  |               |  |  |
|--|--|---------------|--|--|
| ALTA TENSIÓN                                 |  | BAJA TENSIÓN  |  | DIFERENCIA DE POTENCIAS (A.T. –<br>B.T.) |
| $N_{(AT)}$                                   |  | $N_{(BT)}$    |  |  |
| $V_{L-L}$                                    |  | $V_{L-L}$     |  |  |
| $V_{FASE}$                                   |  | $V_{FASE}$    |  |  |
| $S_{(VA)} 3Ø$                                |  | $S_{(VA)} 3Ø$ |  |  |
|  |  |               |  |  |

|  |  |
|--|--|
| <b>Banco de pruebas y prácticas para transformadores</b>             |  |
| <b>Práctica No.14:</b> Conexión trifásica DELTA – YE. ( $\Delta$ -Y) |  |

| DATOS GENERALES       |  |
|-----------------------|--|
| Docente responsable:  |  |
| Asignatura:           |  |
| Nombre del alumno:    |  |
| Código:               |  |
| Fecha de la práctica: |  |

| OBJETIVOS   |   |
|---|---|
| <b>Objetivo general:</b><br>Estudiar el comportamiento de un sistema de transformación, triángulo – estrella. | <b>Objetivos específicos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Realizar la conexión trifásica.</li> <li>▪ Análisis fasorial de tensiones.</li> <li>▪ Relación fundamental de transformación.</li> <li>▪ Triangulo de potencias en baja y alta tensión.</li> </ul> |

| MARCO TEÓRICO  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sistemas de transformación de tensión trifásica.</li> <li>▪ Banco trifásico de transformadores, DELTA - YE.</li> <li>▪ Capacidad de bancos trifásicos.</li> <li>▪ Dimensionamiento de bancos trifásicos.</li> </ul> |

| PROCEDIMIENTO  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verificar y estudiar el correspondiente diagrama eléctrico.</li> <li>▪ Utilizando el tablero del banco de pruebas para transformadores, realizar las correspondientes conexiones.</li> <li>▪ Energizar bajo la autorización y supervisión del docente.</li> <li>▪ Tomar las mediciones indicadas y registrar en las tablas de pruebas.</li> </ul> |

### PROCEDIMIENTO

- Establecer observaciones, comentarios y conclusiones de la práctica.  
Generar reporte de la práctica para su respectiva entrega

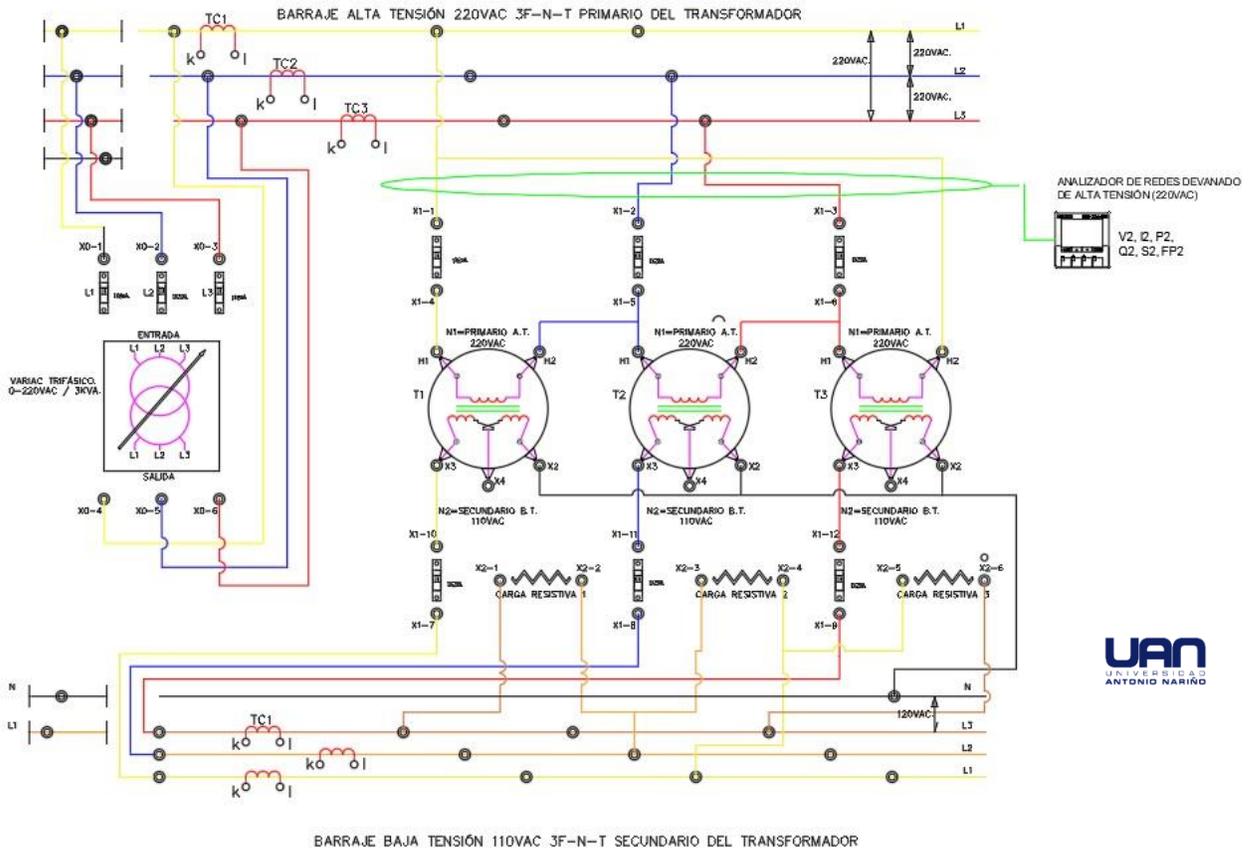
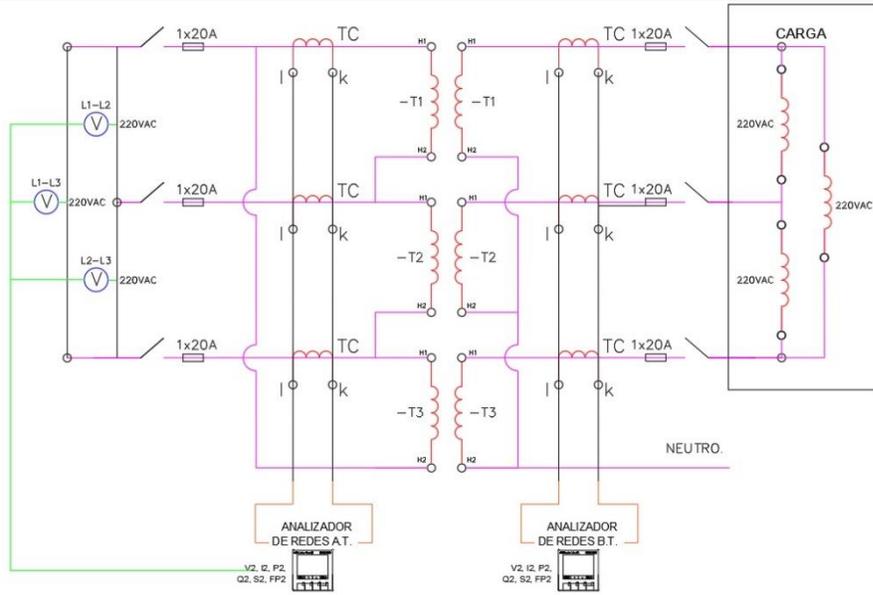
### RECURSOS

- Banco de pruebas para transformadores.
- Instrumentación para medir:
  - ✓ Tensión: Voltaje (3 fases) -  $V_1, V_2, V_3, V_{12}, V_{23}, V_{31}, V_{\text{asimétrico}}$ .
  - ✓ Corriente:  $I_1, I_2, I_3, I_n$ .
  - ✓ Potencia activa:  $P_1, P_2, P_3, P_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia Reactiva:  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia aparente:  $S_1, S_2, S_3, S_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Energía activa:
  - ✓ Energía reactiva: Inductiva y capacitiva.
  - ✓ Frecuencia:
  - ✓ Factor de potencia:  $PF_1, PF_2, PF_3, PF_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Distorsión armónica total: - Voltaje y Corriente
  - ✓ Desplazamiento del factor de potencia: -  $\text{Cos } j_1, \text{Cos } j_2, \text{Cos } j_3, \text{Cos } j_{\text{promedio}}$ ,
  - ✓ Medición del ángulo fasor en 360° para: -  $V_1, V_2, V_3, I_1, I_2, I_3$ .
- Formato para registro de valores experimentales y resultados.
- Cargas eléctricas.
- Cables de laboratorio.

### ANEXOS

- Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.
- Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.
- Cuestionario de preguntas.

**ANEXO: Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.**



**ANEXO: Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.**

| VALORES DE TENSIÓN, CORRIENTE Y FACTOR DE POTENCIA. |  |                   |  |               |
|---|--|-------------------|--|---------------|
| ALTA TENSIÓN  |  | BAJA TENSIÓN      |  | OBSERVACIONES |
| $V_{R-S}$   |  | $V_{R-S}$         |  |               |
| $V_{S-T}$   |  | $V_{S-T}$         |  |               |
| $V_{R-T}$   |  | $V_{R-T}$         |  |               |
| $V_{R-N}$   |  | $V_{R-N}$         |  |               |
| $V_{S-N}$   |  | $V_{S-N}$         |  |               |
| $V_{T-N}$   |  | $V_{T-N}$         |  |               |
| $I_R$   |  | $I_R$             |  |               |
| $I_S$   |  | $I_S$             |  |               |
| $I_T$   |  | $I_T$             |  |               |
| $I_N$   |  | $I_N$             |  |               |
| $P_{3\emptyset}$                                    |  | $P_{3\emptyset}$  |  |               |
| $Q_{3\emptyset}$                                    |  | $Q_{3\emptyset}$  |  |               |
| $S_{3\emptyset}$                                    |  | $S_{3\emptyset}$  |  |               |
| $FP_{3\emptyset}$                                   |  | $FP_{3\emptyset}$ |  |               |

| VALORES PROMEDIO DE TENSIÓN, CORRIENTE. |  |              |  |                             |                             |
|---|--|--------------|--|-----------------------------|-----------------------------|
| ALTA TENSIÓN                            |  | BAJA TENSIÓN |  | $\Delta/AT$                 | Y/BT                        |
| $V_{L-L}$                               |  | $V_{L-L}$    |  | $V_{L-L} = \sqrt{3} * FASE$ | $V_{L-L} = \sqrt{3} * FASE$ |
| $V_{FASE}$                              |  | $V_{FASE}$   |  |                             |                             |
| $I_L$                                   |  | $I_L$        |  | $I_L \neq FASE$             | $I_L \neq FASE$             |
| $I_{FASE}$                              |  | $I_{FASE}$   |  |                             |                             |

**ANEXO: Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.**

$$a = \frac{V_{L-L(AT)}}{V_{L-L(BT)}} = \frac{N_{(AT)}}{N_{(BT)}} = \frac{I_{L(BT)}}{I_{L(AT)}}$$

| ALTA TENSIÓN |  | BAJA TENSIÓN |  | DIFERENCIA DE POTENCIAS<br>(A.T. – B.T.) |
|--------------|--|--------------|--|--|
| P 3Ø         |  | P 3Ø         |  |  |
| Q 3Ø         |  | Q 3Ø         |  |  |
| S 3Ø         |  | S 3Ø         |  |  |
| FP 3Ø        |  | FP 3Ø        |  |  |

| VALORES NOMINALES DEL BANCO TRIFÁSICO (Y-Δ). |  |                      |  |  |
|--|--|----------------------|--|--|
| ALTA TENSIÓN                                 |  | BAJA TENSIÓN         |  | DIFERENCIA DE POTENCIAS (A.T. –<br>B.T.) |
| N <sub>(AT)</sub>                            |  | N <sub>(BT)</sub>    |  |  |
| V <sub>L-L</sub>                             |  | V <sub>L-L</sub>     |  |  |
| V <sub>FASE</sub>                            |  | V <sub>FASE</sub>    |  |  |
| S <sub>(VA) 3Ø</sub>                         |  | S <sub>(VA) 3Ø</sub> |  |  |

## Banco de pruebas y prácticas para transformadores



**Práctica No.15:** Conexión trifásica DELTA – DELTA. ( $\Delta$ - $\Delta$ )

### DATOS GENERALES

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Docente responsable:  |  |
| Asignatura:           |  |
| Nombre del alumno:    |  |
| Código:               |  |
| Fecha de la práctica: |  |

### OBJETIVOS

|  |  |
|--|--|
| <p><b>Objetivo general:</b><br/>Estudiar el comportamiento de un sistema de transformación, triángulo – triángulo.</p> | <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Realizar la conexión trifásica.</li> <li>▪ Análisis fasorial de tensiones.</li> <li>▪ Relación fundamental de transformación.</li> <li>▪ Triangulo de potencias en baja y alta tensión.</li> </ul> |
|--|--|

### MARCO TEÓRICO

|   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sistemas de transformación de tensión trifásica.</li> <li>▪ Banco trifásico de transformadores, DELTA - DELTA.</li> <li>▪ Capacidad de bancos trifásicos.</li> <li>▪ Dimensionamiento de bancos trifásicos.</li> </ul> |
|---|

### PROCEDIMIENTO

|  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verificar y estudiar el correspondiente diagrama eléctrico.</li> <li>▪ Utilizando el tablero del banco de pruebas para transformadores, realizar las correspondientes conexiones.</li> <li>▪ Energizar bajo la autorización y supervisión del docente, (en el devanado de B.T. 110 VAC).</li> </ul> |
|--|

### PROCEDIMIENTO

- Tomar las mediciones indicadas y registrar en las tablas de pruebas.
- Establecer observaciones, comentarios y conclusiones de la práctica.
- Generar reporte de la práctica para su respectiva entrega.

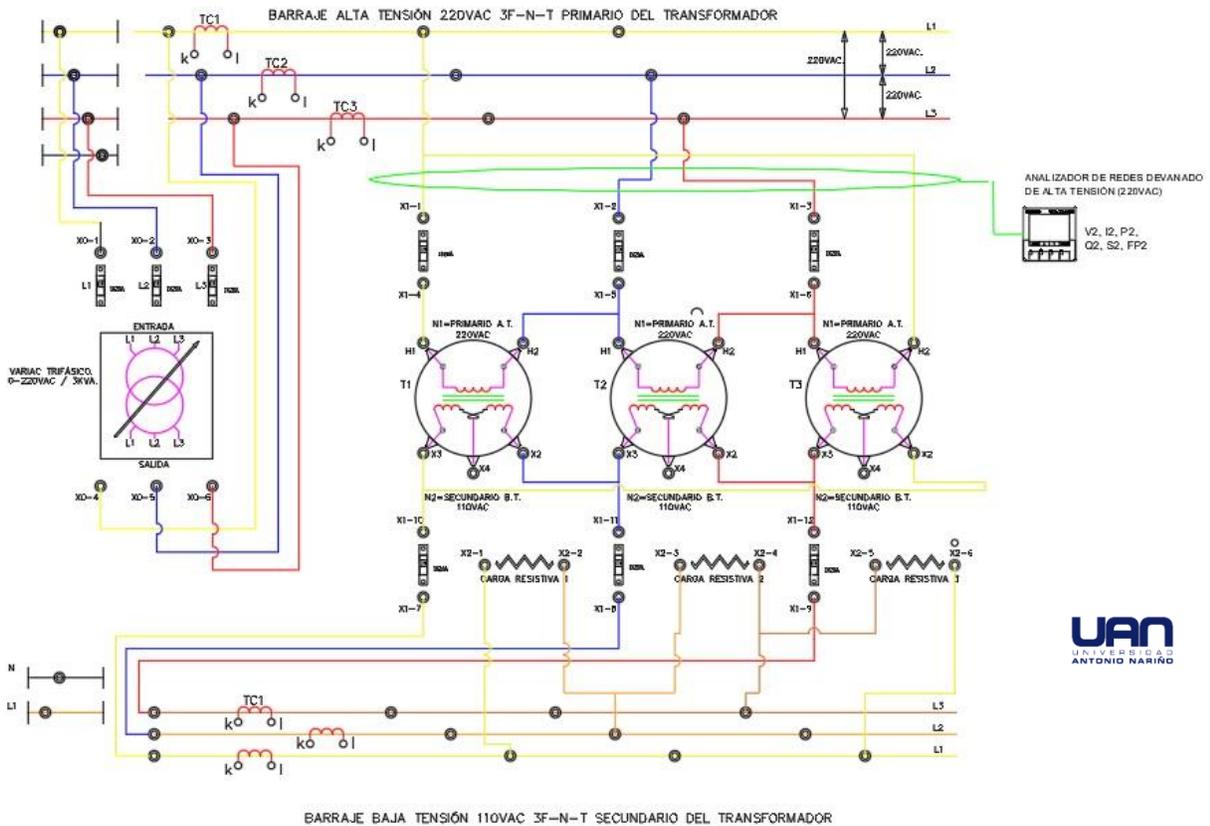
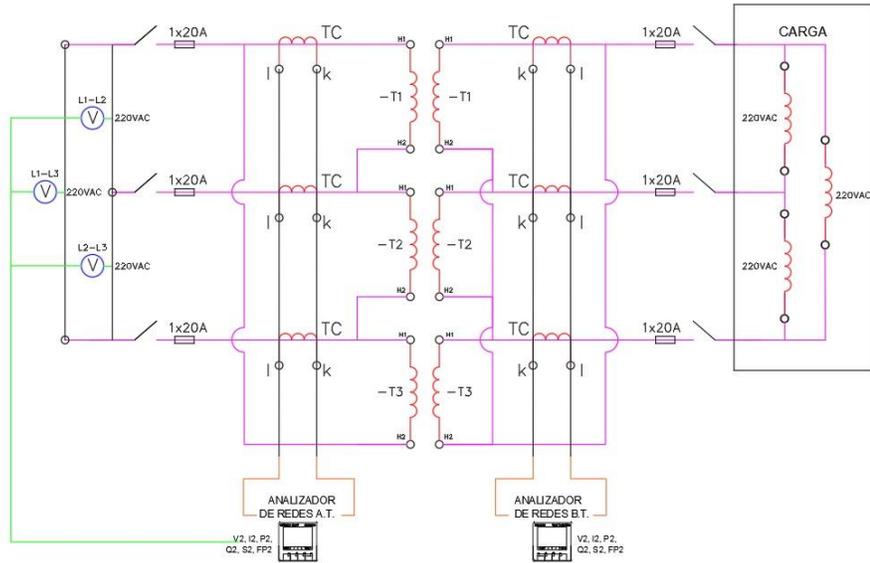
### RECURSOS

- Banco de pruebas para transformadores.
- Instrumentación para medir:
  - ✓ Tensión: Voltaje (3 fases) -  $V_1, V_2, V_3, V_{12}, V_{23}, V_{31}, V_{\text{asimétrico}}$ .
  - ✓ Corriente:  $I_1, I_2, I_3, I_n$ .
  - ✓ Potencia activa:  $P_1, P_2, P_3, P_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia Reactiva:  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Potencia aparente:  $S_1, S_2, S_3, S_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Energía activa:
  - ✓ Energía reactiva: Inductiva y capacitiva.
  - ✓ Frecuencia:
  - ✓ Factor de potencia:  $PF_1, PF_2, PF_3, PF_{\text{promedio}}$ .
  - ✓ Distorsión armónica total: - Voltaje y Corriente
  - ✓ Desplazamiento del factor de potencia: -  $\cos \phi_1, \cos \phi_2, \cos \phi_3, \cos \phi_{\text{promedio}}$ ,
  - ✓ Medición del ángulo fasor en  $360^\circ$  para: -  $V_1, V_2, V_3, I_1, I_2, I_3$ .
- Formato para registro de valores experimentales y resultados.
- Cargas eléctricas.
- Cables de laboratorio.

### ANEXOS

- Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.
- Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.
- Cuestionario de preguntas.

**ANEXO: Diagrama eléctrico de conexiones según práctica a realizar.**



**ANEXO: Formato para registro de mediciones y resultados, según práctica a realizar.**

| VALORES DE TENSIÓN, CORRIENTE Y FACTOR DE POTENCIA. |  |                  |  |               |
|---|--|------------------|--|---------------|
| ALTA TENSIÓN  |  | BAJA TENSIÓN     |  | OBSERVACIONES |
| $V_{R-S}$   |  | $V_{R-S}$        |  |               |
| $V_{S-T}$   |  | $V_{S-T}$        |  |               |
| $V_{R-T}$   |  | $V_{R-T}$        |  |               |
| $V_{R-N}$   |  | $V_{R-N}$        |  |               |
| $V_{S-N}$   |  | $V_{S-N}$        |  |               |
| $V_{T-N}$   |  | $V_{T-N}$        |  |               |
| $I_R$   |  | $I_R$            |  |               |
| $I_S$   |  | $I_S$            |  |               |
| $I_T$   |  | $I_T$            |  |               |
| $I_N$   |  | $I_N$            |  |               |
| $P\ 3\emptyset$                                     |  | $P\ 3\emptyset$  |  |               |
| $Q\ 3\emptyset$                                     |  | $Q\ 3\emptyset$  |  |               |
| $S\ 3\emptyset$                                     |  | $S\ 3\emptyset$  |  |               |
| $FP\ 3\emptyset$                                    |  | $FP\ 3\emptyset$ |  |               |

| VALORES PROMEDIO DE TENSIÓN, CORRIENTE. |  |              |  |                             |                             |
|---|--|--------------|--|-----------------------------|-----------------------------|
| ALTA TENSIÓN                            |  | BAJA TENSIÓN |  | $\Delta/AT$                 | $\Delta/BT$                 |
| $V_{L-L}$                               |  | $V_{L-L}$    |  | $V_{L-L} = \sqrt{3} * FASE$ | $V_{L-L} = \sqrt{3} * FASE$ |
| $V_{FASE}$                              |  | $V_{FASE}$   |  |                             |                             |
| $I_L$                                   |  | $I_L$        |  | $I_L \neq FASE$             | $I_L \neq FASE$             |
| $I_{FASE}$                              |  | $I_{FASE}$   |  |                             |                             |

$$a = \frac{V_{L-L(AT)}}{V_{L-L(BT)}} = \frac{N_{(AT)}}{N_{(BT)}} = \frac{I_{L(BT)}}{I_{L(AT)}}$$

| ALTA TENSIÓN |  | BAJA TENSIÓN |  | DIFERENCIA DE POTENCIAS<br>(A.T. – B.T.) |
|--------------|--|--------------|--|--|
| P 3Ø         |  | P 3Ø         |  |  |
| Q 3Ø         |  | Q 3Ø         |  |  |
| S 3Ø         |  | S 3Ø         |  |  |
| FP<br>3Ø     |  | FP 3Ø        |  |  |

| VALORES NOMINALES DEL BANCO TRIFÁSICO (Y-Δ). |  |                      |  |  |
|--|--|----------------------|--|--|
| ALTA TENSIÓN                                 |  | BAJA TENSIÓN         |  | DIFERENCIA DE POTENCIAS (A.T. –<br>B.T.) |
| N <sub>(AT)</sub>                            |  | N <sub>(BT)</sub>    |  |  |
| V <sub>L-L</sub>                             |  | V <sub>L-L</sub>     |  |  |
| V <sub>FASE</sub>                            |  | V <sub>FASE</sub>    |  |  |
| S <sub>(VA)</sub> 3Ø                         |  | S <sub>(VA)</sub> 3Ø |  |  |

## 2. Anexo B: Marco normativo general

### 2.1. NTC 3654 transformadores de potencia tipo seco

Esta norma se aplica a transformadores de potencia tipo seco (incluyendo autotransformadores) con valores máximos de tensión para el equipo de hasta 36 kV (inclusive). No están cobijados, los transformadores pequeños y especiales de tipo seco que se enuncian a continuación:

- Transformadores monofásicos menores de 1 kVA y polifásicos menores de 5 kVA.
- Transformadores de instrumentación cobijados por la norma IEC 185.
- Transformadores de Corriente y la norma IEC 186: Transformadores de tensión.
- Transformadores para convertidores estáticos cobijados por la norma IEC 84.
- Recomendaciones para convertidores de arco de mercurio, norma IEC 119.
- Recomendaciones para Rectificadores y equipos Semiconductores Policristalinos en Fila y la norma IEC 146 Convertidores Semiconductores.
- Transformadores de arranque.
- Transformadores para ensayos.
- Transformadores para tracción instalados en trenes.
- Transformadores utilizados en minería y a prueba de fuego.
- Transformadores para soldadura.
- Transformadores reguladores de tensión.
- Pequeños transformadores donde la seguridad es una consideración especial.

Cuando no existan normas para los transformadores mencionados arriba o para otros transformadores especiales, esta norma es aplicable en su totalidad o parcialmente.

Con la publicación de esta norma, los requisitos de la norma IEC 76 se aplican a transformadores secos únicamente, en la medida en que éstos sean referidos a esta norma. Donde se haga referencia a los numerales de la norma IEC 76.<sup>47</sup>

---

<sup>47</sup>Transformadores de potencia tipo seco: ((ICONTEC), NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 3654)

## **2.2. NTC 3445 electrotecnia. transformadores trifásicos autorefrigerados, tipo seco abierto y encapsulado en resina, corriente sin carga, pérdidas y tensión de cortocircuito**

Esta norma establece los valores máximos declarados permisibles de corriente sin carga ( $I_0$ ), pérdidas sin carga ( $P_0$ ), pérdidas totales ( $P_t$ ) y tensión de cortocircuito  $U_z$ , para transformadores trifásicos autorrefrigerados, tipo seco abiertos y encapsulados en resina.

Se aplica a transformadores de 15 kVA a 2000 kVA, serie AT  $\leq 15$  kV, serie BT  $\leq 1,2$  kV; de 10 kVA a 1000 kVA, serie AT  $\leq 1,2$  kV, serie BT  $\leq 1,2$  kV.<sup>48</sup>

## **2.3. NTC 2743 electrotecnia. campos de prueba para transformadores. requisitos mínimos y clasificación**

Esta norma establece los requisitos mínimos que deben cumplir los campos de prueba para transformadores eléctricos de distribución y potencia desde el punto de vista de:

- Ensayos efectuados.
- Equipos utilizados.
- Clase de exactitud de los equipos utilizados.
- Apoyos utilizados de tipo metrológico, laboratorios y otros.
- Seguridad

Así mismo, establece una clasificación por categorías dependiendo de los factores mencionados.<sup>49</sup>

---

<sup>48</sup>Transformadores trifásicos autorrefrigerados, tipo seco abierto y encapsulado en resina, corriente sin carga, pérdidas y tensión de cortocircuito: ((ICONTEC), NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 3445)

<sup>49</sup>Campos de prueba para transformadores. Requisitos mínimos y clasificación ((ICONTEC), NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2743)

## **2.4. NTC 380 transformadores eléctricos. ensayos eléctricos. generalidades**

Esta norma establece los ensayos a los que deben someterse los transformadores de distribución y potencia.<sup>50</sup>

## **2.5. NTC-IEC 60529 grados de protección dados por encerramientos de equipo eléctrico (código IP)**

Esta norma se aplica a la clasificación de grados de protección provistos por encerramientos de equipo eléctrico con una tensión nominal que no exceda a 72,5 kV.

El objeto de esta norma es establecer:

- a) Definiciones para grados de protección provistos por encerramientos de equipo eléctrico en relación con:
  - 1. Protección de personas contra el acceso a partes peligrosas dentro del cerramiento.
  - 2. Protección del equipo dentro del encerramiento contra entrada de cuerpos solidos extraños.
  - 3. Protección del equipo dentro del cerramiento contra efectos perjudiciales debido a la entrada de agua.
- b) Designaciones para estos grados de protección.
- c) Requisitos para cada designación.
- d) Pruebas que deben ser ejecutadas para verificar que el cerramiento cumple con los requisitos de esta norma.<sup>51</sup>

---

<sup>50</sup>Transformadores eléctricos. Ensayos eléctricos. Generalidades: ((ICONTEC), NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 380)

<sup>51</sup>Grados de protección: ((ICONTEC), NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC-IEC 60529)

## 2.6. IEC 60076-1 Power Transformers – General

Esta parte de la Norma Internacional IEC 60076 se aplica a los transformadores de potencia trifásicos y monofásicos (incluidos los autotransformadores) con la excepción de ciertas categorías de transformadores pequeños y especiales como:

- Transformadores monofásicos con potencia nominal inferior a 1 kVA y Transformadores trifásicos inferiores a 5 kVA;
- Transformadores de medida;
- Transformadores para convertidores estáticos;
- Transformadores de tracción montados sobre material rodante;
- Transformadores de arranque;
- Prueba de transformadores;
- Transformadores de soldadura.

Cuando las normas IEC no existen para tales categorías de transformadores, esta parte de IEC 60076 aún puede ser aplicable en su totalidad o en parte. Para aquellas categorías de transformadores de potencia y reactores que tienen sus propias normas IEC, esta parte es aplicable solo en la medida en que se llame específicamente por referencia cruzada en la otra norma.<sup>52</sup>

## 2.7. IEC 60076-2 Power Transformers – Aumento de la temperatura

Esta parte de la norma internacional IEC 76 identifica los transformadores de acuerdo con su método de enfriamiento, define los límites de elevación de temperatura y detalla los métodos de mediciones de aumento de temperatura. Se aplica a los transformadores tal como se define en el ámbito de IEC 76-1.<sup>53</sup>

---

<sup>52</sup>Power Transformers: (IEC 60076-1)

<sup>53</sup>Power Transformers: (IEC 60076-2)

## **2.8. IEC 60076-3 Power Transformers – Niveles de aislamiento, pruebas dieléctricas y holguras externas en el aire**

Esta norma internacional se aplica a los transformadores de potencia tal como se define en la IEC 60076-1 y dentro del alcance. Proporciona detalles de las pruebas dieléctricas aplicables y los niveles mínimos de prueba dieléctrica.

Los espacios libres externos mínimos recomendados en el aire entre las partes vivas y entre las partes vivas y la tierra se proporcionan para su uso cuando el comprador no especifica estos espacios.

Para las categorías de transformadores de potencia y reactores que tienen sus propias normas IEC, esta norma es aplicable solo en la medida en que se llame específicamente por referencia cruzada en las otras normas.<sup>54</sup>

## **2.9. IEC 60076-4 Power Transformers – Guía para las pruebas de impulso tipo rayo e impulso de conmutación - Transformadores y reactores de potencia**

Esta parte de IEC 60076 brinda orientación y comentarios explicativos sobre los procedimientos existentes para las pruebas de relámpagos e impulsos de conmutación de transformadores de potencia para complementar los requisitos de IEC 60076-3. También es generalmente aplicable a la prueba de reactores (ver IEC 60289), las modificaciones a los procedimientos del transformador de potencia se indican cuando sea necesario.

Se proporciona información sobre las formas de onda, los circuitos de prueba, incluidas las conexiones de prueba, las prácticas de puesta a tierra, los métodos de detección de fallas, los procedimientos de prueba, las técnicas de medición y la interpretación de los resultados.<sup>55</sup>

---

<sup>54</sup>Power Transformers: (IEC 60076-3)

<sup>55</sup>Power Transformers: (IEC 60076-4)

## **2.10. IEC 60076-5 Power Transformers – Capacidad para soportar cortocircuitos**

Esta parte de IEC 60076 identifica los requisitos para que los transformadores de potencia soporten sin daño los efectos de sobrecorrientes originadas por cortocircuitos externos. Describe los procedimientos de cálculo utilizados para demostrar la capacidad térmica de un transformador de potencia para soportar tales sobrecorrientes y tanto la prueba especial como el método de evaluación teórico utilizado para demostrar la capacidad de soportar los efectos dinámicos relevantes. Los requisitos se aplican a los transformadores según se define en el alcance de IEC 60076-1.<sup>56</sup>

## **2.11. IEEE Std C57.12.01-1998 Requisitos generales del estándar IEEE para transformadores de potencia y distribución de tipo seco, incluidos aquellos con devanados de fundición sólida y / o encapsulados en resina**

Esta norma está destinada a ser una base para el establecimiento de los requisitos de rendimiento, intercambiabilidad y seguridad del equipo descrito, y para ayudar en la selección adecuada de dicho equipo.

Se describen los requisitos eléctricos, mecánicos y de seguridad de los transformadores o autotransformadores de potencia y distribución de tipo seco ventilados, no ventilados y sellados (monofásicos y polifásicos, con un voltaje de 601 V o superior en el devanado de voltaje más alto).<sup>57</sup>

La información de esta norma se aplica a todos los transformadores de tipo seco excepto lo siguiente:

- a) Transformadores de medida;

---

<sup>56</sup>Power Transformers: (IEC 60076-5)

<sup>57</sup>Standard General Requirements for Dry-Type Distribution and Power Transformers Including Those with Solid-Cast and/or Resin-Encapsulated Windings: (IEEE Std C57.12.01-1998)

- b) Reguladores de voltaje escalonado y de inducción;
- c) Transformadores de horno de arco;
- d) Transformadores rectificadores;
- e) Transformadores especiales;
- f) Transformadores de mina.

## **2.12. Std C57.96-1999 Guía IEEE para la carga transformadores de potencia y distribución de tipo seco**

Esta guía cubre recomendaciones generales para la carga de transformadores de potencia y distribución de tipo seco que tienen elevaciones de bobinado promedio de 80°C, 115°C y 150°C y sistemas de aislamiento limitados a 150°C, 180°C y 220°C temperaturas máximas de funcionamiento en los puntos más calientes, respectivamente. La guía incluye recomendaciones para transformadores de tipo seco ventilados, no ventilados y sellados que tienen sistemas de aislamiento impregnados.

Para recomendaciones más específicas para un transformador en particular, se debe consultar al fabricante de ese transformador.<sup>58</sup>

## **2.13. Ensayo del dieléctrico, tensión aplicada, tensión inducida (norma NTC 837)**

Para diagnosticar el nivel de aislamiento en los transformadores de potencia de tipo sumergidos en líquido refrigerante y secos, se aplica esta norma en donde se puede encontrar los ensayos a practicar

### **2.13.1 Transformadores de tipo seco**

El nivel de aislamiento se concreta por la tensión de ensayo a frecuencia industrial y su valor es determinado por la magnitud equivalente a la tensión máxima de operación

---

<sup>58</sup>Guide for Loading Dry-Type Distribution and Power Transformers: (IEEE Std C57.96-1999)

especificada. Se diseña el aislamiento con el objetivo de resistir, entre los devanados y tierra, esto corresponde al ensayo de tensión aplicada.

### **2.13.2 Transformadores sumergidos en líquido refrigerante**

El aislamiento se diseña con el objetivo de resistir una tensión de ensayo de impulso de onda completa y de onda recortada. El nivel de aislamiento de impulso de transformador, se determina en función de esta tensión de ensayo, la amplitud de onda de la tensión equivalente a la tensión mayor especificada del sistema bajo las condiciones de tierra determinadas es la forma en la que se expresa su valor.

### **2.13.3 Transformadores monofásicos utilizados en sistemas trifásicos**

Independientemente de la conexión del banco (delta, estrella, etc.), los transformadores que vayan a ser utilizados en un banco trifásico deben contar con un nivel de aislamiento adecuado para la tensión máxima de trabajo del sistema trifásico y el método de conexión a tierra del sistema.

### **2.13.4 Ensayo de tensión aplicada**

- a) Para realizar este ensayo se debe utilizar una tensión alterna monofásica, cuya forma de onda sea lo más próxima posible a la onda sinusoidal y de frecuencia apropiada no menor al 80% de la frecuencia nominal.
- b) Se mide el valor de cresta de la tensión de ensayo. El valor capturado dividido por  $\sqrt{2}$  debe corresponder con las tablas 2 o 3 de la NTC 836 o la tabla 5 de la NTC 3654.
- c) Con una tensión no mayor que 1/3 de la tensión de ensayo se comienza dicho ensayo, se aumenta al valor que corresponda según las tablas 2 o 3, tan rápidamente como lo permita la información dada por el instrumento de medida. Antes de desconectar, al final del ensayo, la tensión se reduce rápidamente a menos de la tercera parte de su valor completo.
- d) Obteniendo la tensión adecuada de una fuente separada, se aplica sucesivamente durante un minuto, entre los devanados bajo ensayo y los demás, conectados con el núcleo, armazón y tanque, a tierra.
- e) Para transformadores sumergidos en líquido refrigerante con aislamiento decreciente se utiliza la tabla 3 de la NTC 386. Para transformadores sumergidos en líquido refrigerante con aislamiento uniforme se utiliza la tabla 2 de la NTC 386. Para transformadores de tipo seco se aplica la tabla 5 de la NTC 3654.

### 2.13.5 Ensayo de tensión inducida

- a) Reside en aplicar una tensión alterna, de forma de onda tan cercana a la sinusoidal como sea posible y frecuencia incrementada sobre la nominal en un valor idóneo para evitar que la corriente de excitación sea excesiva durante el ensayo. La tensión alterna se puede aplicar a los terminales de alta o de baja tensión del transformador bajo ensayo.
- b) Se mide el valor de la cresta, en los devanados, de la tensión inducida. Este valor dividido por  $\sqrt{2}$  debe estar de acuerdo con lo indicado en las tablas 2 o 3, según corresponda, de la NTC 836.
- c) Con una tensión no mayor que 1/3 de la tensión de ensayo se comienza dicho ensayo, se aumenta tan rápidamente como lo permita la información dada por el instrumento de medida. Antes de desconectar, al final del ensayo, la tensión se reduce rápidamente a menos de la tercera parte de su valor completo.
- d) La duración del ensayo será de 1 min para cualquier frecuencia de ensayo igual o menor al doble de la frecuencia nominal. En el evento en el que la frecuencia de ensayo supere el doble de la frecuencia nominal, la duración del ensayo será de 15 segundos o 120 veces el cociente de dividir la frecuencia nominal por la frecuencia del ensayo, también en segundos.

### 2.13.6 Devanados con aislamiento uniforme

- a) Los devanados con aislamiento uniforme se pueden conectar a tierra en cualquier punto durante el ensayo.
- b) La tensión de ensayo entre fases de cualquier devanado trifásico no se debe superar la tensión aplicada de acuerdo a lo establecido en la tabla 2 columna 3 de la NTC 836 y NTC 3654, sin embargo, la tensión inducida a través de un devanado sin derivaciones del transformador debe ser igual a dos veces la tensión nominal.

### 2.13.7 Devanados con aislamiento decreciente

- a) Los devanados con aislamiento decreciente deben conectarse a tierra durante el ensayo de un punto tal que garantice la aparición de la tensión de ensayo requerida entre los terminales de ensayo y tierra, si es necesario se debe repetir el ensayo para asegurar la aplicación de la tensión de ensayo especificada a todos los terminales correspondientes.

- b) Los ensayos se realizan a una tensión de valor apropiado indicado en la tabla 2, columna 3 de la NTC 836. Se hacen de modo que se produzcan entre terminales de línea y también entre aquellos y el núcleo, tanque y entre partes estructurales conectados entre sí y a tierra.
- c) Para transformadores trifásicos, se admite aplicar la tensión de ensayo sucesivamente a cada fase (entre cada terminal y tierra), desconectándolas demás fases de modo que se evite la aparición de tensiones excesivamente altas entre terminales de línea adyacentes.<sup>59</sup>

## 2.14. Grupos de conexión normalizados

La conexión en estrella, delta o zigzag de un conjunto de devanados de fase de un transformador trifásico o de devanados de la misma tensión de transformadores monofásicos asociados en un banco trifásico se indicará con las letras mayúsculas Y, D o Z, para el devanado de alto voltaje (HV) y las letras minúsculas y, d o z, para los devanados de voltaje intermedio y bajo (LV). Si se resalta el punto neutro de un devanado conectado en estrella o en zigzag, la indicación será YN (yn) o ZN (zn) respectivamente.

Los devanados abiertos en un transformador trifásico (que no están conectados entre sí en el transformador, pero tienen ambos extremos de cada devanado de fase llevados a los terminales) se indican como III (HV) o iii (devanados intermedios o de baja tensión).

Para un par de devanados auto conectados, el símbolo del devanado de menor voltaje se reemplaza por 'auto' o 'a', por ejemplo, 'YNauto' o 'YNa' o 'YNa0', 'ZNa11'.

Los símbolos de letras para los diferentes devanados de un transformador se indican en orden descendente de voltaje nominal. La letra de conexión del devanado para cualquier devanado intermedio y de baja tensión va seguida inmediatamente de su "número de reloj" de desplazamiento de fase. A continuación, se muestran tres ejemplos que se ilustran en la figura 2.1.

---

<sup>59</sup> TRANSFORMADORES. ENSAYO DEL DIELECTRICO: ((ICONTEC), NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 837)

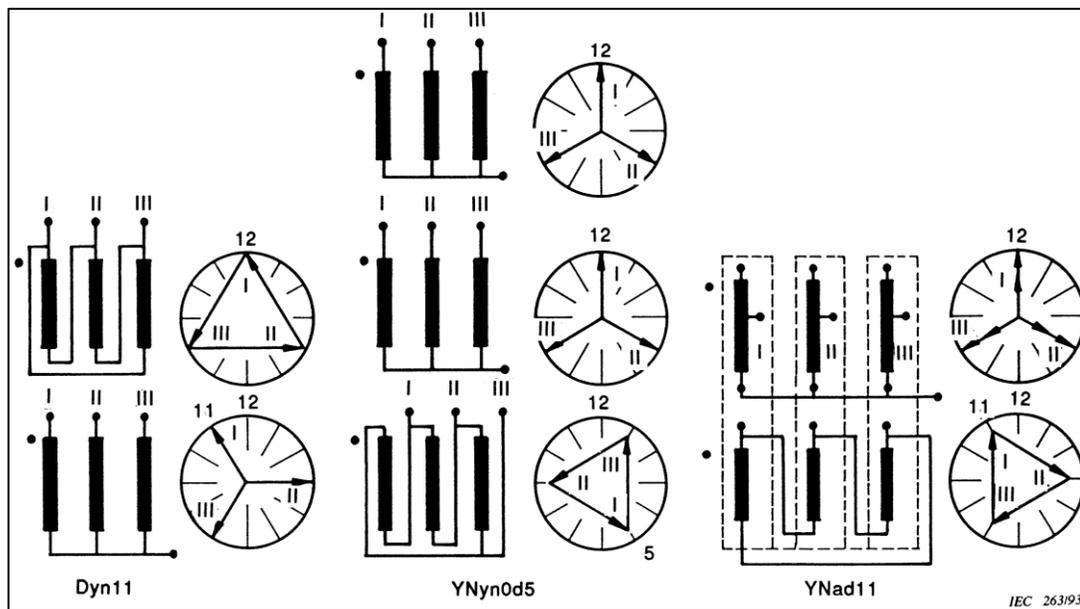
La existencia de un devanado estabilizador (un devanado conectado en delta que no está terminado para carga trifásica externa) se indica, después de los símbolos de devanados cargables, con el símbolo '+ d'.

Si se especifica un transformador con su conexión de devanado intercambiable (serie-paralelo o Y- $\Delta$ ), se anotarán ambas conexiones, junto con los voltajes nominales correspondientes como se indica en los siguientes ejemplos:<sup>60</sup>

220(110) /10,5 kV      YN(YN)d11

110/11(6,35) kV      YNy0(d11)

**Figura 2.1:** Ilustración de la notación ‘número de reloj’ – tres ejemplos.



**Nombre de la fuente:** International Standard IEC 60076-1

<sup>60</sup> Power Transformers: (IEC 60076-1)

Se aplican las siguientes convenciones de notación.

Los diagramas de conexión muestran el devanado de alto voltaje arriba y el devanado de bajo voltaje abajo. (Se indican las direcciones de los voltajes inducidos).

El diagrama fasorial del devanado de alto voltaje está orientado con la fase I apuntando a las 12 en punto. El fasor de fase I del devanado de baja tensión se orienta de acuerdo con la relación de tensión inducida que resulta para la conexión mostrada.

El sentido de rotación de los diagramas de fasores es en sentido antihorario, dando la secuencia I - II - III.

**NOTA:** Esta numeración es arbitraria. El marcado de terminales en el transformador sigue la práctica nacional.

### Ejemplo 1

Un transformador de distribución con devanado de alta tensión para 20 kV, conectado en triángulo. El devanado de bajo voltaje está conectado en estrella de 400 V con neutro resaltado. El devanado de BT tiene un retraso de 330 ° con respecto al HV.

Símbolo: Dyn11

### Ejemplo 2

Un transformador de tres devanados: estrella de 123 kV con neutro resaltado. Estrella de 36 kV con neutro activado, en fase con el devanado de AT pero no autoconectado. 7,2 kV delta, rezagado 150 °.

Símbolo: YNyn0d5

### Ejemplo 3

Un grupo de tres autotransformadores monofásicos

$$\frac{400}{\sqrt{3}} / \frac{130}{\sqrt{3}} \text{ kV con devanados terciarios de 22 kV.}$$

Los devanados autoconectados están conectados en estrella, mientras que los devanados terciarios están conectados en delta. Los fasores de bobinado delta retrasan los fasores de bobinado de alto voltaje en 330°.

Símbolo: YNautod11 o YNad11

El símbolo sería el mismo para un autotransformador trifásico con la misma conexión, internamente.

Si el devanado delta no se saca a tres terminales de línea, sino que solo se proporciona como un devanado estabilizador, el símbolo lo indicaría con un signo más. Entonces, no se aplicaría ninguna notación de desplazamiento de fase para el devanado estabilizador.<sup>61</sup>

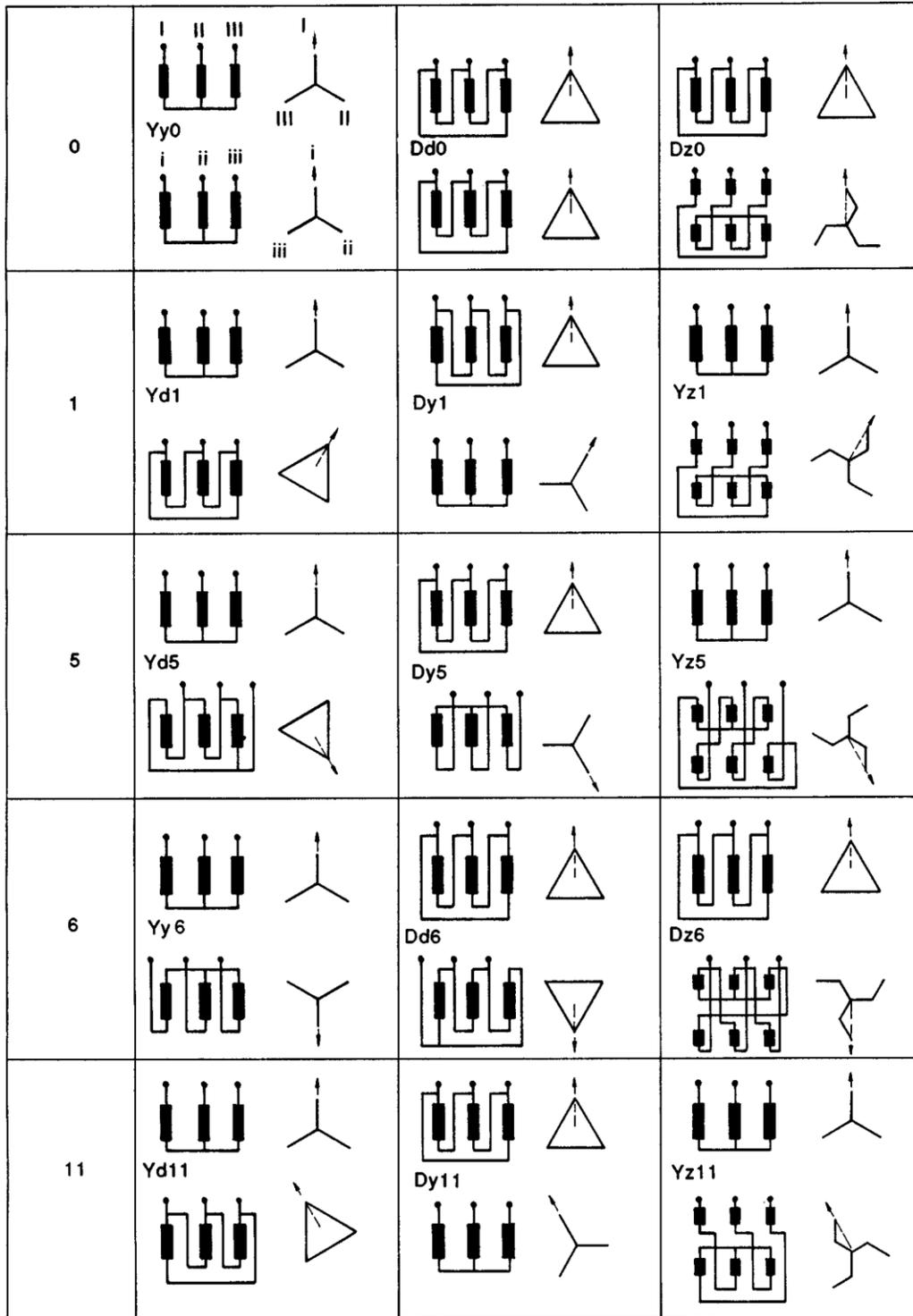
Símbolo: YNauto + d.

A continuación se muestran ejemplos de conexiones de uso general (ver figura 2.2), y conexiones adicionales (ver figura 2.3) con esquemas de conexión.

**Figura 2.2:** Conexiones comunes.

---

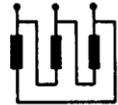
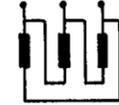
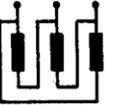
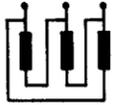
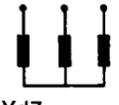
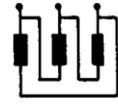
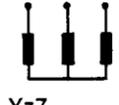
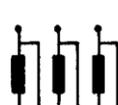
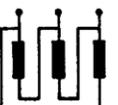
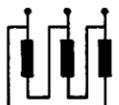
<sup>61</sup>Power Transformers: (IEC 60076-1)



IEC 265/93

Nombre de la fuente: International Standard IEC 60076-1

Figura 2.3: Conexiones adicionales.

|    |   |   |  |
|----|---|---|--|
| 2  |   | <br>Dd2<br>      | <br>Dz2<br>      |
| 4  |   | <br>Dd4<br>      | <br>Dz4<br>      |
| 7  | <br>Yd7<br> | <br>Dy7<br>      | <br>Yz7<br>      |
| 8  |   | <br>Dd8<br>  | <br>Dz8<br>  |
| 10 |   | <br>Dd10<br> | <br>Dz10<br> |

IEC 266/93

Nombre de la fuente: International Standard IEC 60076-1

## 2.15. Certificación de calidad

Se debe tener en cuenta que la certificación se realiza a través del RETIE y se aplica a toda instalación eléctrica nueva, ampliación y remodelación de la misma que se realice en los procesos de Generación, Transmisión, Transformación, Distribución y Utilización de la energía eléctrica, así como a algunos productos de mayor utilización en las instalaciones eléctricas. Estos productos deben dar cumplimiento a los requisitos establecidos en el mismo y demostrarlo mediante un Certificado de Conformidad de Producto.

Según lo descrito en el Anexo General Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE - Capítulo 3 - Requisitos De Productos – Artículo 20°. Requerimientos Para Los Productos, en el numeral *20.25 Transformadores*.

#### *20.25 TRANSFORMADORES*

*“Para efectos del presente reglamento, los transformadores eléctricos de capacidad mayor o igual a 3 kVA, nuevos, reparados o reconstruidos, deben cumplir con los siguientes requisitos, adaptados de las normas IEC 60076-1, ANSI C57 12, NTC 3609, NTC 1490, NTC 1656, NTC 3607, NTC 3997, NTC 4907, NTC 1954 o NTC 618.”*

Y lo descrito en los numerales *20.25.1 Requisitos de producto* y *20.25.2 Requisitos de Instalación*, así mismo también se debe contemplar los siguientes criterios básicos, además de los exigidos anteriormente y que se describen en el numeral *10.3 “PRODUCTOS USADOS EN LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS”*, donde se establece que la selección de los productos o materiales eléctricos y su instalación debe estar en función de la seguridad, su utilización e influencia del entorno.

En Colombia existe el Organismo Nacional de Acreditación ONAC, el cual acredita a los organismos evaluadores de conformidad para realizar su actividad conforme a normas internacionales de evaluación, en campos mundialmente reconocidos y con alcances referidos a reglamentos nacionales.

En tal sentido, ONAC presta servicios de acreditación de acuerdo con los requisitos de la norma ISO/IEC 17011 "Evaluación de la Conformidad Requisitos generales para los organismos de acreditación que realizan la acreditación de organismos de evaluación de la conformidad" y con las políticas, criterios y lineamientos establecidos por la Cooperación

Internacional de Acreditación de Laboratorios (ILAC), el Foro Internacional de Acreditación (IAF) y la Cooperación Inter Americana de Acreditación (IAAC).<sup>62</sup>

---

<sup>62</sup>Transformadores: ((RETIE))

### **3. Anexo C: Pruebas transformadores (FAT)**



INDUSTRIAL  
**Trafoelétricos S.A.S.**  
Experiencia e innovación con energía.

PROTOCOLO DE PRUEBAS

|         |                      |    |   |
|---------|----------------------|----|---|
| VERSION | 2                    |    |   |
| CODIGO  | PD-FO-03             |    |   |
| FECHA   | 5 DE OCTUBRE DE 2010 |    |   |
| PAGINA  | 1                    | DE | 1 |

**NORMA: NTC 1358 Segunda Edición: 12/15/2001**

|  |  |  |  |  |   |   |   |                           |
|--|--|--|--|--|---|---|---|---------------------------|
| CLIENTE<br><b>INGENIERIA DERIVADA SAS</b>  |  | PEDIDO No. _____<br>FABRICANTE <b>TRAOELECTRICOS</b>   |  | DISEÑO No. <b>7419</b><br>SERIE No. <b>2020</b>            |   |   |   |                           |
| POTENCIA <b>2</b> KVA<br>FASES <b>1</b>  | FRECUENCIA <b>60</b> Hz<br>REFRIGERACION <b>AN</b> | TENSION SERIE <b>1,2/1,2</b><br>NBA AT/BT <b>*</b>   | CALENT. DEVAN. <b>60</b> °c<br>CLASE AISLAM. <b>A0</b> | ALTURA DISEÑO <b>1000</b> (m)<br>FECH. FABR. <b>sep-20</b> |   |   |   |                           |
| VALORES NOMINALES<br>DEVANADO prim<br>sec  | TENSION (V)<br><b>110</b><br><b>220</b>            | DESPECHO (V)<br><b>110</b><br><b>220</b>   | DERIVACIONES<br><b>-</b><br><b>-</b>                   | CORRIENTE (A)<br><b>18,20</b><br><b>9,10</b>               | DESPECHO (A)<br><b>18,20</b><br><b>9,10</b>   |   |   |                           |
| RESULTADO DE ENSAYOS A <b>20</b> °C  |  |  | POSICION DEL CONMUTADOR <b>0</b>                       |  |   |   |   |                           |
| 1) RESISTENCIA DE AISLAMIENTO<br>TIEMPO DE LECTURA <b>60</b> seg.  |  | TENSION DE PRUEBA<br><b>0,25</b> kV  | AT/Tierra<br><b>1210</b> MΩ                            | BT /Tierra<br><b>1275</b> MΩ                               | AT / BT<br><b>5600</b> MΩ   |   |   |                           |
| 2) REL. DE TRANSFORMACION  |  | FASE/FASE _____  | FASE NEUTRO <b>X</b>                                   | POLARIDAD _____ GRUPO DE CONEXIÓN <b>Dyn</b>               |   |   |   |                           |
| POS  | TENSION  | FASE U   | FASE V   | FASE W   | NOMINAL   | MINIMA  | MAXIMA                                  |                           |
| 1  | <b>220</b>   | <b>2,001</b>   | _____  | _____  | <b>2000</b>   | <b>1990</b>   | <b>2010</b>                             |                           |
| 2  | _____  | _____  | _____  | _____  | _____   | _____   | _____                                   |                           |
| 3  | _____  | _____  | _____  | _____  | _____   | _____   | _____                                   |                           |
| 4  | _____  | _____  | _____  | _____  | _____   | _____   | _____                                   |                           |
| 5  | _____  | _____  | _____  | _____  | _____   | _____   | _____                                   |                           |
| 3) RESISTENCIA ENTRE TERMINALES  |  | DERIVADO PRIMARIO<br>SECUNDARIO  | U-V<br><b>0,35</b><br><b>0,80</b>                      | U-W<br>_____   | V-W<br>_____  | PROMEDIO<br><b>0,45</b> ohm<br><b>0,900</b> ohm               | MATERIAL FAB.<br><b>AL</b><br><b>AL</b> |                           |
| 4) ENSAYO ENTRE AISLAMIENTO  |  | TENSION APLICADA DURANTE 60 Seg.<br>BT CONTRA AT Y CARCAZA <b>3</b> Kv<br>AT CONTRA BT Y CARCAZA <b>3</b> Kv |  |  | TENSION INDUCIDA<br>TENSION <b>220</b> V TIEMPO <b>60</b> seg<br>FRECUENCIA <b>120</b> Hz |   |   |                           |
| 5) ENSAYO SIN CARGA  | Tension (V)<br><b>110</b>                          | IU (A)<br><b>1,2</b>   | IV (A)<br><b>-</b>                                     | IW (A)<br><b>-</b>   | Io %<br><b>6,60%</b>  | Io garant.<br><b>-</b>  | Po med (W)<br><b>30</b>                 | Po garan. (W)<br><b>-</b> |
| 6) ENSAYO DE CORTO CIRCUITO<br>Icc <b>9,1</b> A<br>Vcc <b>8</b> V  |  | PERDIDAS(W)<br>I2R(W)<br>IMPEDANCIA (%)  | Pcc medidas<br><b>190</b><br><b>182</b><br><b>3,6</b>  |  | Pcc. med <b>85</b> oC.<br><b>234</b><br><b>228</b><br><b>3,7</b>                          | Pcc. garan. <b>85</b> oC.<br><b>-</b><br><b>-</b><br><b>-</b> |   |                           |
| 7) REGULACION A PLENA CARGA Y FP: _____, _____ %   |  |  |  | 8) EFICIENCIA A PLENA CARGA Y FP: _____, _____ %           |   |   |   |                           |
| 9) CARACTERISTICAS MECANICAS   |  | MASA TOTAL <b>8</b> Kgs.   |  |  |   |   |   |                           |
| 10) DIMENSIONES EXTERNAS DEL TRAF0 (CMS)<br>LARGO <b>13,00</b> ANCHO <b>16,00</b> ALTO <b>13</b>   |  |  |  | 11) PINTURA<br>COLOR <b>GRIS</b>                           |   |   |   |                           |
| OBSERVACIONES:<br><b>NO HAY NORMAS DE REFERENCIA PARA TRANSFORMADORES MONOFASICOS SECOS</b><br><b>RETIE APLICAPARA TRANSFORMADORES CON POTENCIA &gt; O IGUAL A 3 Kva</b> |  |  |  |  |   |   |   |                           |
| JEFE DE PRODUCCIÓN   |  | ING ABEL MORALES   |  | FECHA  |   | 17/09/2020  |   |                           |

## **4. Anexo D: Planos eléctricos**



Empresa/cliente UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO-UAN  
 Descripción de proyecto BANCO DE PRUEBAS TRANSFORMADORES  
 TESIS DE GRADO

Fabricante (empresa) UAN  
 Archivo: BANCO DE PRUEBAS TRANSFORMADORES UAN  
 Responsable: Alejandro Lizarazo V.  
 John Susa.

Creado 16/10/2019  
 Modificado 27/10/2020 de (abreviatura) USUARIO Número de páginas 11

1 PLANO CONTROL

|        |       |        |          |            |                                      |  |         |                |                                  |               |               |
|--------|-------|--------|----------|------------|--------------------------------------|--|---------|----------------|----------------------------------|---------------|---------------|
|        |       |        | Fecha    | 16/10/2019 | Cliente:                             |  | Diseño: | A. Lizarazo    | Título:                          | =             |               |
|        |       |        | Resp.    | USUARIO    | UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO-UAN       |  | Dibujó: | A. Lizarazo    | Hoja de título                   | +             |               |
|        |       |        | Probado  |            |                                      |  | Revisó: | Ing. H. Ibañez | Proyecto:                        | OT:           | Hoja 1        |
| Cambio | Fecha | Nombre | Original |            | BANCO DE PRUEBAS TRANSFORMADORES UAN |  |         |                | BANCO DE PRUEBAS TRANSFORMADORES | TESIS DE GRAD | Total pag. 11 |



0

1

2

3

4

5

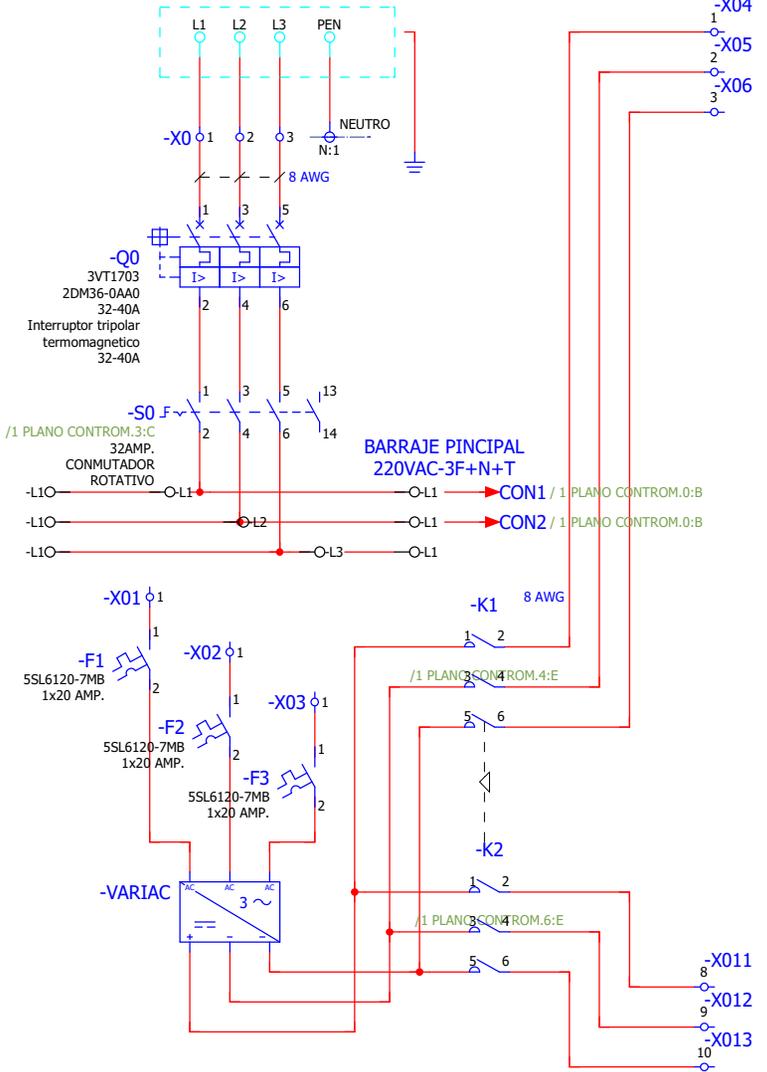
6

7

8

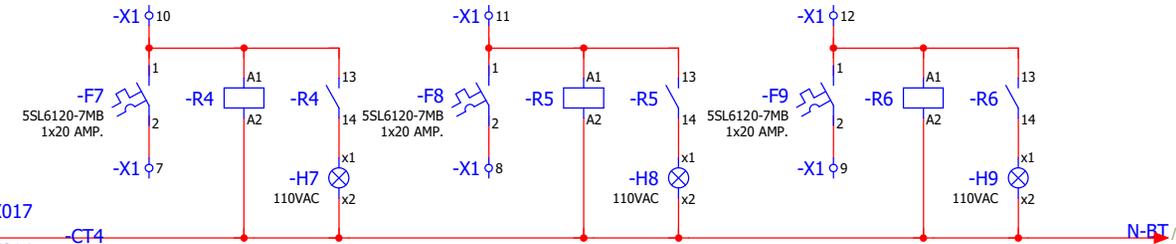
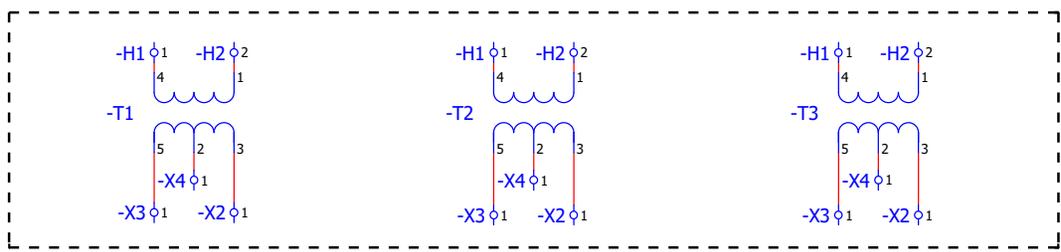
9

**ALIMENTACION  
220VAC-3F+N+T**



**BARRAJE PRINCIPAL  
220VAC-3F+N+T**

**BARRAJE DE ALTA - PRIMARIO  
220VAC-3F+N+T**



**BARRAJE DE BAJA - SECUNDARIO  
110VAC-3F+N+T**

8 AWG

1

1 PLANO CONTROL

|         |            |          |                                |
|---------|------------|----------|--------------------------------|
| Fecha   | 27/10/2020 | Cliente: | UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO-UAN |
| Resp.   | USUARIO    |          |                                |
| Probado |            |          |                                |
| Cambio  | Fecha      | Nombre   | Original                       |

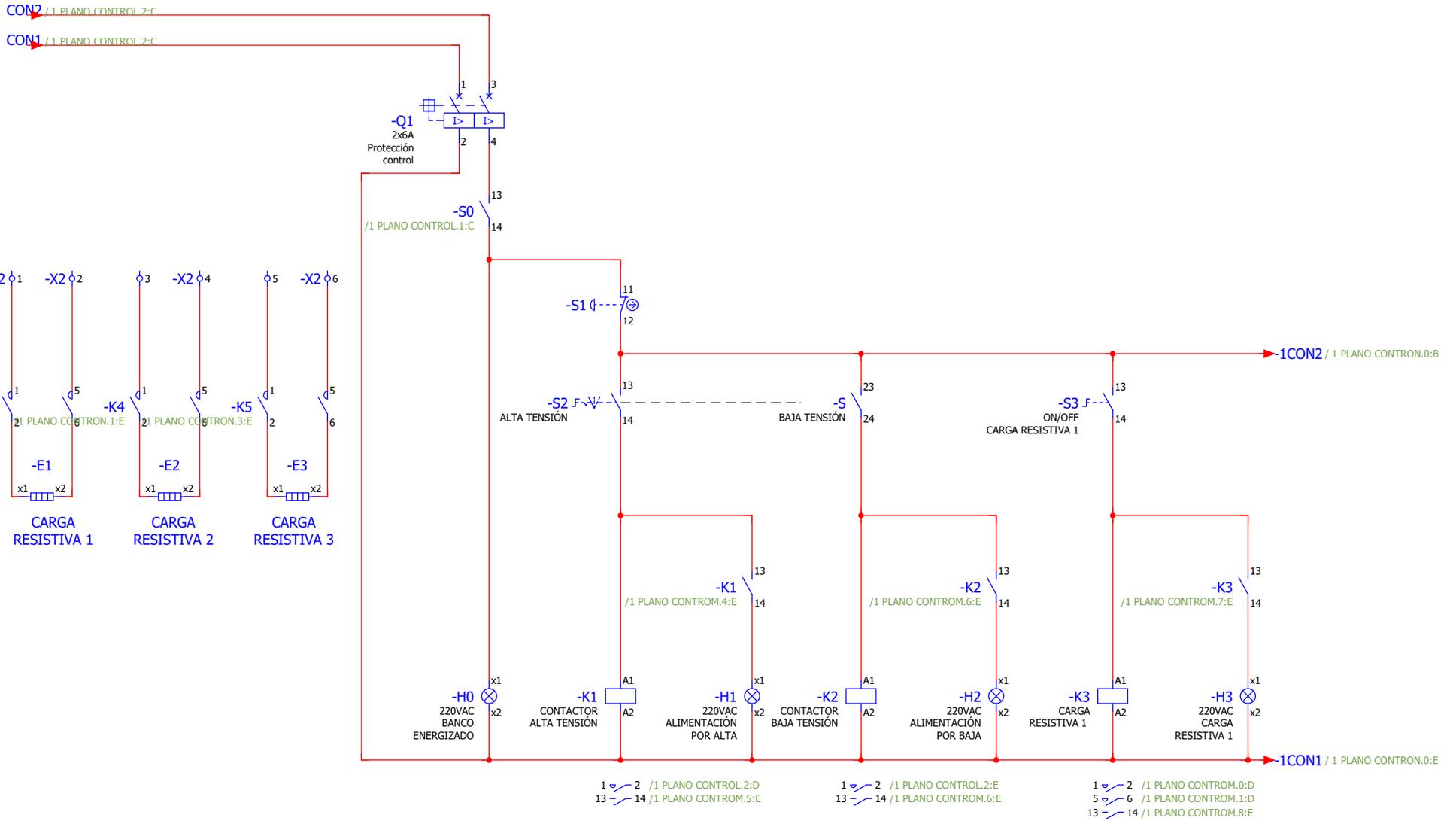
|  |
|--|
| BANCO DE PRUEBAS TRANSFORMADORES EPLAN |
|--|



Diseño: A. Lizarazo  
Dibujó: J. Susa  
Revisó: Ing. H. Ibañez

Título:  
**Diagrama de fuerza**  
Proyecto:  
**BANCO DE PRUEBAS TRANSFORMADORES**

OT: 1 PLANO CONTROL  
Total pag. 11



1 PLANO CONTROL

1 PLANO CONTROL

|          |            |
|----------|------------|
| Fecha    | 27/10/2020 |
| Resp.    | USUARIO    |
| Probado  |            |
| Original |            |

|        |       |        |
|--------|-------|--------|
| Cambio | Fecha | Nombre |
|        |       |        |
|        |       |        |

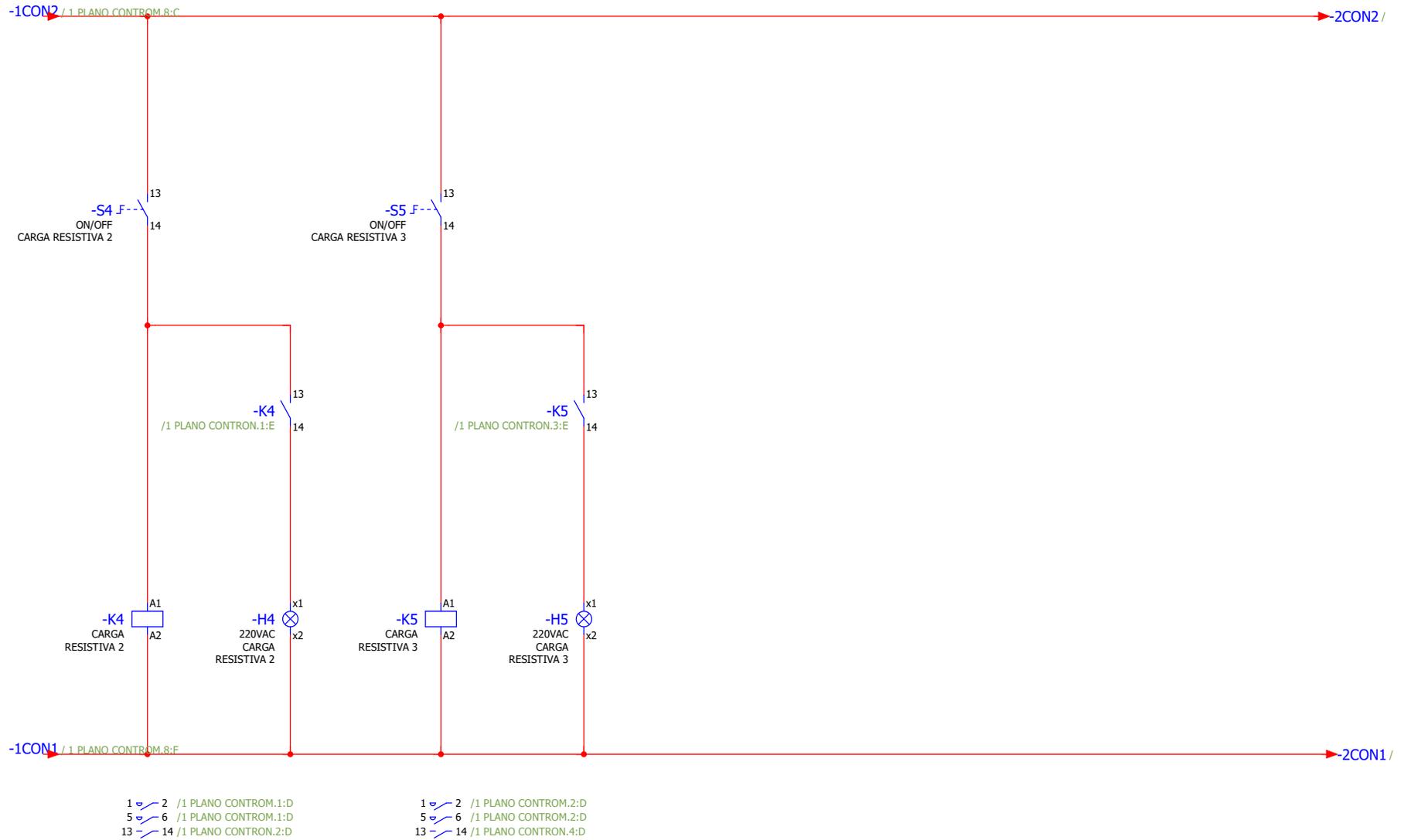
Cliente:  
UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO-UAN  
BANCO DE PRUEBAS TRANSFORMADORES EPLAN



Diseño: A. Lizarazo  
Dibujó: J. Susa  
Revisó: Ing. H. Ibañez

Título:  
Diagrama de fuerza  
Proyecto:  
BANCO DE PRUEBAS TRANSFORMADORES

|            |                 |
|------------|-----------------|
| OT:        | 1 PLANO CONTROL |
| Total pag. | 11              |



1 PLANO CONTROL

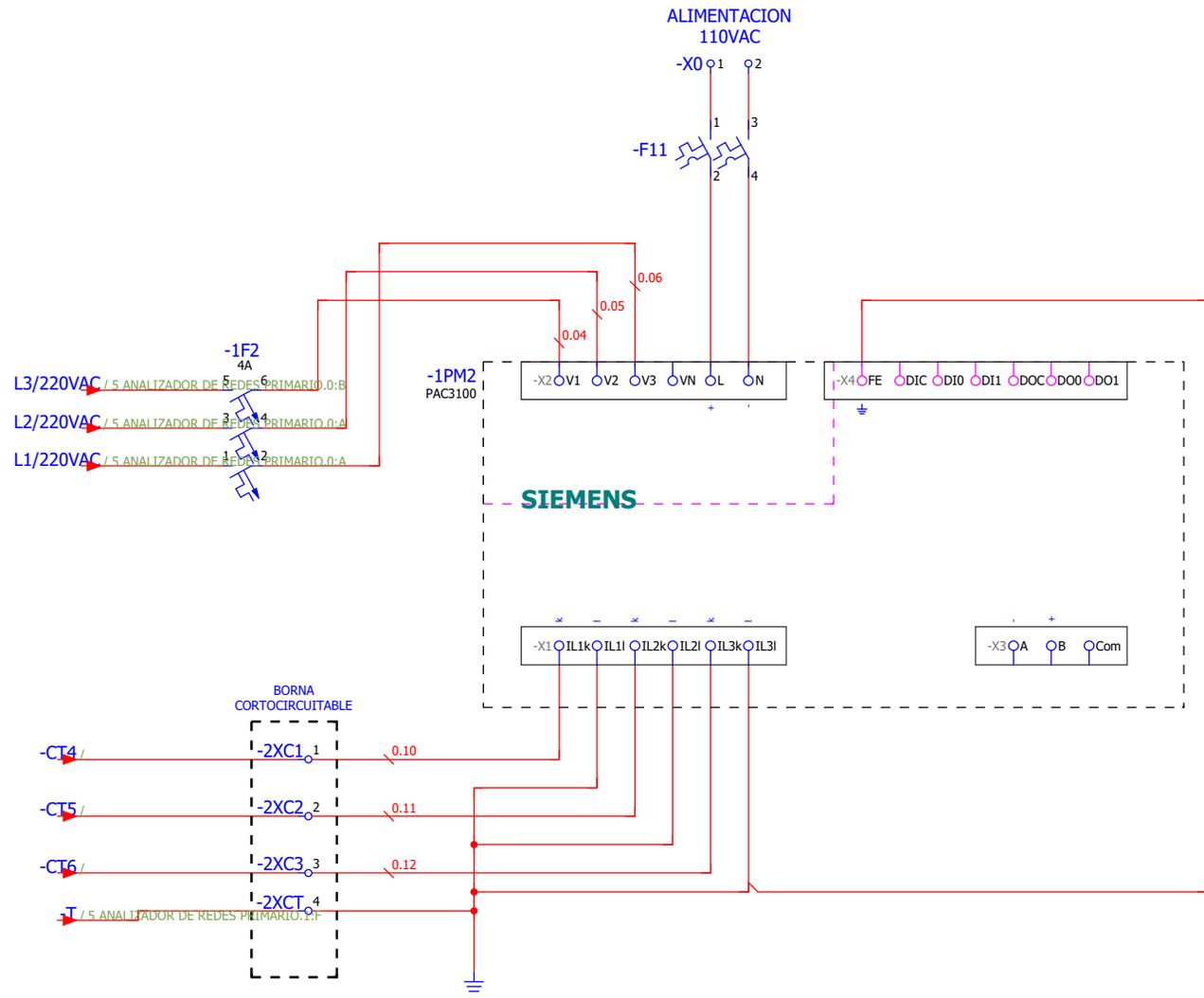
|         |            |
|---------|------------|
| Fecha   | 27/10/2020 |
| Resp.   | USUARIO    |
| Probado |            |
| Cambio  | Original   |

Cliente:  
UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO-UAN  
BANCO DE PRUEBAS TRANSFORMADORES EPLAN



|                        |  |               |
|------------------------|--|---------------|
| Diseño: A. Lizarazo    | Título: Diagrama de fuerza                 | =             |
| Dibujó: J. Susa        | Proyecto: BANCO DE PRUEBAS TRANSFORMADORES | +             |
| Revisó: Ing. H. Ibañez | OT: 1 PLANO CONTROL                        | TESIS DE GRAD |
|                        |  | Total pag. 11 |





5 ANALIZADOR DE REDES PRIMARIO

|          |            |         |                                |         |                |                                  |                                  |               |
|----------|------------|---------|--------------------------------|---------|----------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------|
| Fecha    | 27/10/2020 | Cliete: | UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO-UAN | Diseño: | A. Lizarazo    | Titulo:                          | Diagrama de fuerza               | =             |
| Resp.    | USUARIO    |         |                                | Dibujó: | J. Susa        | Proyecto:                        | BANCO DE PRUEBAS TRANSFORMADORES | +             |
| Original |            |         |                                | Revisó: | Ing. H. Ibañez | 6 ANALIZADOR DE REDES SECUNDARIO | TESIS DE GRADUACION              | Total pag. 11 |



# Lista de medios de explotación

F03\_001

| Identificador de medios de explotación<br>Número de artículo<br>Número de tipo | Función<br>Designación de artículo  | Ref. cruzada      | Símbolo   |
|--|---|-------------------|---|
| -2   | Borna portafusible  | /3.B:1<br>/17.B:3 |    |
| -4   | =   | /17.B:6           |    |
| -A1<br>6ES7214-1HG40-0XB0  | SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, DC/DC/RLY, ONBOARD I/O: 14 DI 24V DC; 10 DO RELAY 2A;   | /5.B:5            |    |
| -A2<br>6ES7223-1PH32-0XB0  | SIMATIC S7-1200, DIGITAL I/O SM 1223, 8DI / 8DO, 8DI DC 24 V, SINK/SOURCE, 8DO, RELAY 2A  | /5.B:6            |    |
| -A3<br>6ES7231-4HD32-0XB0  | SIMATIC S7-1200, ENTRADA ANALOG. SM 1231, 4 AI, +/-10V, +/-5V, +/-2.5V, 0-20MA/4-20 MA, 12 BIT + SIGNO (13 BIT ADC)   | /5.B:7            |    |
| -A4<br>6ES7241-1CH32-0XB0  | SIMATIC S7-1200, COMMUNICATION MODULE CM 1241, RS422/485, 9 PIN SUB D (FEMALE) SUPPORTS MESSAGE BASED FREERPORT   | /5.B:4            |   |
| -DPS<br>PSC4-12,5/480 TNS CLASE 1+2  | Protector DPS combinado - descargador de corriente de rayo y supresor de sobretensiones transitorias, Tipo 1+2 / Clase I+II, 4 polos (4P), (L1-L2-L3-N-PE), 12.5 kA (10/350), 277 / 480 V, config. red TNS, 4 módulos, desenchufable. | /3.D:7            |  |
| -F1  | Interruptor termomagnético de motaje en riel omega Bipolar de 4A  | /4.A:1            |  |

| Identificador de medios de explotación<br>Número de artículo<br>Número de tipo | Función<br>Designación de artículo                                      | Ref. cruzada | Símbolo   |
|--|---|--------------|---|
| -F2  | =   | /4.A:3       |    |
| -F3  | Interruptor termomagnético de motaje en riel omega Monopolar de 6A      | /4.C:3       |    |
| -FTE<br>SITOP PSU200M 5 A  | 5 A stabilized power supply input: 120/230-500 V AC output: 24 V DC/5 A | /4.C:3       |    |
| -H1  | Piloto de señalizacion color verde                                      | /14.E:4      |    |
| -H2  | =   | /15.E:4      |    |
| -H3  | =   | /16.E:4      |    |
| -H4  | =   | /12.E:7      |   |
| -H5  | Piloto de señalizacion color rojo                                       | /14.E:5      |  |
| -H6  | =   | /15.E:5      |  |

## 6 ANALIZADOR DE REDES SECUNDARIO

18.a

|         |            |                                  |          |                                       |                |
|---------|------------|----------------------------------|----------|---------------------------------------|----------------|
| Fecha   | 16/10/2019 | EPLAN                            | UAN      | Lista de medios de explotación : =+ - | =              |
| Resp.   | USUARIO    | BANCO DE PRUEBAS TRANSFORMADORES |          | =+ -H6                                | +              |
| Probado |            |                                  |          |                                       |                |
| Cambio  | Fecha      | Nombre                           | Original | Sustituido por                        | Sustituido por |
|         |            |                                  |          |                                       |                |

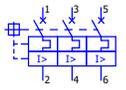
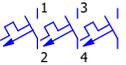
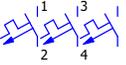
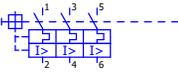
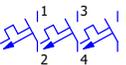
Hoja 18

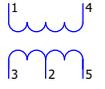
Hoja 11



# Lista de medios de explotación

F03\_001

| Identificador de medios de explotación<br>Número de artículo<br>Número de tipo | Función<br>Designación de artículo                                 | Ref. cruzada | Símbolo   |
|--|--|--------------|---|
| -PE2   | Parada de emergencia   | /6.C:6       |    |
| -PE3   | =  | /6.D:6       |    |
| -Q0<br>3VT1704 (32-40)A  | Interruptor tripolar termomagnético 32-40A                         | /3.C:1       |    |
| -Q1  | Interruptor termomagnético de motaje en riel omega Tripolar de 10A | /3.D:1       |    |
| -Q2  | =  | /3.D:2       |    |
| -Q3  | Interruptor termomagnético de motaje en riel omega Tripolar de 6A  | /3.D:4       |    |
| -Q4<br>3RV1021   | Guardamotor (11-16)A   | /3.D:5       |   |
| -Q5  | Interruptor termomagnético de motaje en riel omega Tripolar de 32A | /3.D:7       |  |
| -S0  | Selector de tres posiciones  | /6.C:4       |  |

| Identificador de medios de explotación<br>Número de artículo<br>Número de tipo | Función<br>Designación de artículo   | Ref. cruzada | Símbolo   |
|--|--|--------------|---|
| -S1  | Pulsador doble Start/stop  | /12.C:1      |    |
| -S2  | =  | /12.C:3      |    |
| -S3  | =  | /12.C:5      |    |
| -S4  | =  | /12.C:6      |    |
| -S5  | Selector de dos posiciones   | /12.D:2      |    |
| -S6  | =  | /12.D:4      |    |
| -S7  | =  | /12.D:6      |   |
| -SW1<br>6GK50050BA001AB2   | SCALANCE XB005 UNMANAGED INDUSTRIAL ETHERNET SWITCH FOR 10/100MBIT/S; WITH 5 X 10/100MBIT/S TWISTED PAIR- PORTS WITH RJ45-SOCKETS; FOR CONFIGURING SMALL STAR- AND LINE TOPOGRAPHIES | /5.D:3       |  |
| -T1  | Transformador de control 500VA entrada 480 salida 208/120vac   | /4.A:2       |  |

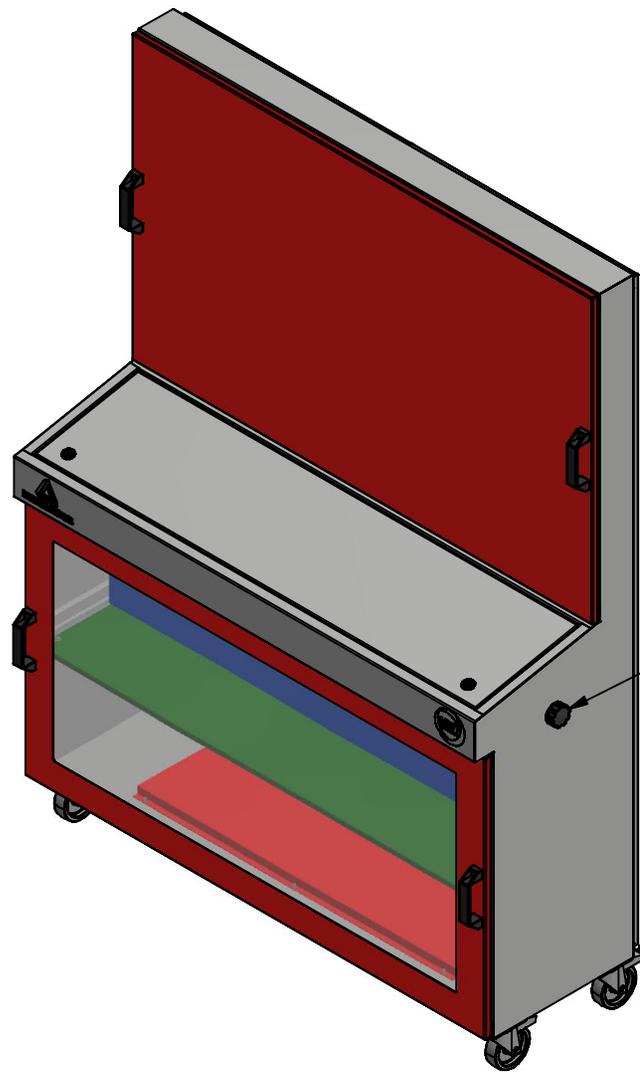
18.a

18.c

|        |       |        |          |            |                                  |                |   |                |           |
|--------|-------|--------|----------|------------|----------------------------------|----------------|---|----------------|-----------|
|        |       |        | Fecha    | 16/10/2019 | EPLAN                            | UAN            | Lista de medios de explotación : =+-PE2 |                | =         |
|        |       |        | Resp.    | USUARIO    |                                  |                | =+-T1                                   |                | +         |
|        |       |        | Probado  |            | BANCO DE PRUEBAS TRANSFORMADORES |                |   | TESIS DE GRADO | Hoja 18.b |
| Cambio | Fecha | Nombre | Original |            | Sustituido por                   | Sustituido por |   |                | Hoja 11   |

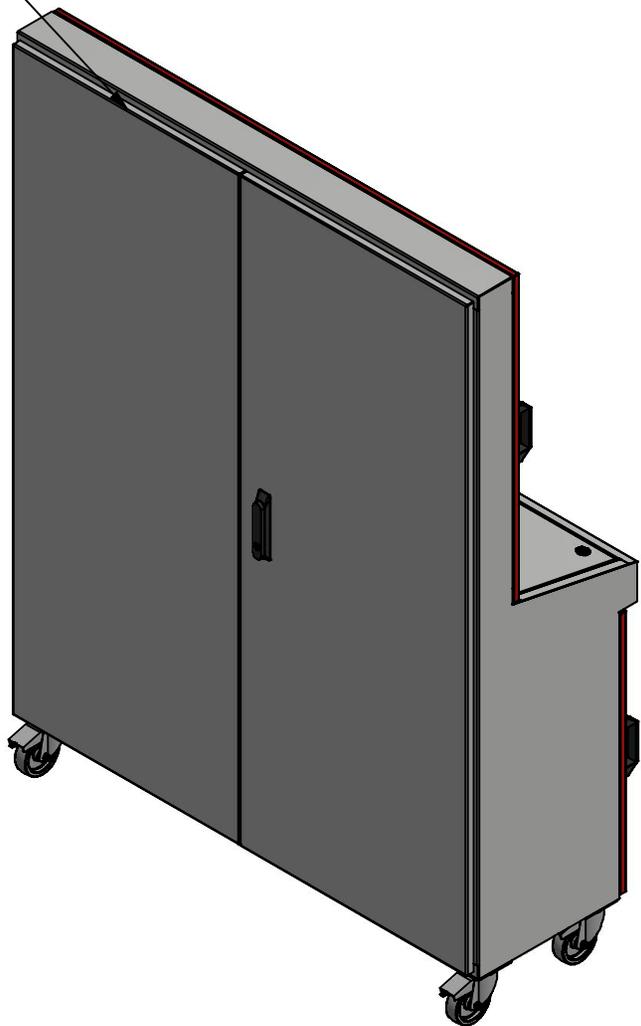


## **5. Anexo E: Planos mecánicos**



PUERTAS POSTERIORES

MANDO DE VARIAC  
EN LATERAL DERECHO



|   |                                 |                             |                                      |                         |   |                          |
|---|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------------|---|--------------------------|
|  | DESCRIPCION:<br><b>DESPIECE</b> |                             | REFERENCIA:<br><b>TC.CONSOLA</b>     |                         | CLIENTE:<br><b>INGENIERIA DERIVADA</b>  | OP:<br><b>X</b>          |
|   | DIBUJO:<br><b>JUAN SIERRA</b>   |                             | REVISO:<br><b>ALEJANDRO LIZARAZO</b> |                         | APROBO:<br><b>JOHN SUSAS</b>  | PLANO No:<br><b>1/30</b> |
|   | FECHA:<br><b>28/09/2020</b>     | ESCALA:<br><b>VER PLANO</b> | UNIDADES:<br><b>mm</b>               | DOCUMENTO<br>CONTROLADO | <small>ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNCELAS S.A.S.<br/>PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA<br/>PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA<br/>AUTORIZACION DE TECNCELAS S.A.S.</small> |                          |

VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015

6 5 4 3 2 1

D

D

C

C

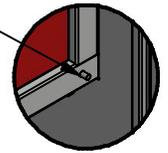
B

B

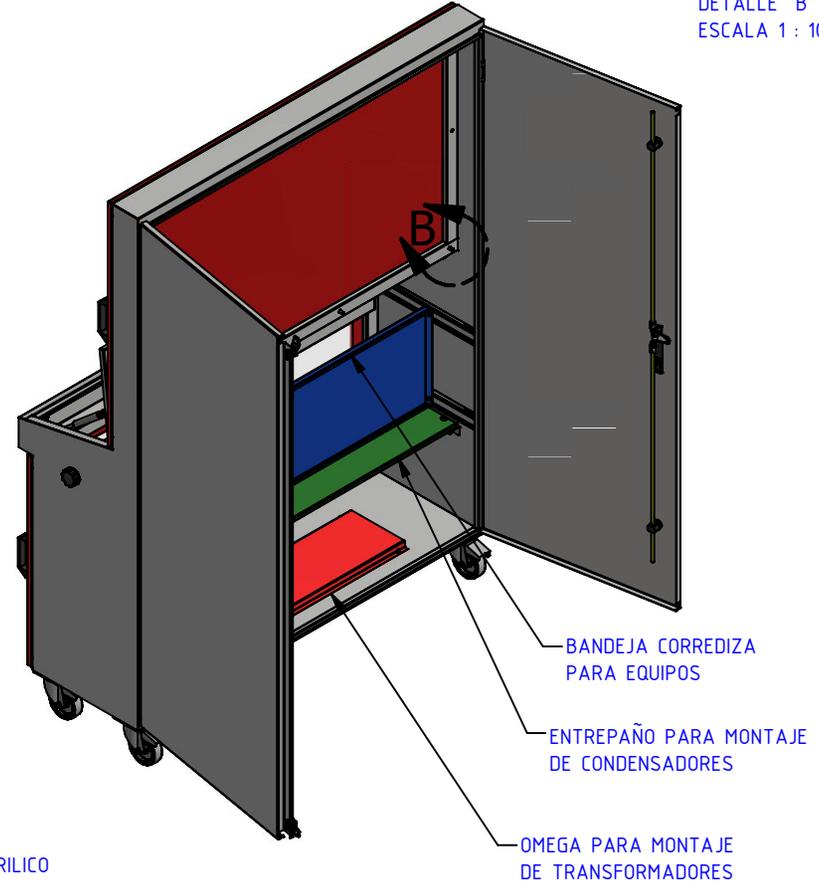
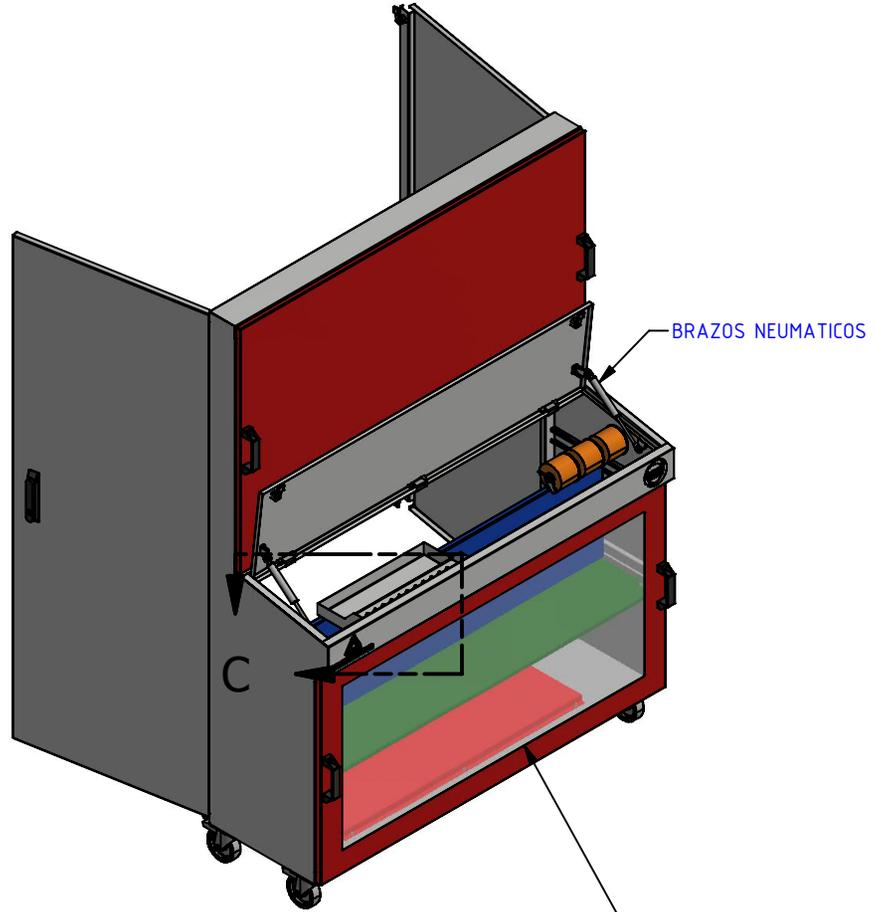
A

A

TORNILLOS PARA DESMONTAJE DE PLACA FRONTAL



DETALLE B  
ESCALA 1 : 10



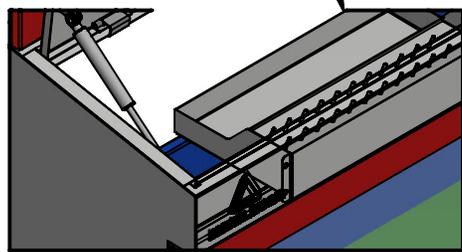
CAJON PARA HERRAMIENTA

TAPA DESMONTABLE CON ACRILICO

BANDEJA CORREDIZA PARA EQUIPOS

ENTREPAÑO PARA MONTAJE DE CONDENSADORES

OMEGA PARA MONTAJE DE TRANSFORMADORES

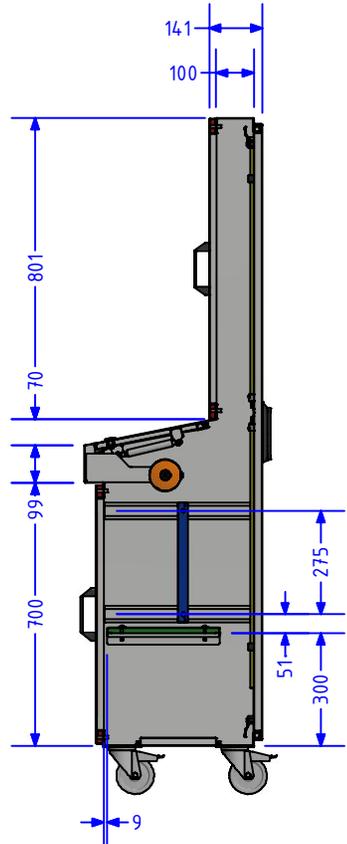
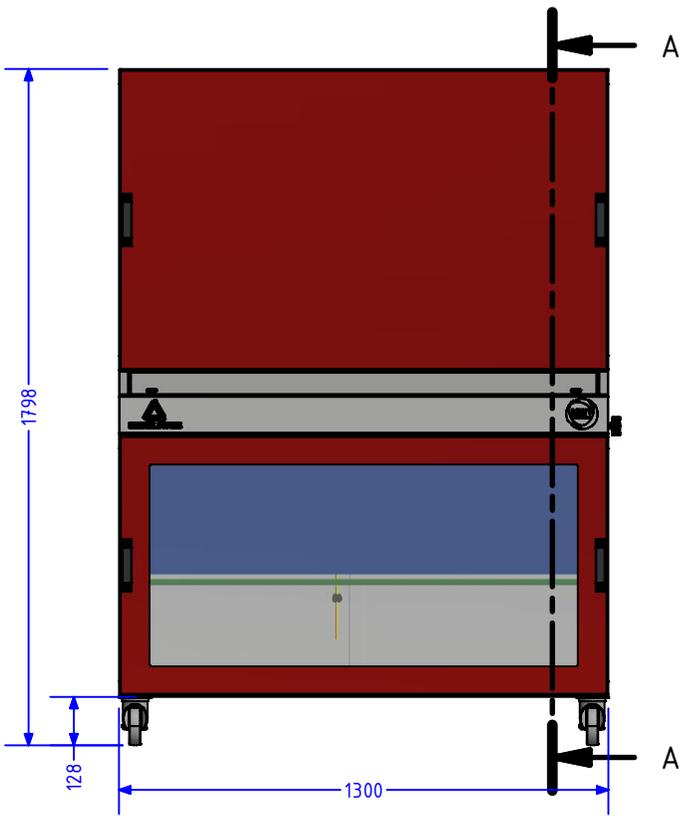
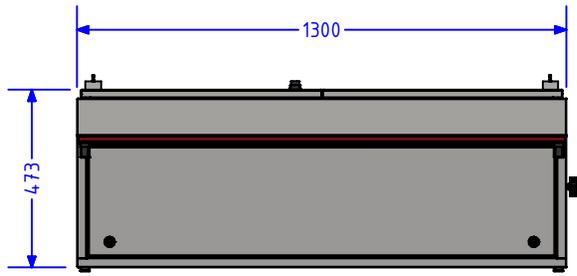


DETALLE C  
ESCALA 1 : 10

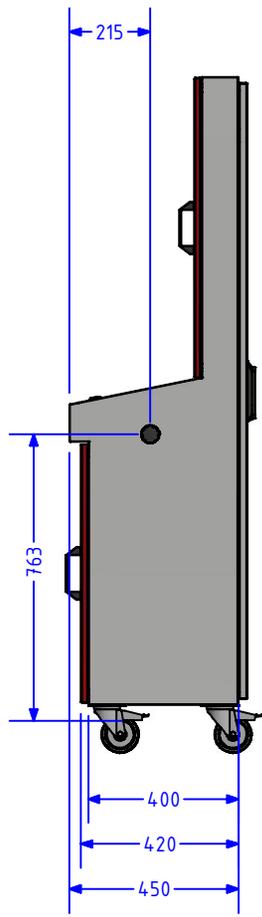
|   |                                 |                             |                                      |                      |  |                          |
|---|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------|--|--------------------------|
|  | DESCRIPCION:<br><b>DESPIECE</b> |                             | REFERENCIA:<br><b>TC.CONSOA</b>      |                      | CLIENTE:<br><b>INGENIERIA DERIVADA</b>   | OP:<br><b>X</b>          |
|   | DIBUJO:<br><b>JUAN SIERRA</b>   |                             | REVISO:<br><b>ALEJANDRO LIZARAZO</b> |                      | APROBO:<br><b>JOHN SUSA</b>  | PLANO No:<br><b>2/30</b> |
|   | FECHA:<br><b>28/09/2020</b>     | ESCALA:<br><b>VER PLANO</b> | UNIDADES:<br><b>mm</b>               | DOCUMENTO CONTROLADO | ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELAS SAS. PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA AUTORIZACION DE TECNICELAS SAS. |                          |
|   |                                 |                             |                                      |                      | VERSION:<br><b>N/A</b>   |                          |

6 5 4 3 2 1

VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015

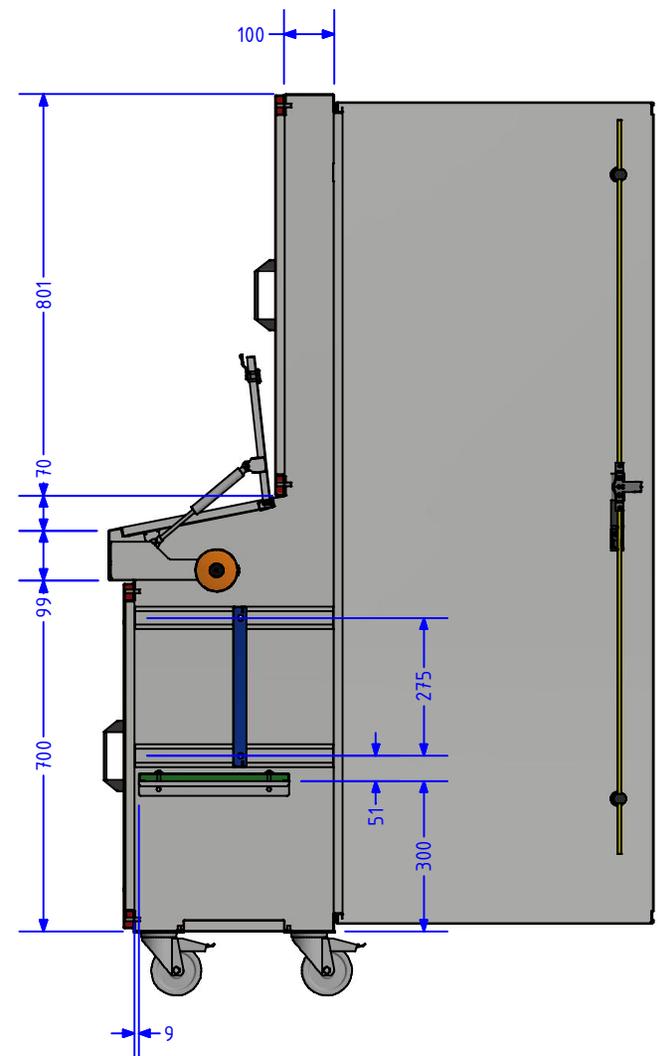
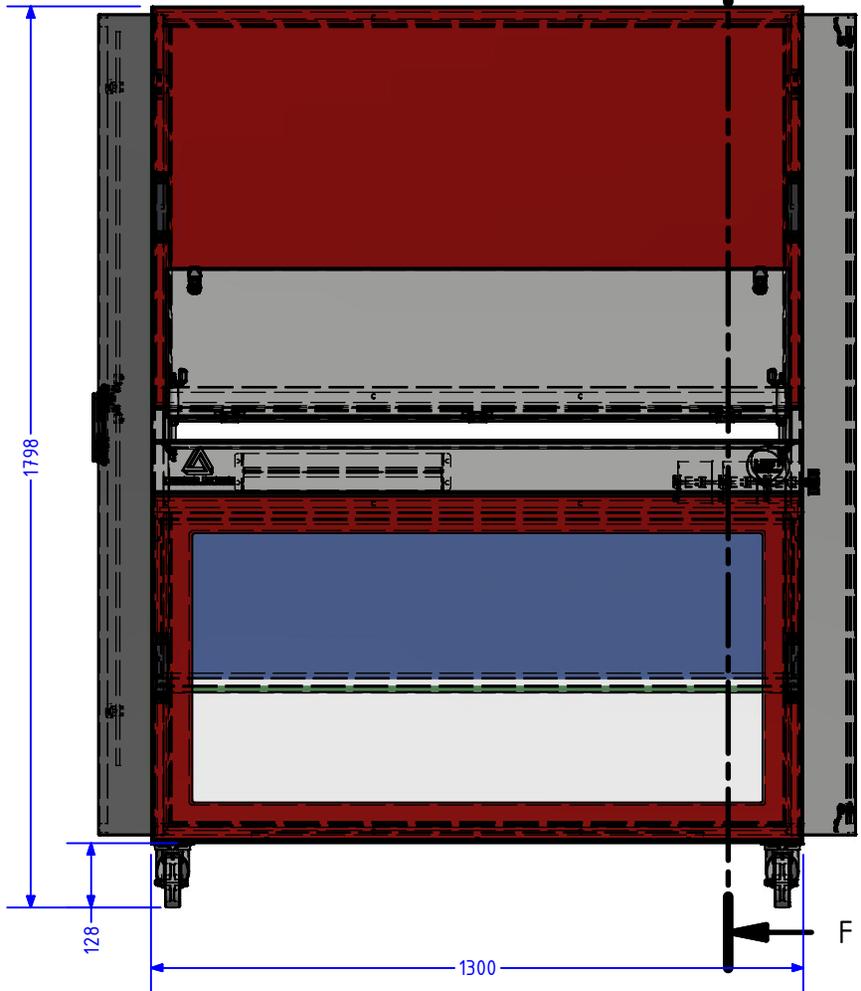


SECCION A-A  
ESCALA 1 : 20



|                                 |                             |                                      |                         |   |                          |
|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------------|---|--------------------------|
| DESCRIPCION:<br><b>DESPIECE</b> |                             | REFERENCIA:<br><b>TC.CONSOA</b>      |                         | CLIENTE:<br><b>INGENIERIA DERIVADA</b>  | OP:<br><b>X</b>          |
| DIBUJO:<br><b>JUAN SIERRA</b>   |                             | REVISO:<br><b>ALEJANDRO LIZARAZO</b> |                         | APROBO:<br><b>JOHN SUSA</b>   | PLANO No:<br><b>3/30</b> |
| FECHA:<br><b>28/09/2020</b>     | ESCALA:<br><b>VER PLANO</b> | UNIDADES:<br><b>mm</b>               | DOCUMENTO<br>CONTROLADO | ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELDAS SAS.<br>PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA<br>PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA<br>AUTORIZACION DE TECNICELDAS SAS. |                          |
|                                 |                             |                                      |                         | VERSION:<br><b>N/A</b>  |                          |

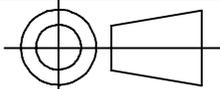
VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015

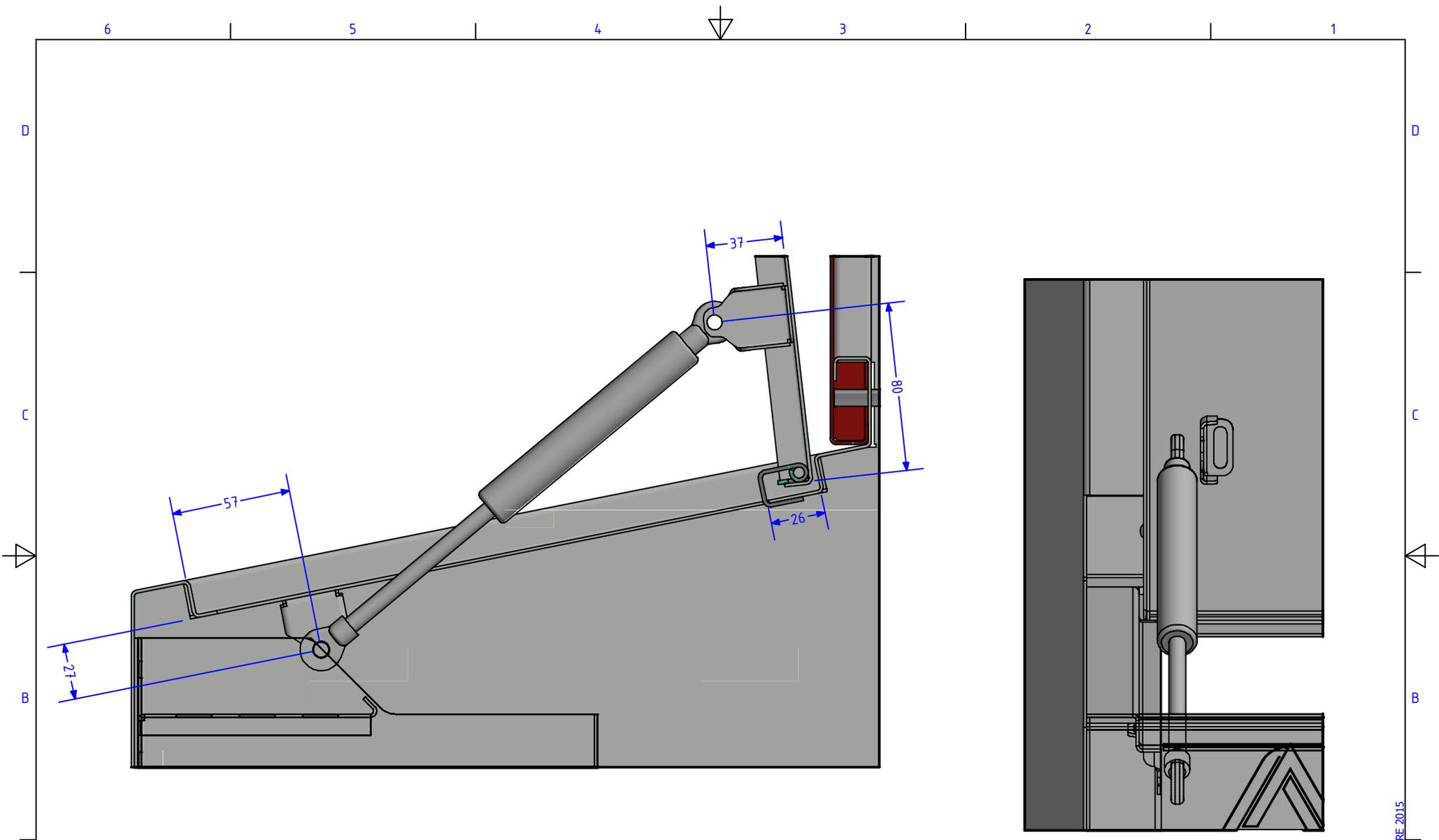


SECCION F-F  
ESCALA 1 : 15

VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015

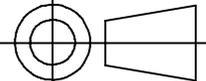
|   |                                 |                                      |                                 |  |  |                          |
|---|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--|--|--------------------------|
|  | DESCRIPCION:<br><b>DESPIECE</b> |                                      | REFERENCIA:<br><b>TC.CONSOA</b> |  | CLIENTE:<br><b>INGENIERIA DERIVADA</b> | OP:<br><b>X</b>          |
|   | DIBUJO:<br><b>JUAN SIERRA</b>   | REVISO:<br><b>ALEJANDRO LIZARAZO</b> | FECHA:<br><b>28/09/2020</b>     |  | APROBO:<br><b>JOHN SUSA</b>            | PLANO No:<br><b>4/30</b> |
|   | ESCALA:<br><b>VER PLANO</b>     | UNIDADES:<br><b>mm</b>               | DOCUMENTO CONTROLADO            | ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELDAS SAS. PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA AUTORIZACION DE TECNICELDAS SAS. |  | VERSION:<br><b>N/A</b>   |



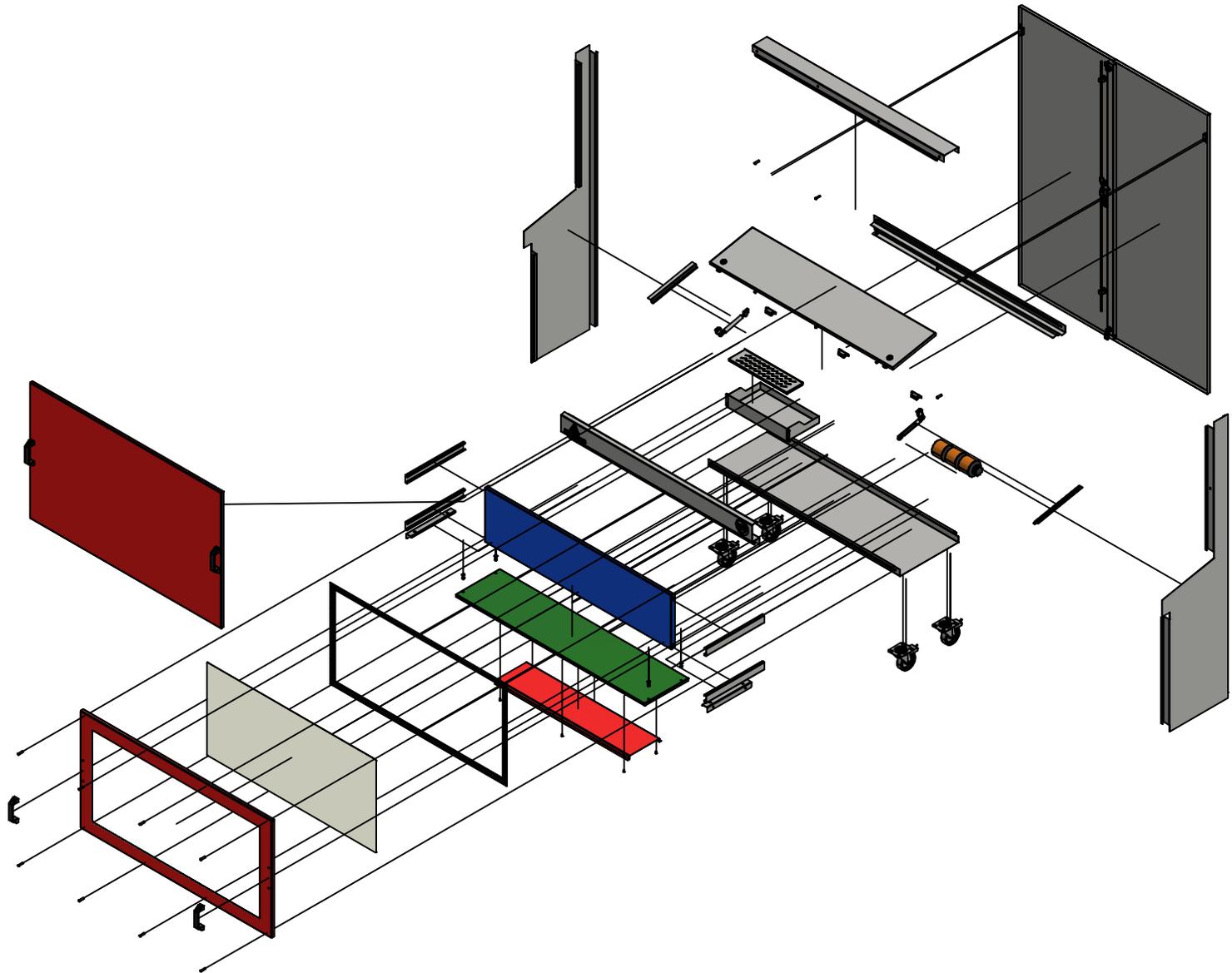


DETALLE H  
ESCALA 1:2.5

DETALLE J  
ESCALA 1:2.5

|   |  |                             |                                  |                                      |   |                          |
|---|--|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------|
|  | DESCRIPCION:<br><b>DESPIECE</b>  |                             | REFERENCIA:<br><b>TC.CONSOLE</b> |                                      | CLIENTE:<br><b>INGENIERIA DERIVADA</b>  | OP:<br><b>X</b>          |
|   |  |                             | DIBUJO:<br><b>JUAN SIERRA</b>    | REVISO:<br><b>ALEJANDRO LIZARAZO</b> | APROBO:<br><b>JOHN SUSAS</b>  | PLANO No:<br><b>5/30</b> |
|   | FECHA:<br><b>28/09/2020</b>  | ESCALA:<br><b>VER PLANO</b> | UNIDADES:<br><b>mm</b>           | DOCUMENTO CONTROLADO                 | <small>ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELAS S.A.S. PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA AUTORIZACION DE TECNICELAS S.A.S.</small> |                          |

VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015



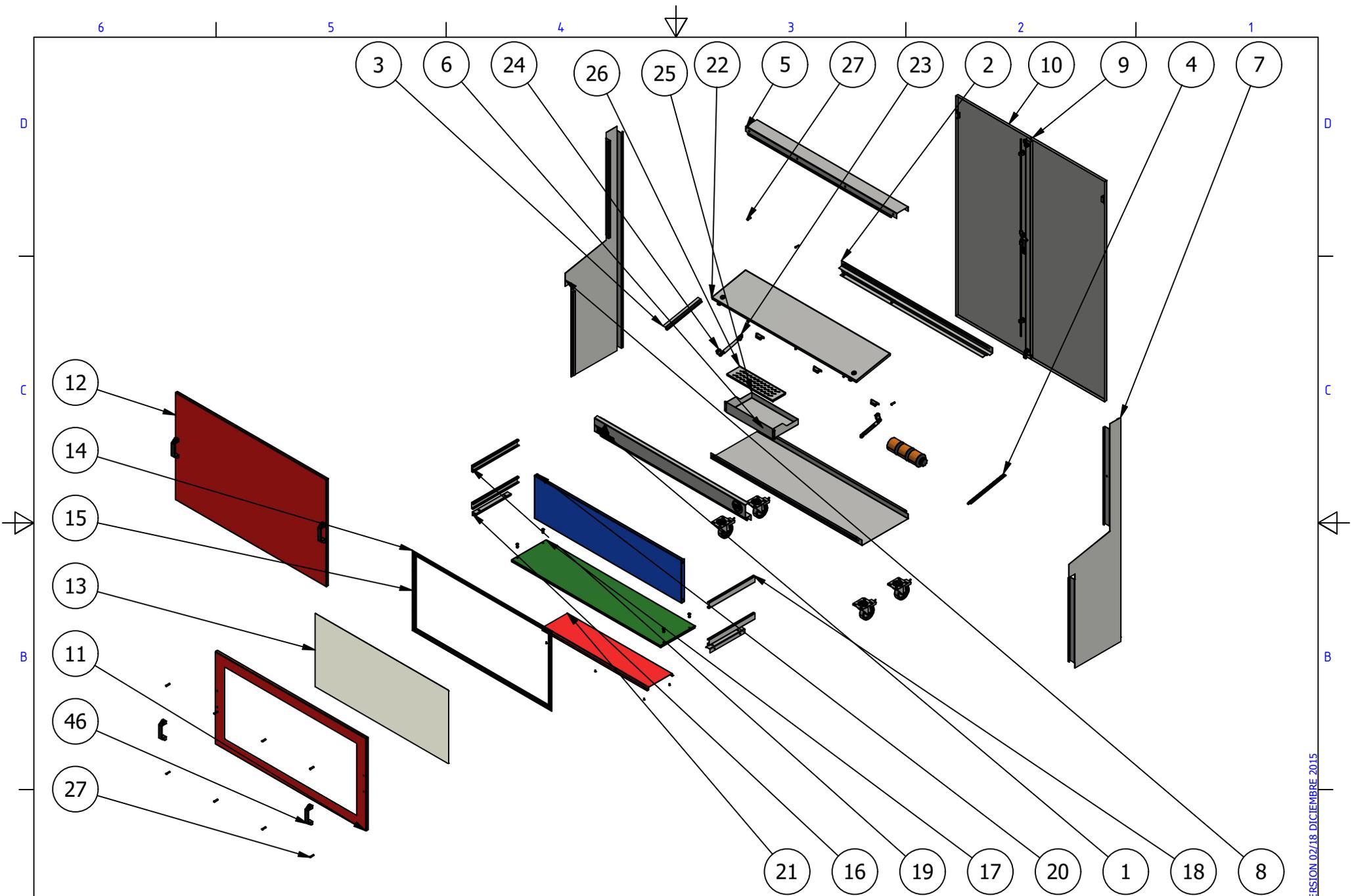
VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015



|                                 |  |                                      |                        |                                       |  |
|---------------------------------|--|--------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|--|
| DESCRIPCION:<br><b>DESPIECE</b> |  | REFERENCIA:<br><b>TC.CONSOLA</b>     |                        | CUENTE:<br><b>INGENIERÍA DERIVADA</b> | OP:<br><b>X</b>  |
| DIBUJO:<br><b>JUAN SIERRA</b>   |  | REVISO:<br><b>ALEJANDRO LIZARAZO</b> |                        | APROBO:<br><b>JOHN SUSA</b>           | PLANO No:<br><b>6/30</b>   |
| FECHA:<br><b>28/09/2020</b>     |  | ESCALA:<br><b>VER PLANO</b>          | UNIDADES:<br><b>mm</b> | DOCUMENTO CONTROLADO                  | ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELDAS SAS. PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA AUTORIZACION DE TECNICELDAS SAS. |
|                                 |  |                                      |                        |                                       | VERSION:<br><b>N/A</b>   |



## **6. Anexo F: Listado de piezas de fabricación**



VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015

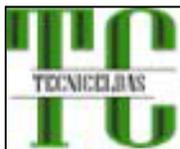


|                                 |  |                                      |                        |                                       |  |
|---------------------------------|--|--------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|--|
| DESCRIPCION:<br><b>DESPIECE</b> |  | REFERENCIA:<br><b>TC.CONSOLA</b>     |                        | CUENTE:<br><b>INGENIERÍA DERIVADA</b> | OP:<br><b>X</b>  |
| DIBUJO:<br><b>JUAN SIERRA</b>   |  | REVISO:<br><b>ALEJANDRO LIZARAZO</b> |                        | APROBO:<br><b>JOHN SUSA</b>           | PLANO No:<br><b>7/30</b>   |
| FECHA:<br><b>28/09/2020</b>     |  | ESCALA:<br><b>VER PLANO</b>          | UNIDADES:<br><b>mm</b> | DOCUMENTO CONTROLADO                  | ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELDAS SAS. PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA AUTORIZACION DE TECNICELDAS SAS. |
|                                 |  |                                      |                        |                                       | VERSION:<br><b>N/A</b>   |

A

LISTADO DE PARTES

| ITEM | QTY | PARTE                               | DESCRIPCION                                       | LARGO   | ANCHO  |
|------|-----|-------------------------------------|---|---------|--------|
| 1    | 1   | CON-P01-B                           | PERFIL FRONTAL                                    | 1297 mm | 266 mm |
| 2    | 1   | CON-P01-C                           | PERFIL FRONTAL                                    | 1297 mm | 133 mm |
| 3    | 1   | CON-P01-D-B                         | PERFIL FRONTAL LATERAL IZQ                        | 308 mm  | 50 mm  |
| 4    | 1   | CON-P01-D                           | PERFIL FRONTAL LATERAL-DER                        | 308 mm  | 50 mm  |
| 5    | 1   | CON-P02                             | PERFIL SUPERIOR                                   | 1297 mm | 222 mm |
| 6    | 1   | CON-P03                             | PERFIL INFERIOR                                   | 1297 mm | 523 mm |
| 7    | 1   | CON-PL04                            | PERFIL LATERAL DERECHO                            | 1667 mm | 522 mm |
| 8    | 1   | CON-PL04-B                          | PERFIL LATERAL IZQUIERDO                          | 1667 mm | 522 mm |
| 9    | 1   | CON-D03                             | PUERTA IZQUIERDA POSTERIOR                        | 1673 mm | 720 mm |
| 10   | 1   | CON-D04                             | PUERTA DERECHA POSTERIOR                          | 1673 mm | 674 mm |
| 11   | 1   | CON-PFI01                           | PANEL FRONTAL INFERIOR                            | 1348 mm | 739 mm |
| 12   | 1   | CON-PF01                            | PANEL FRONTAL SUPERIOR                            | 1342 mm | 843 mm |
| 13   | 1   | ACRILICO                            | ACRILICO  | 1147 mm | 547 mm |
| 16   | 2   | CON-PEN01                           | PERFIL ENTREPAÑO                                  | 300 mm  | 70 mm  |
| 17   | 1   | CON-ENT01                           | ENTREPAÑO   | 1306 mm | 343 mm |
| 18   | 2   | CON-R01                             | RIEL  | 394 mm  | 83 mm  |
| 19   | 2   | CON-R01-B                           | RIEL  | 394 mm  | 83 mm  |
| 20   | 1   | CON-B01                             | BANDEJA   | 1311 mm | 372 mm |
| 21   | 1   | CON-ST01                            | SOPORTE TRANSFORMADORES                           | 900 mm  | 266 mm |
| 22   | 1   | CON-D05                             | PUERTA  | 1269 mm | 322 mm |
| 23   | 2   | TOPE PUERTA-c-02                    |   | 41 mm   | 54 mm  |
| 24   | 2   | TOPE PUERTA-c-01                    |   | 41 mm   | 44 mm  |
| 25   | 1   | CON-CH01                            | CAJON HERRAMIENTA                                 | 547 mm  | 331 mm |
| 26   | 1   | CON-DCH01                           | DIVISION CAJON HERRAMIENTA                        | 412 mm  | 129 mm |
| 27   | 16  | M8*30                               | Tornillo electrosoldado                           |         |        |
| 28   | 4   | ANSI B18.22.1 - 1/4 - Fino - Tipo A | Arandela plana (Pulgada) Tipo A y B               |         |        |
| 29   | 4   | ANSI B18.6.3 - 1/4 - 20 x 1 SR HMS  | Tornillo con cabeza redonda ranurada              |         |        |
| 30   | 4   | ANSI B18.2.2 - 1/4 - 20             | Tuercas hex. (serie en pulgadas) Tuerca hexagonal |         |        |
| 31   | 6   | M6*10                               | Tornillo electrosoldado                           |         |        |
| 34   | 4   | Chapa 1/4 de giro                   |   |         |        |
| 37   | 1   | Chapa bombin de 150 mm              |   |         |        |
| 46   | 4   | MANIJA                              |   |         |        |



|                                 |                             |                                      |                      |  |                          |
|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------|--|--------------------------|
| DESCRIPCION:<br><b>DESPIECE</b> |                             | REFERENCIA:<br><b>TC.CONSOLA</b>     |                      | CLIENTE:<br><b>INGENIERÍA DERIVADA</b>   | OP:<br><b>X</b>          |
| DIBUJO:<br><b>JUAN SIERRA</b>   |                             | REVISO:<br><b>ALEJANDRO LIZARAZO</b> |                      | APROBO:<br><b>JOHN SUSA</b>  | PLANO No:<br><b>8/30</b> |
| FECHA:<br><b>28/09/2020</b>     | ESCALA:<br><b>VER PLANO</b> | UNIDADES:<br><b>mm</b>               | DOCUMENTO CONTROLADO | ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNCEL SAS. PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA AUTORIZACION DE TECNCEL SAS. |                          |
|                                 |                             |                                      |                      | VERSION:<br><b>N/A</b>   |                          |

VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015

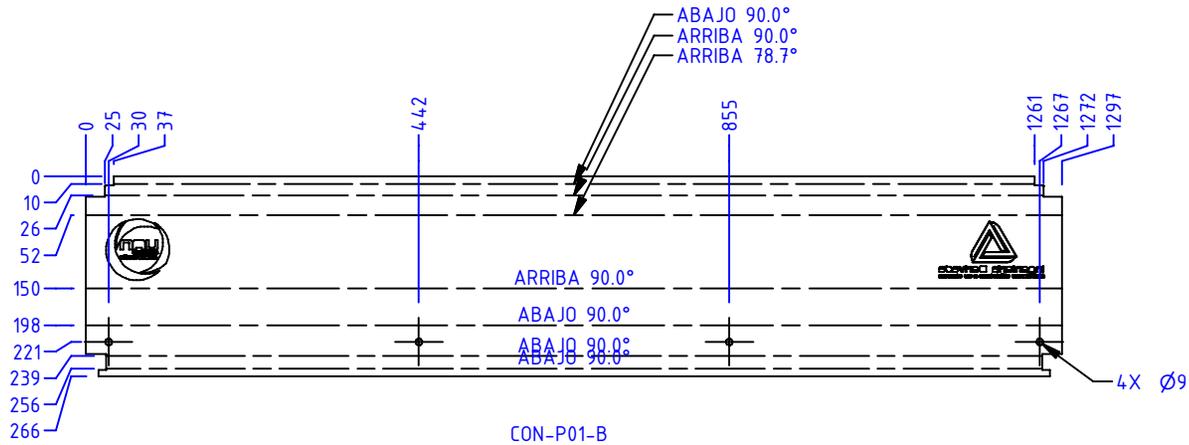
6 5 4 3 2 1

D D

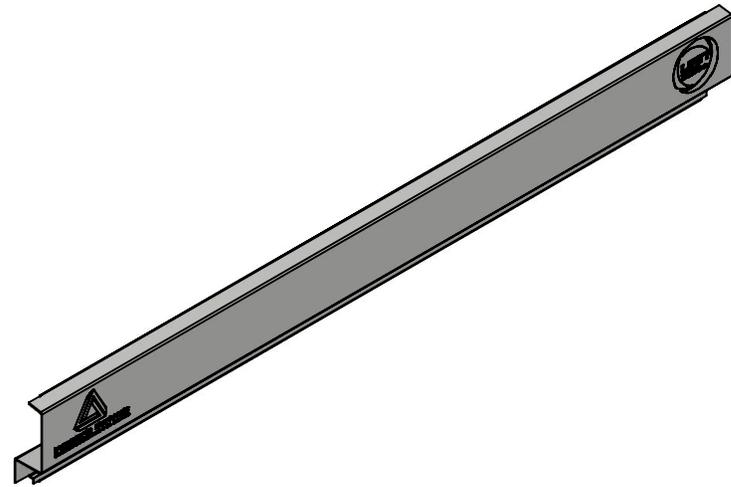
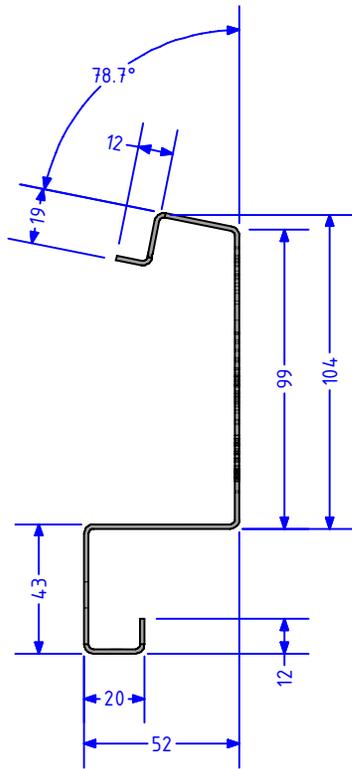
C C

B B

A A



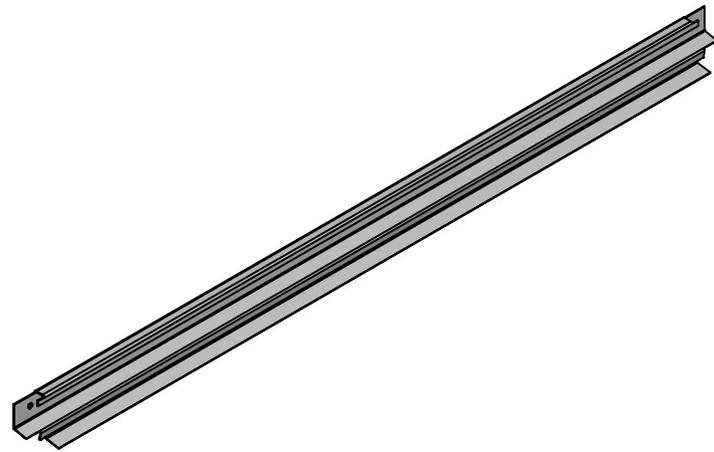
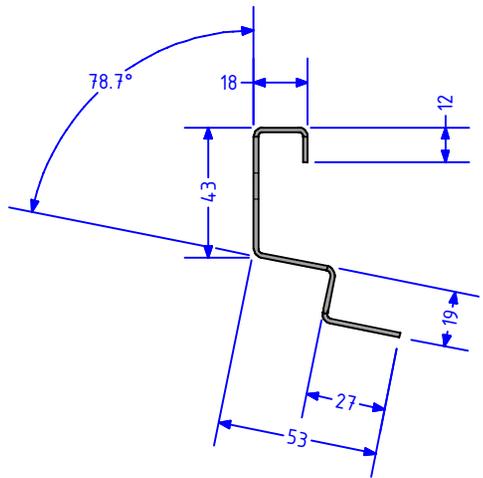
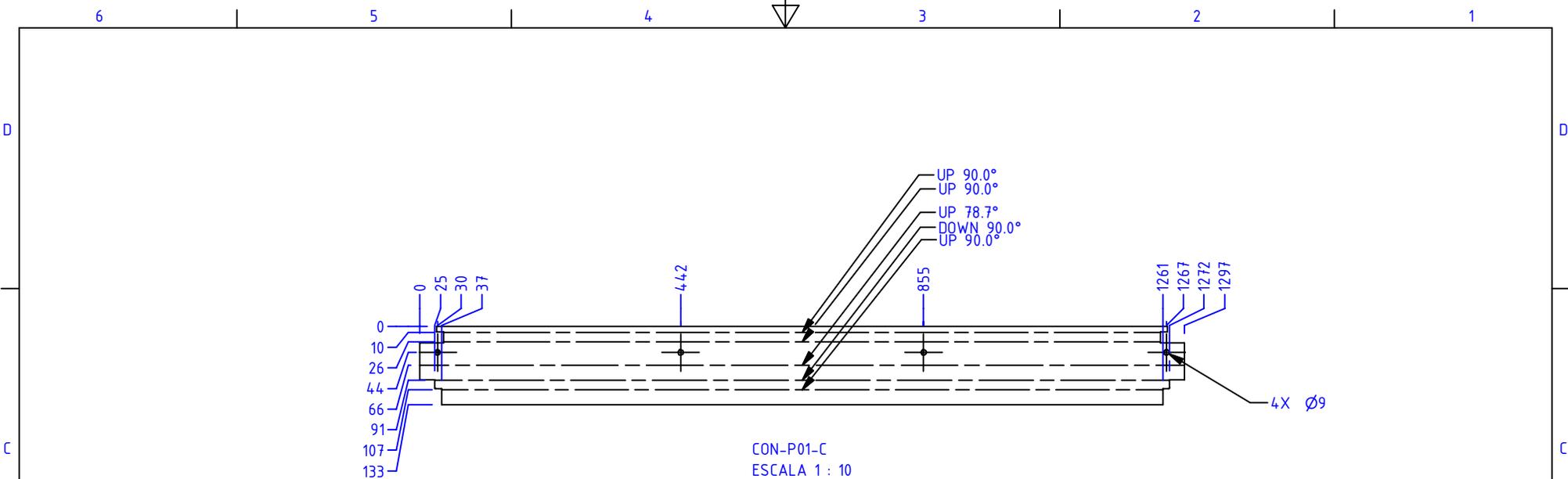
CON-P01-B  
ESCALA 1 : 10



VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015

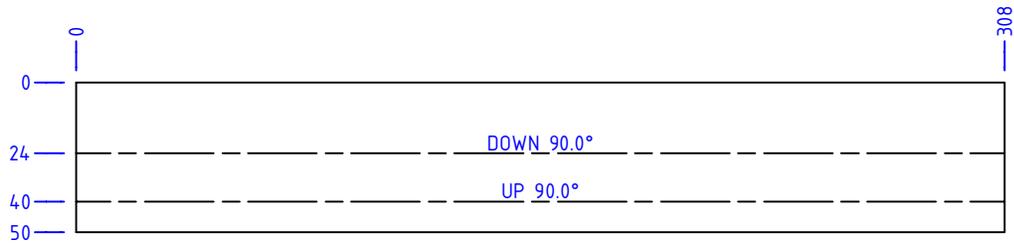
|   |                           |                      |  |                         |   |                   |
|---|---------------------------|----------------------|--|-------------------------|---|-------------------|
|  | DESCRIPCION:<br>CON-P01-B |                      | REFERENCIA:<br>TC-CONSOLA1800X1300X450 |                         | CLIENTE:<br>INGEDRIVE   | OP:<br>X          |
|   | DIBUJO:<br>JUAN SIERRA    |                      | REVISO:<br>ALEJANDRO LIZARAZO          |                         | APROBO:<br>JOHN SUSANA  | PLANO No:<br>9/30 |
|   | FECHA:<br>24/09/2020      | ESCALA:<br>VER PLANO | UNIDADES:<br>mm                        | DOCUMENTO<br>CONTROLADO | <small>ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELAS SAS. PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA AUTORIZACION DE TECNICELAS SAS.</small> |                   |

6 5 4 3 2 1

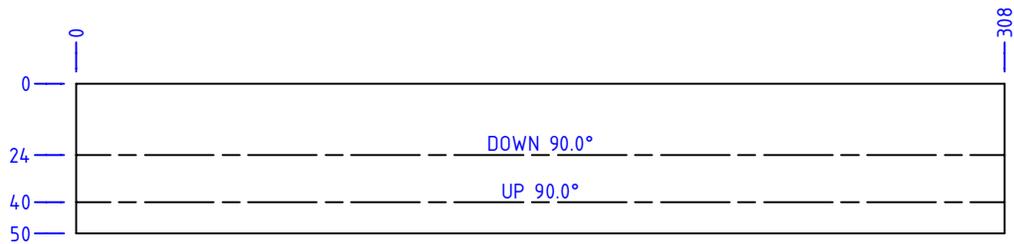


|   |                           |                      |  |                         |   |                    |
|---|---------------------------|----------------------|--|-------------------------|---|--------------------|
|  | DESCRIPCION:<br>CON-P01-C |                      | REFERENCIA:<br>TC-CONSOLA1800X1300X450 |                         | CLIENTE:<br>INGEDRIVE   | OP:<br>X           |
|   | DIBUJO:<br>JUAN SIERRA    |                      | REVISO:<br>ALEJANDRO LIZARAZO          |                         | APROBO:<br>JOHN SUSA  | PLANO No:<br>10/30 |
|   | FECHA:<br>24/09/2020      | ESCALA:<br>VER PLANO | UNIDADES:<br>mm                        | DOCUMENTO<br>CONTROLADO | <small>ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELDAS SAS.<br/>PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA<br/>PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA<br/>AUTORIZACION DE TECNICELDAS SAS.</small> |                    |

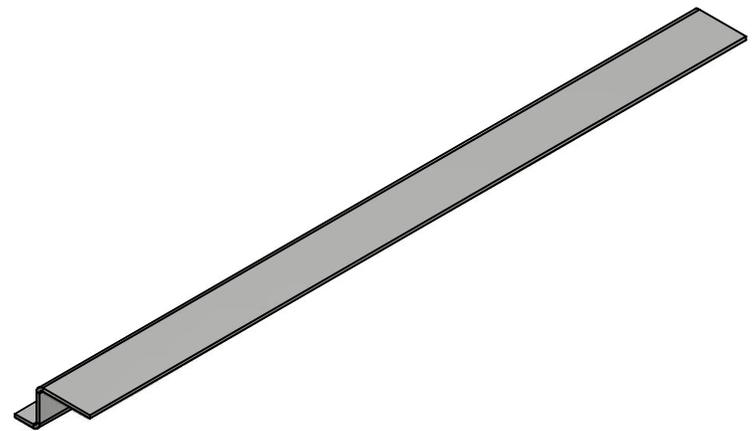
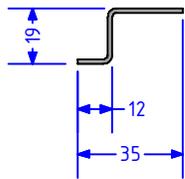
VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015



CON-P01-D  
ESCALA 1 : 2.5

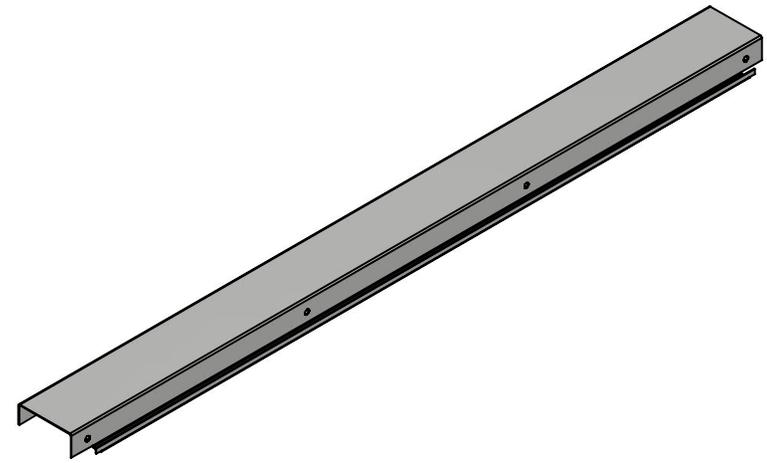
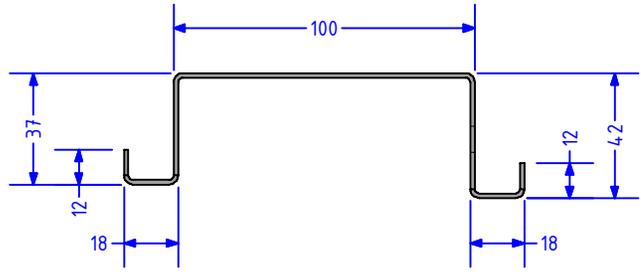
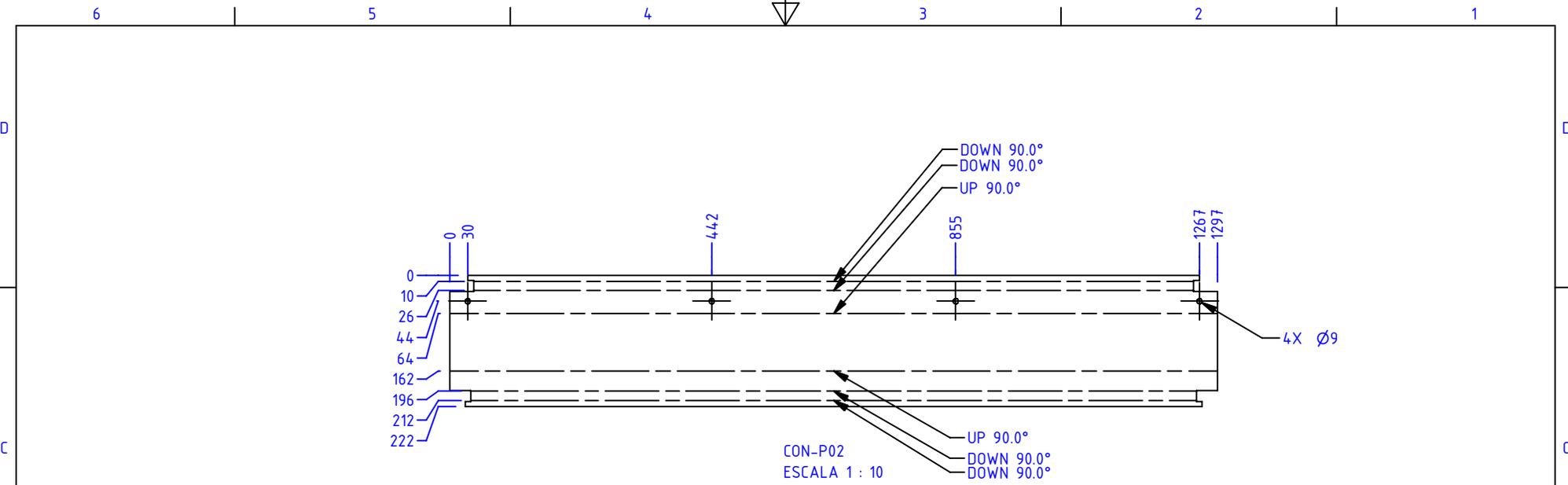


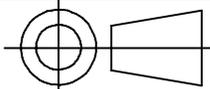
CON-P01-D-B  
ESCALA 1 : 2.5



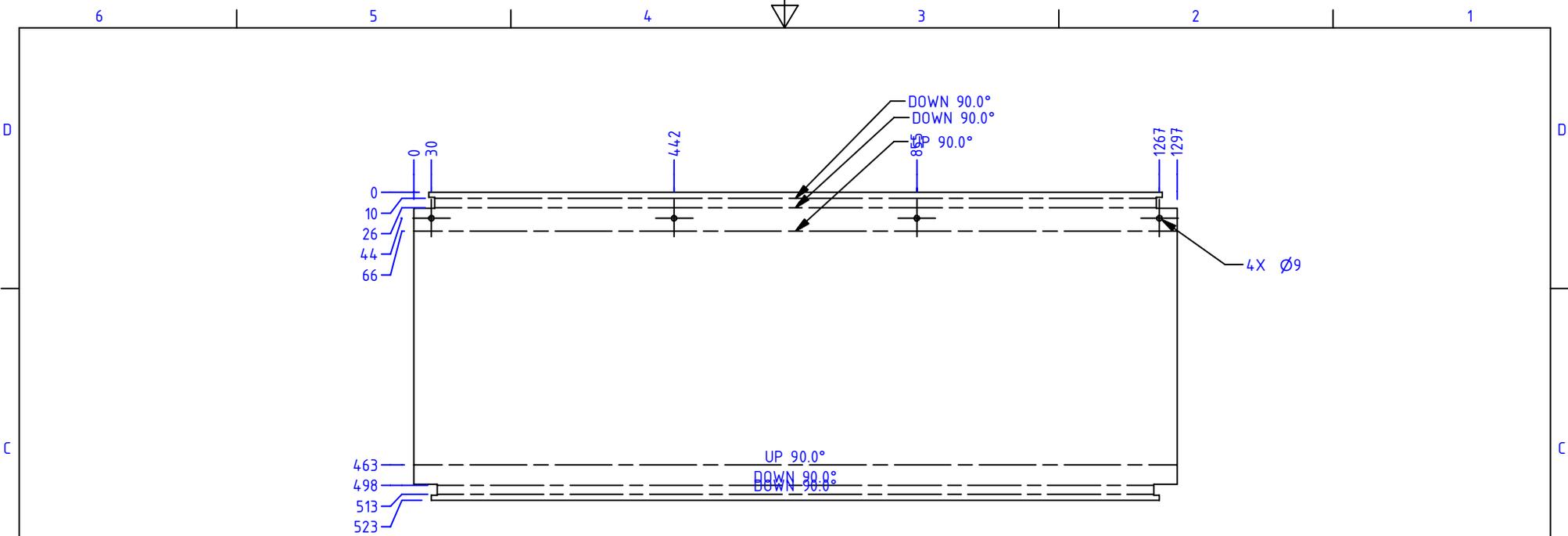
|   |                           |                      |  |                         |   |                    |
|---|---------------------------|----------------------|--|-------------------------|---|--------------------|
|  | DESCRIPCION:<br>CON-P01-D |                      | REFERENCIA:<br>TC-CONSOLA1800X1300X450 |                         | CLIENTE:<br>INGEDRIVE   | OP:<br>X           |
|   | DIBUJO:<br>JUAN SIERRA    |                      | REVISO:<br>ALEJANDRO LIZARAZO          |                         | APROBO:<br>JOHN SUSA  | PLANO No:<br>11/30 |
|   | FECHA:<br>24/09/2020      | ESCALA:<br>VER PLANO | UNIDADES:<br>mm                        | DOCUMENTO<br>CONTROLADO | <small>ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELDAS SAS.<br/>PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA<br/>PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA<br/>AUTORIZACION DE TECNICELDAS SAS.</small> |                    |

VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015

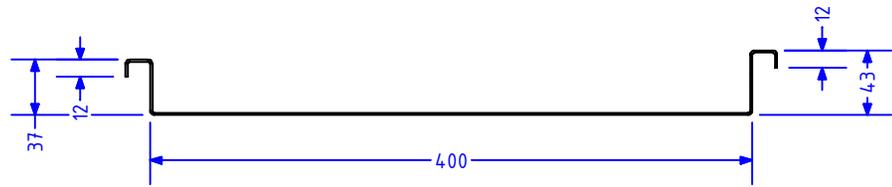
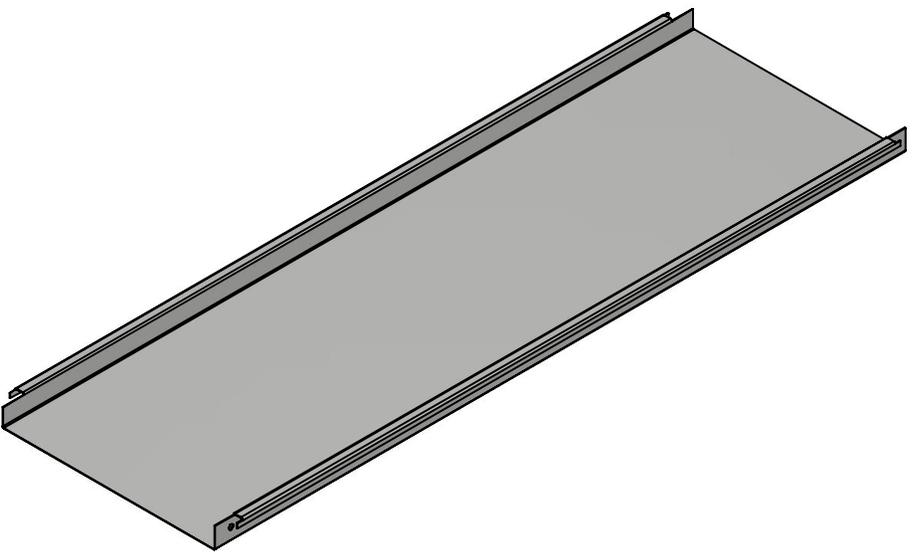


|  |                    |                         |                      |  |
|--|--------------------|-------------------------|----------------------|--|
|  | DESCRIPCION:       | REFERENCIA:             | CLIENTE:             | OP:  |
|  | CON-P02            | TC-CONSOLA1800X1300X450 | INGEDRIVE            | X  |
|  | DIBUJO:            | REVISO:                 | APROBO:              | PLANO No:  |
| JUAN SIERRA  | ALEJANDRO LIZARAZO | JOHN SUSA               | 12/30                |  |
| FECHA:   | ESCALA:            | UNIDADES:               | DOCUMENTO CONTROLADO | ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELAS SAS. PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA AUTORIZACION DE TECNICELAS SAS. |
| 24/09/2020   | VER PLANO          | mm                      |                      | VERSION: N/A   |

VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015

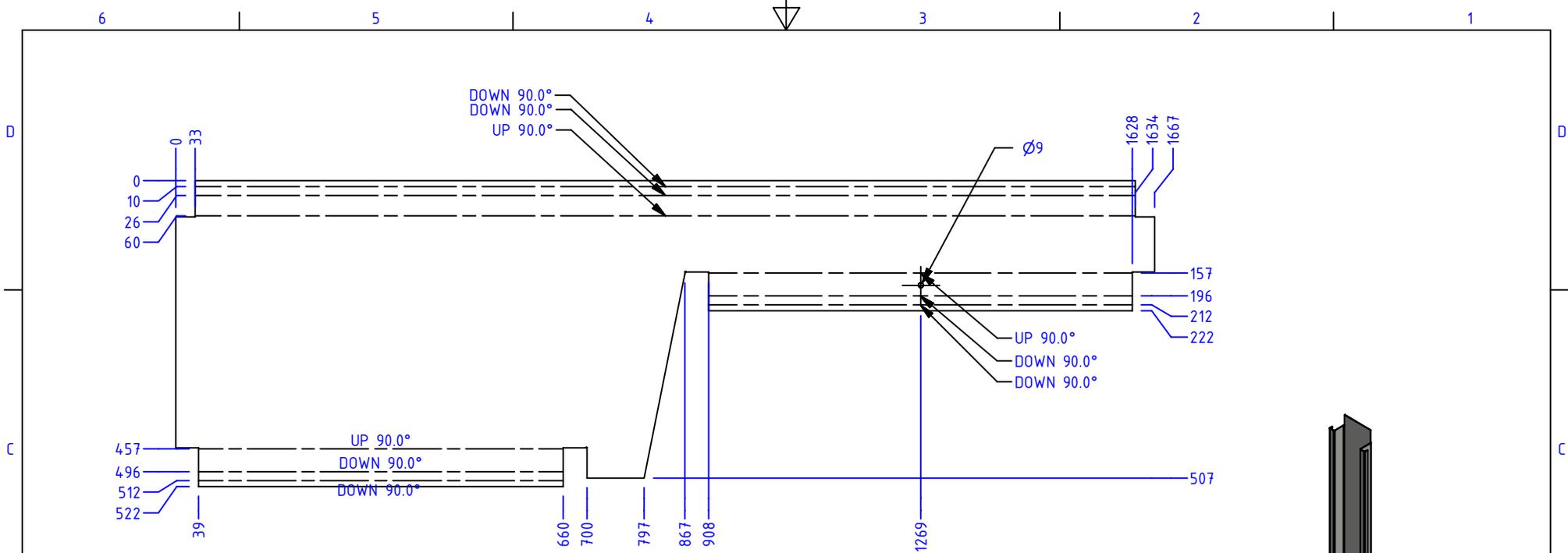


CON-P03  
ESCALA 1 : 10

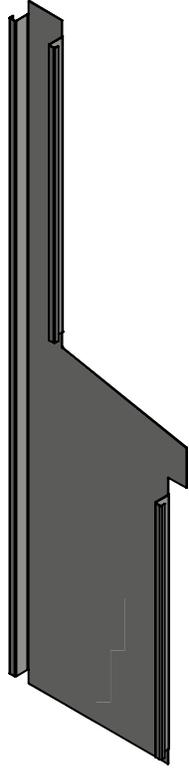
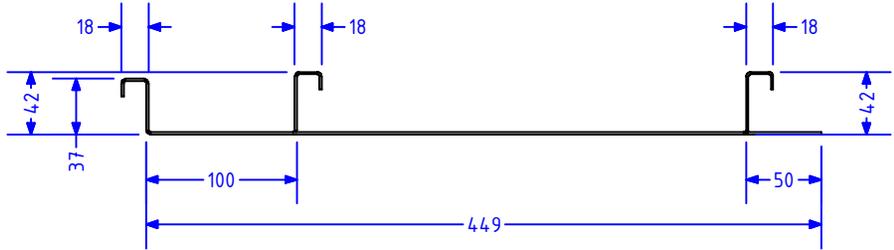


|                                |   |                                      |                               |   |
|--------------------------------|---|--------------------------------------|-------------------------------|---|
| DESCRIPCION:<br><b>CON-P03</b> | REFERENCIA:<br><b>TC-CONSOLA1800X1300X450</b> |                                      | CLIENTE:<br><b>INGEDRIVE</b>  | OP:<br><b>X</b>   |
|                                | DIBUJO:<br><b>JUAN SIERRA</b>                 | REVISO:<br><b>ALEJANDRO LIZARAZO</b> | APROBO:<br><b>JOHN SUSANA</b> | PLANO No:<br><b>13/30</b>   |
| FECHA:<br><b>24/09/2020</b>    | ESCALA:<br><b>VER PLANO</b>                   | UNIDADES:<br><b>mm</b>               | DOCUMENTO CONTROLADO          | ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELDAS SAS.<br>PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA<br>PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA<br>AUTORIZACION DE TECNICELDAS SAS. |
|                                |   |                                      |                               | VERSION:<br><b>N/A</b>  |

VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015



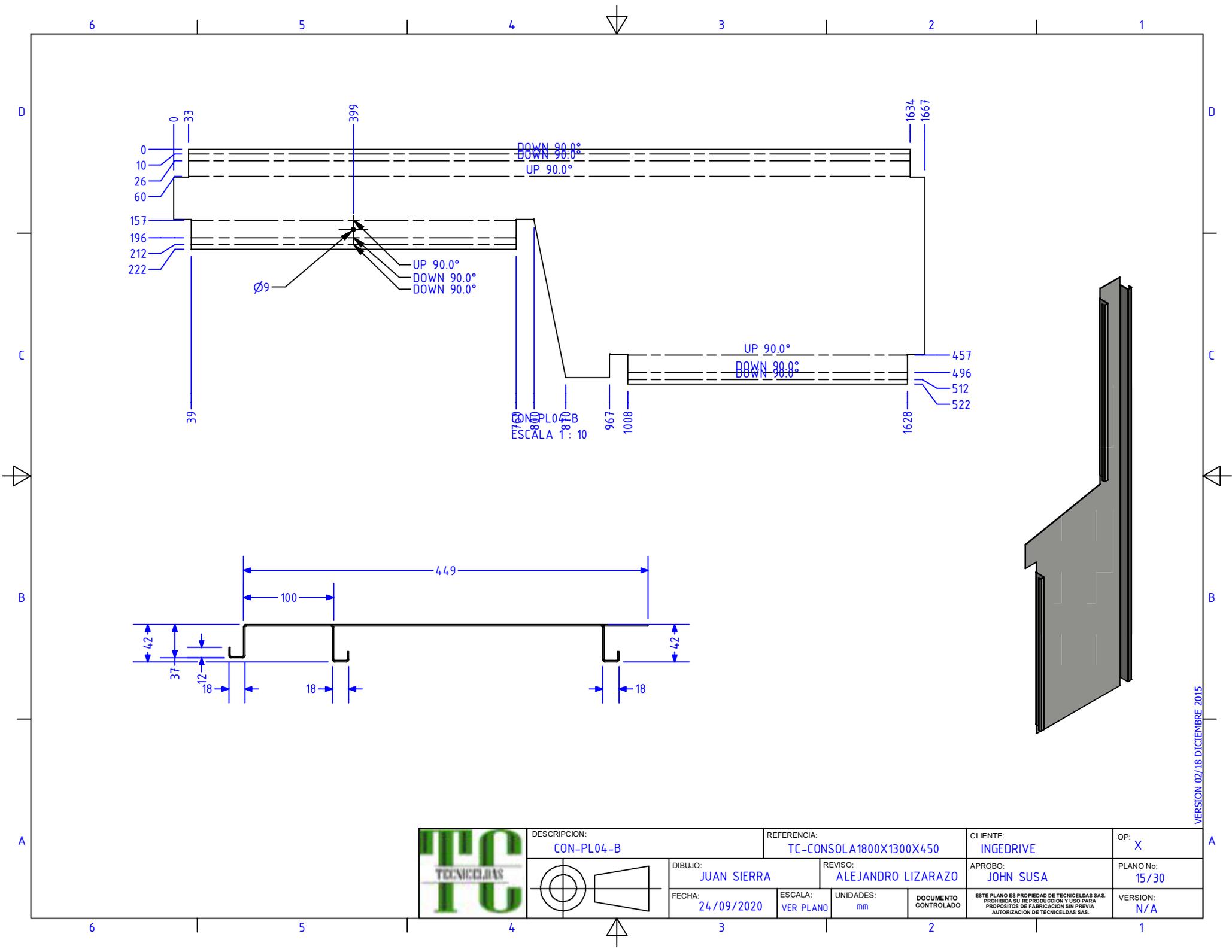
CON-PL04  
ESCALA 1 : 10



VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015

|   |                                 |  |   |                        |                              |   |
|---|---------------------------------|--|---|------------------------|------------------------------|---|
|  | DESCRIPCION:<br><b>CON-PL04</b> |  | REFERENCIA:<br><b>TC-CONSOLA1800X1300X450</b> |                        | CLIENTE:<br><b>INGEDRIVE</b> | OP:<br><b>X</b>   |
|   | DIBUJO:<br><b>JUAN SIERRA</b>   |  | REVISO:<br><b>ALEJANDRO LIZARAZO</b>          |                        | APROBO:<br><b>JOHN SUSA</b>  | PLANO No:<br><b>14/30</b>   |
|   | FECHA:<br><b>24/09/2020</b>     |  | ESCALA:<br><b>VER PLANO</b>                   | UNIDADES:<br><b>mm</b> | DOCUMENTO<br>CONTROLADO      | ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELDAS SAS.<br>PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA<br>PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA<br>AUTORIZACION DE TECNICELDAS SAS. |
|   |                                 |  |   |                        |                              | VERSION:<br><b>N/A</b>  |

A

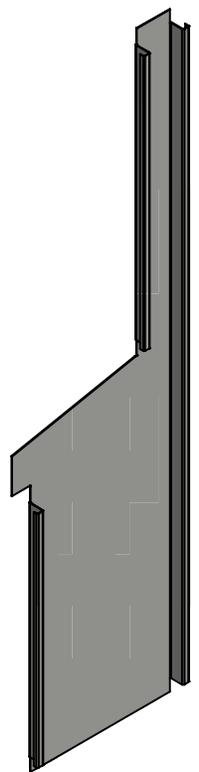
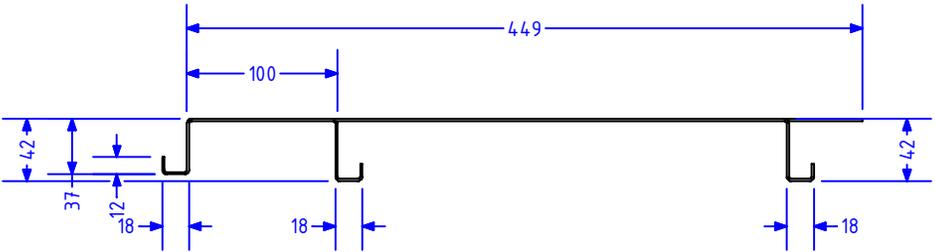


DOWN 90.0°  
DOWN 90.0°  
UP 90.0°

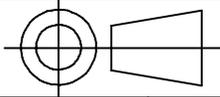
UP 90.0°  
DOWN 90.0°  
DOWN 90.0°

UP 90.0°  
DOWN 90.0°

CON-PL04-B  
ESCALA 1: 10



DESCRIPCION:  
CON-PL04-B



DIBUJO:  
JUAN SIERRA

FECHA:  
24/09/2020

REFERENCIA:  
TC-CONSOLA1800X1300X450

REVISO:  
ALEJANDRO LIZARAZO

ESCALA:  
VER PLANO

CLIENTE:  
INGEDRIVE

APROBO:  
JOHN SUSANA

UNIDADES:  
mm

DOCUMENTO  
CONTROLADO

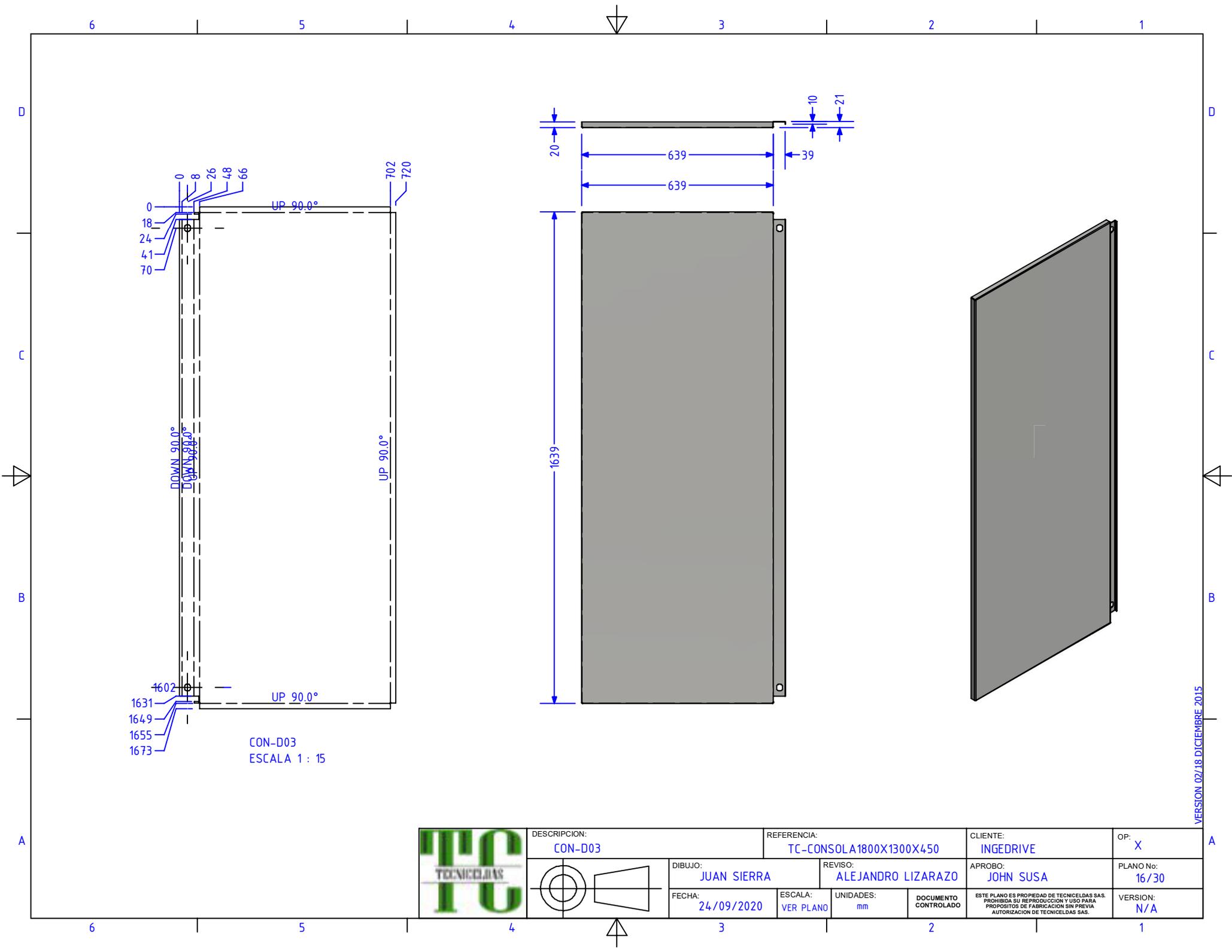
ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELAS S.A.S.  
PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA  
PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA  
AUTORIZACION DE TECNICELAS S.A.S.

OP:  
X

PLANO No:  
15/30

VERSION:  
N/A

VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015

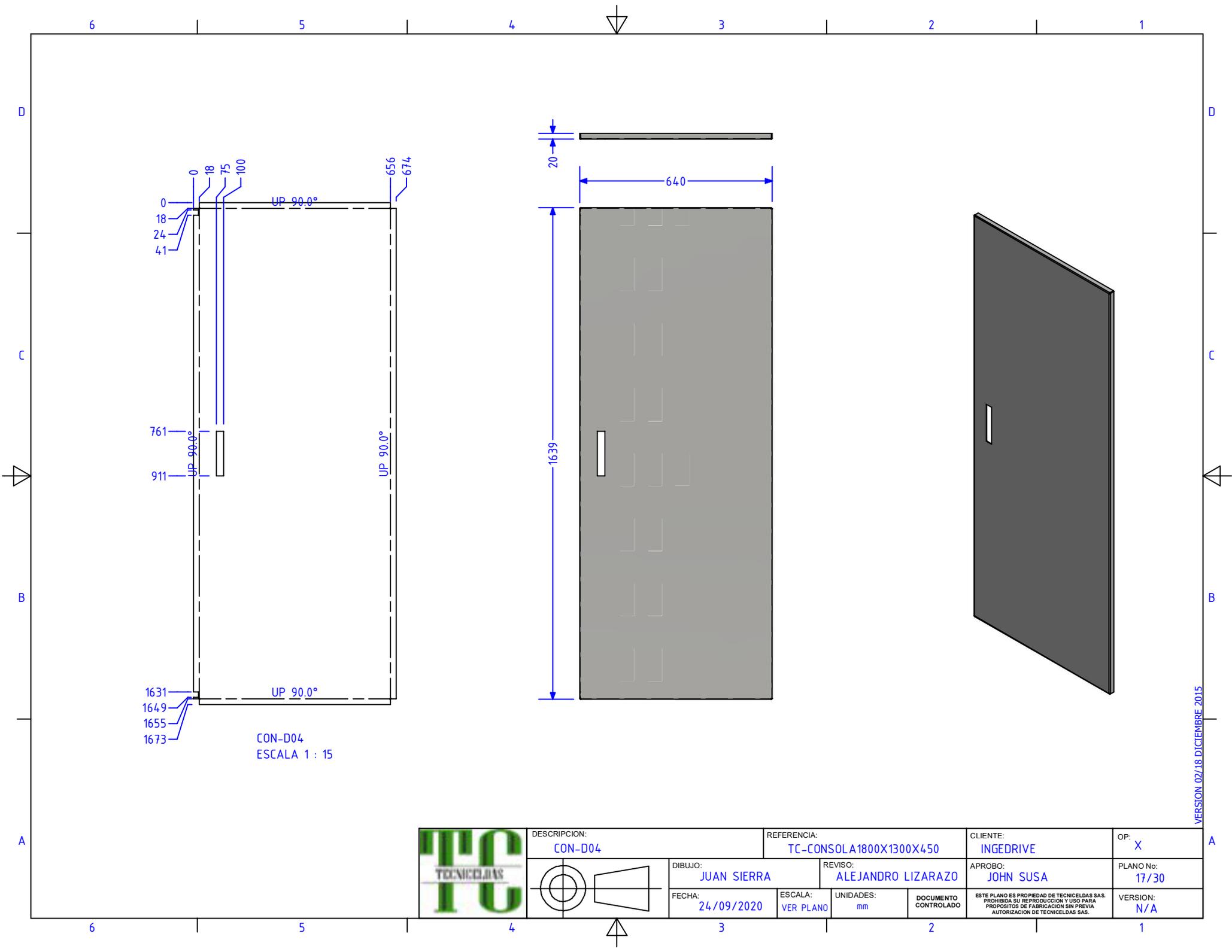


CON-D03  
ESCALA 1 : 15



|                                |   |                                      |                              |   |
|--------------------------------|---|--------------------------------------|------------------------------|---|
| DESCRIPCION:<br><b>CON-D03</b> | REFERENCIA:<br><b>TC-CONSOLA1800X1300X450</b> |                                      | CLIENTE:<br><b>INGEDRIVE</b> | OP:<br><b>X</b>   |
|                                | DIBUJO:<br><b>JUAN SIERRA</b>                 | REVISO:<br><b>ALEJANDRO LIZARAZO</b> | APROBO:<br><b>JOHN SUSA</b>  | PLANO No:<br><b>16/30</b>   |
| FECHA:<br><b>24/09/2020</b>    | ESCALA:<br><b>VER PLANO</b>                   | UNIDADES:<br><b>mm</b>               | DOCUMENTO CONTROLADO         | ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELDAS SAS.<br>PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA<br>PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA<br>AUTORIZACION DE TECNICELDAS SAS. |
|                                |   |                                      |                              | VERSION:<br><b>N/A</b>  |

VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015

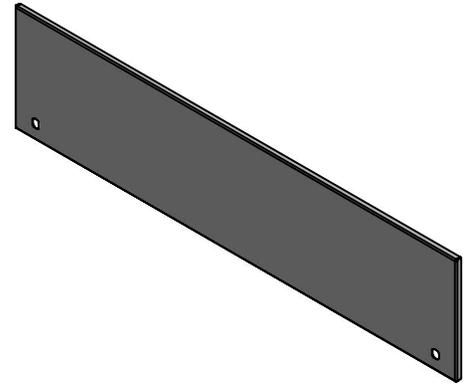
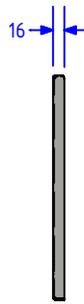
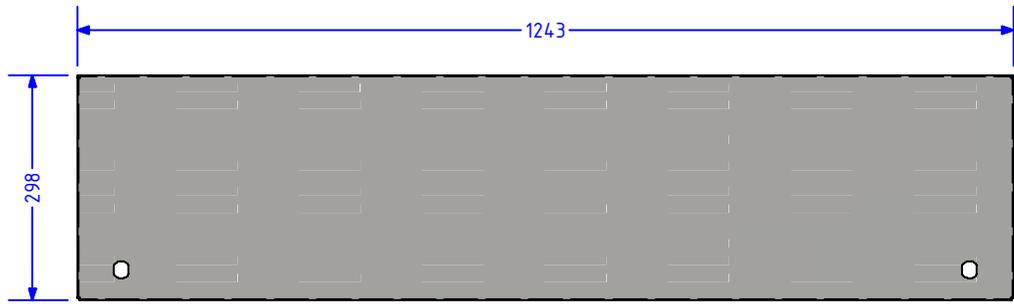
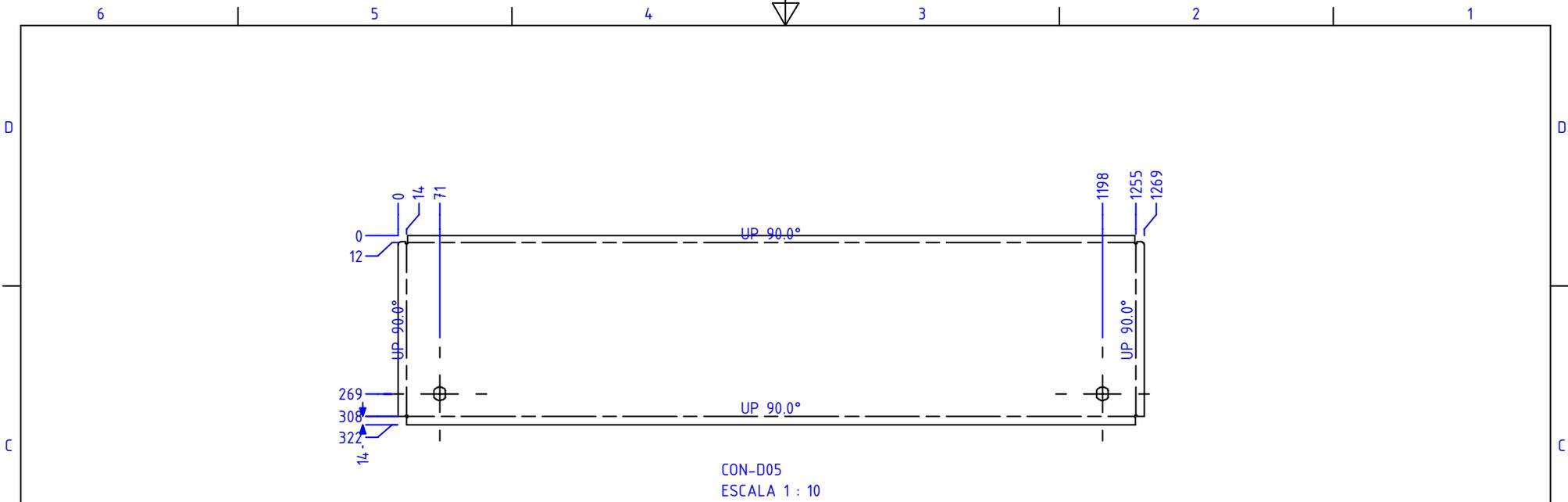


CON-D04  
ESCALA 1 : 15



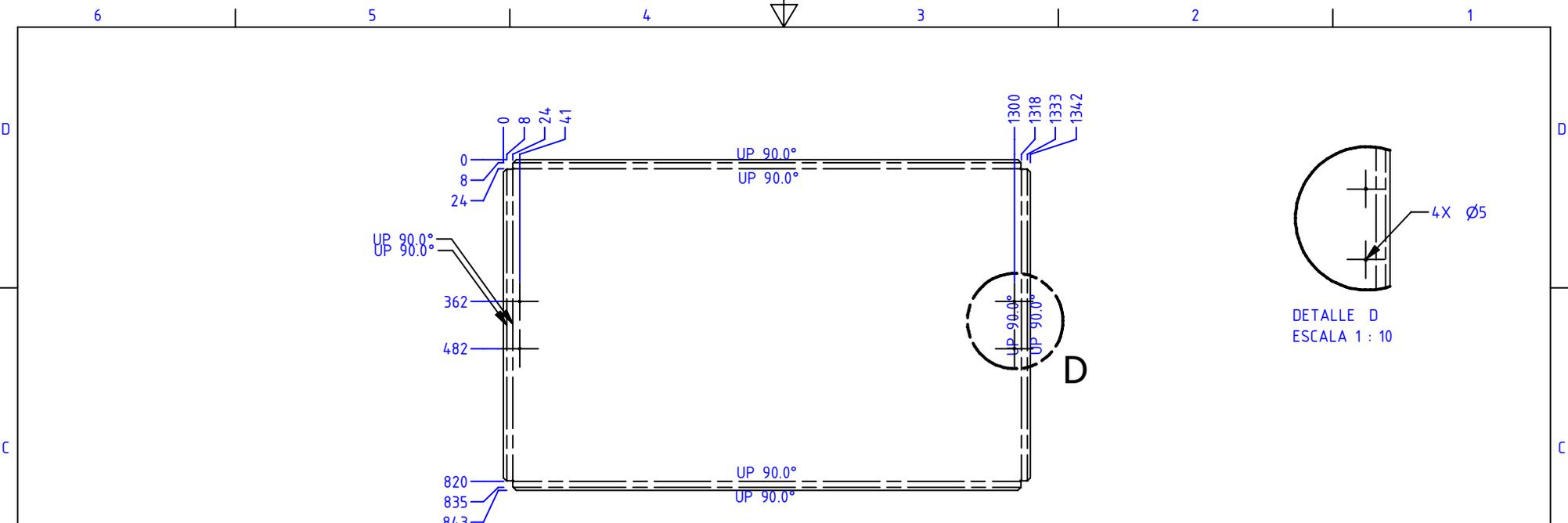
|   |                        |                               |                         |                    |
|---|------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------|
|   | DESCRIPCION:           | REFERENCIA:                   | CLIENTE:                | OP:                |
|   | CON-D04                | TC-CONSOLA1800X1300X450       | INGEDRIVE               | X                  |
|   | DIBUJO:<br>JUAN SIERRA | REVISO:<br>ALEJANDRO LIZARAZO | APROBO:<br>JOHN SUSAS   | PLANO No:<br>17/30 |
| FECHA:<br>24/09/2020  | ESCALA:<br>VER PLANO   | UNIDADES:<br>mm               | DOCUMENTO<br>CONTROLADO | VERSION:<br>N/A    |
| <small>ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELDAS SAS.<br/>PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA<br/>PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA<br/>AUTORIZACION DE TECNICELDAS SAS.</small> |                        |                               |                         |                    |

VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015

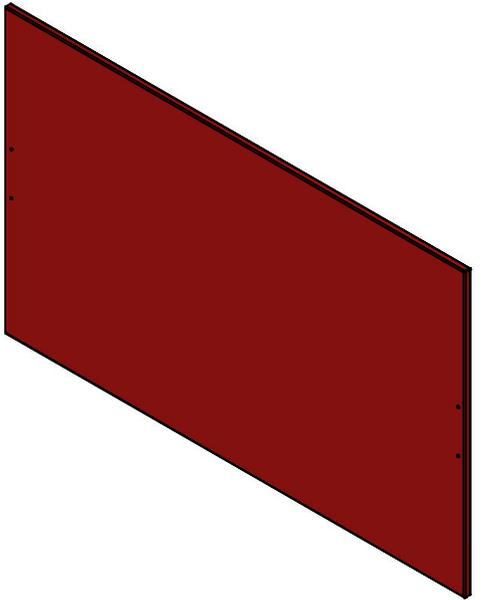
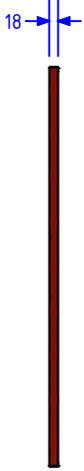


|   |   |                              |                           |
|---|---|------------------------------|---------------------------|
| DESCRIPCION:<br><b>CON-D05</b>  | REFERENCIA:<br><b>TC-CONSOLA1800X1300X450</b> | CLIENTE:<br><b>INGEDRIVE</b> | OP:<br><b>X</b>           |
| DIBUJO:<br><b>JUAN SIERRA</b>   | REVISO:<br><b>ALEJANDRO LIZARAZO</b>          | APROBO:<br><b>JOHN SUSA</b>  | PLANO No:<br><b>18/30</b> |
| FECHA:<br><b>24/09/2020</b>   | ESCALA:<br><b>VER PLANO</b>                   | UNIDADES:<br><b>mm</b>       | DOCUMENTO CONTROLADO      |
| <small>ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELDAS S.A.S. PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA AUTORIZACION DE TECNICELDAS S.A.S.</small> |   |                              | VERSION:<br><b>N/A</b>    |

VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015



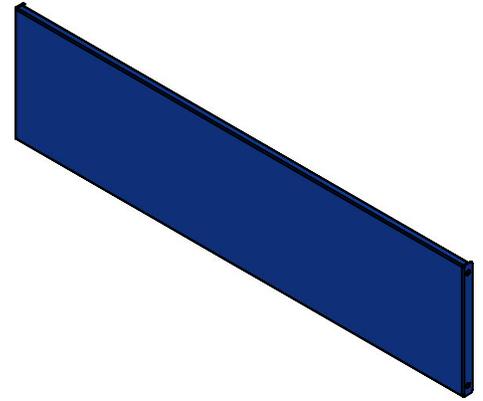
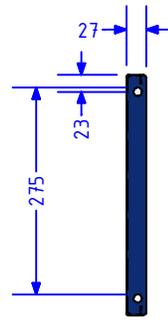
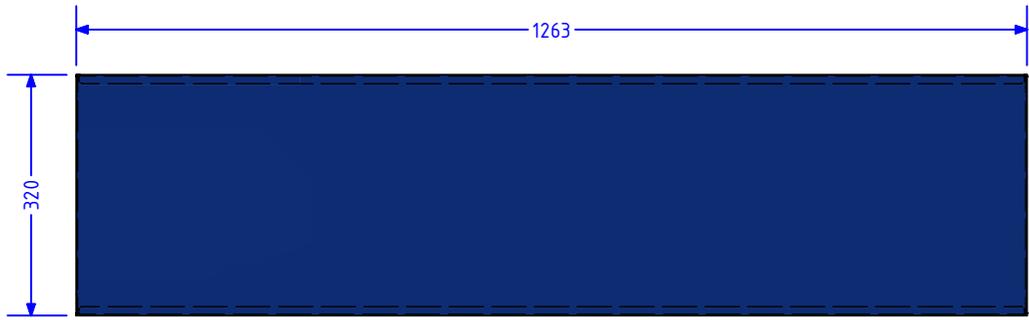
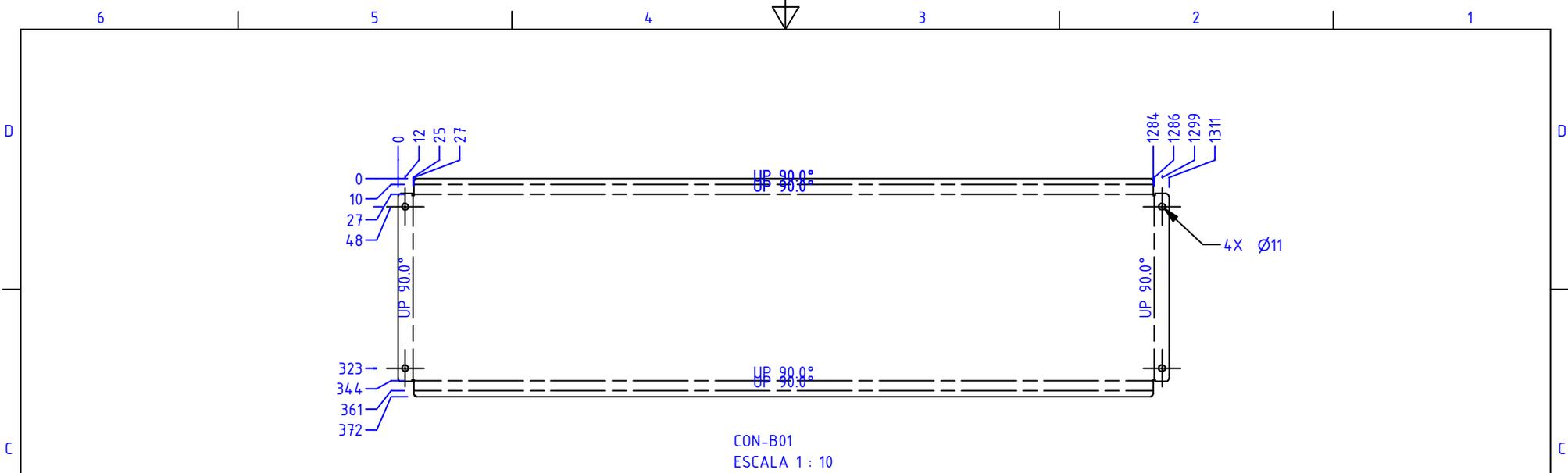
CON-PF01  
ESCALA 1 : 15

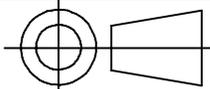


VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015

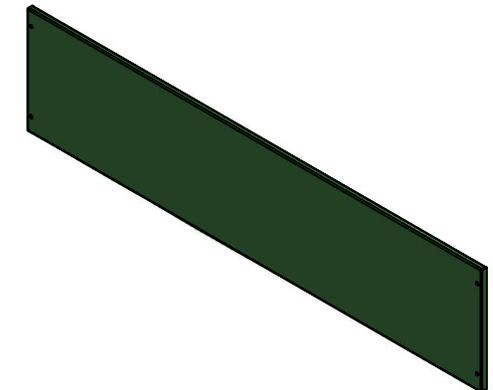
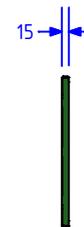
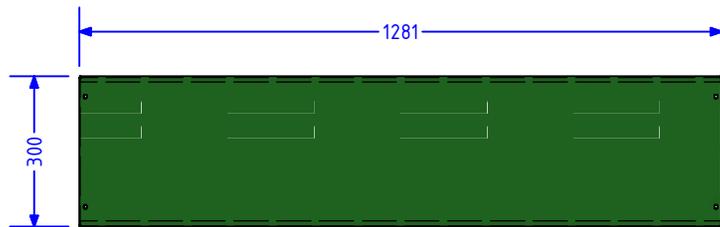
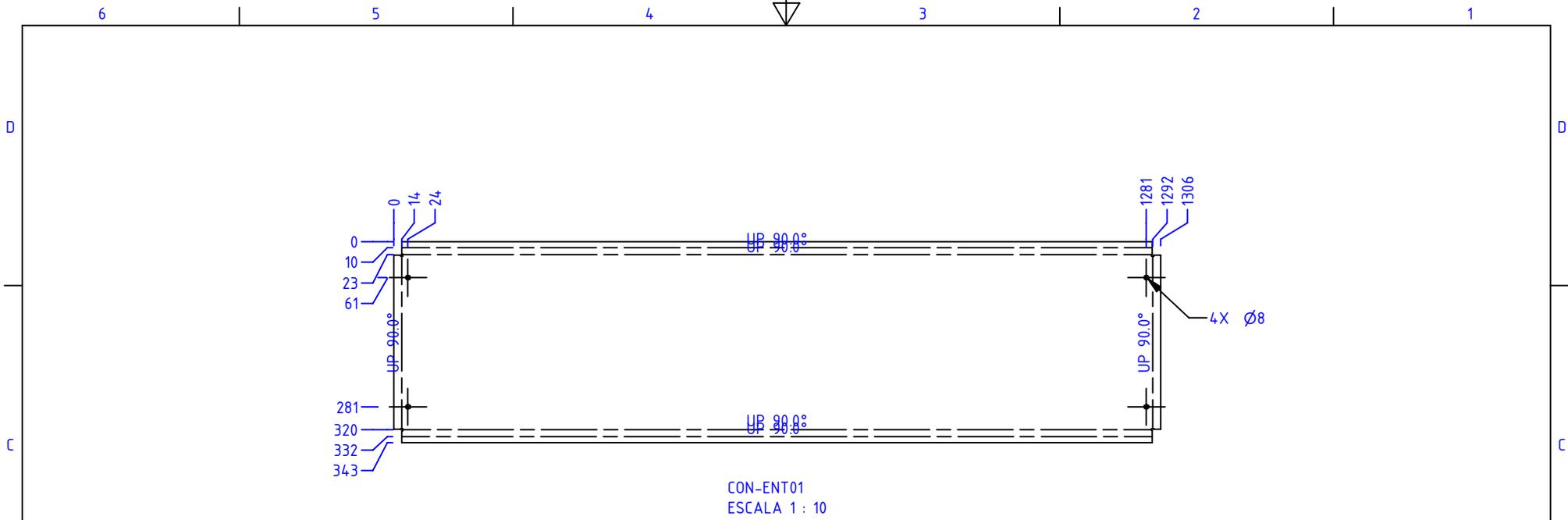
|  |                                 |                             |   |                         |   |                           |
|--|---------------------------------|-----------------------------|---|-------------------------|---|---------------------------|
|  | DESCRIPCION:<br><b>CON-PF01</b> |                             | REFERENCIA:<br><b>TC-CONSOLA1800X1300X450</b> |                         | CLIENTE:<br><b>INGEDRIVE</b>  | OP:<br><b>X</b>           |
|  | DIBUJO:<br><b>JUAN SIERRA</b>   |                             | REVISO:<br><b>ALEJANDRO LIZARAZO</b>          |                         | APROBO:<br><b>JOHN SUSANA</b>   | PLANO No:<br><b>19/30</b> |
|  | FECHA:<br><b>24/09/2020</b>     | ESCALA:<br><b>VER PLANO</b> | UNIDADES:<br><b>mm</b>                        | DOCUMENTO<br>CONTROLADO | ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELDAS S.A.S.<br>PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA<br>PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA<br>AUTORIZACION DE TECNICELDAS S.A.S. |                           |





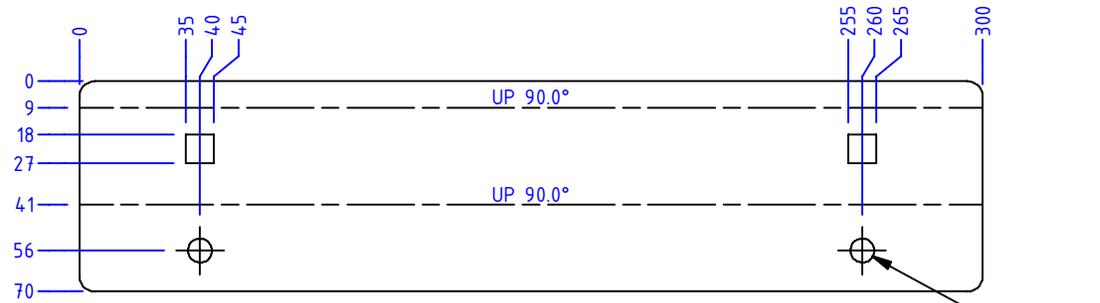
|   |  |                         |             |                      |  |
|---|--|-------------------------|-------------|----------------------|--|
|  | DESCRIPCION:   | REFERENCIA:             | CLIENTE:    | OP:                  |  |
|   | CON-B01  | TC-CONSOLA1800X1300X450 | INGEDRIVE   | X                    |  |
|   |  | DIBUJO:                 | REVISO:     | APROBO:              | PLANO No:  |
|   | JUAN SIERRA  | ALEJANDRO LIZARAZO      | JOHN SUSANA | 21/30                |  |
|   | FECHA:   | ESCALA:                 | UNIDADES:   | DOCUMENTO CONTROLADO | ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELAS SAS. PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA AUTORIZACION DE TECNICELAS SAS. |
|   | 24/09/2020   | VER PLANO               | mm          | CONTROLADO           | VERSION: N/A   |

VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015

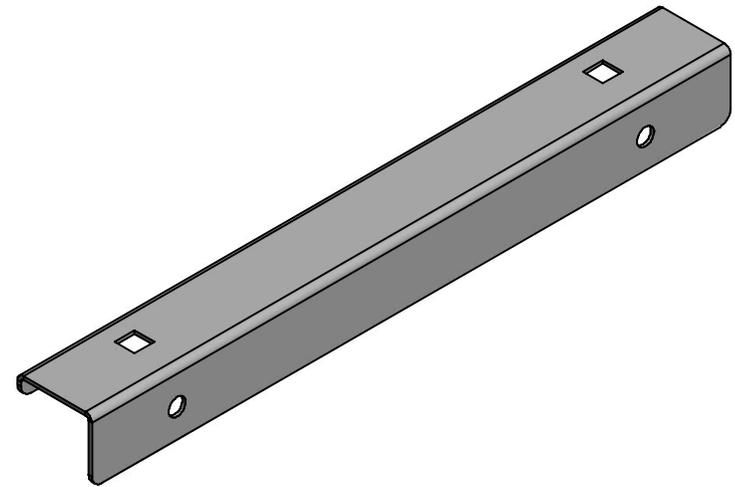
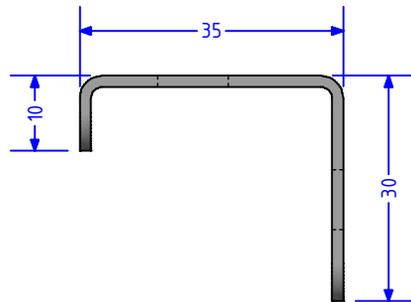


|   |                           |                      |  |                         |   |                    |
|---|---------------------------|----------------------|--|-------------------------|---|--------------------|
|  | DESCRIPCION:<br>CON-ENT01 |                      | REFERENCIA:<br>TC-CONSOLA1800X1300X450 |                         | CLIENTE:<br>INGEDRIVE   | OP:<br>X           |
|   | DIBUJO:<br>JUAN SIERRA    |                      | REVISO:<br>ALEJANDRO LIZARAZO          |                         | APROBO:<br>JOHN SUSANA  | PLANO No:<br>22/30 |
|   | FECHA:<br>24/09/2020      | ESCALA:<br>VER PLANO | UNIDADES:<br>mm                        | DOCUMENTO<br>CONTROLADO | <small>ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELAS SAS.<br/>PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA<br/>PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA<br/>AUTORIZACION DE TECNICELAS SAS.</small> |                    |

VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015

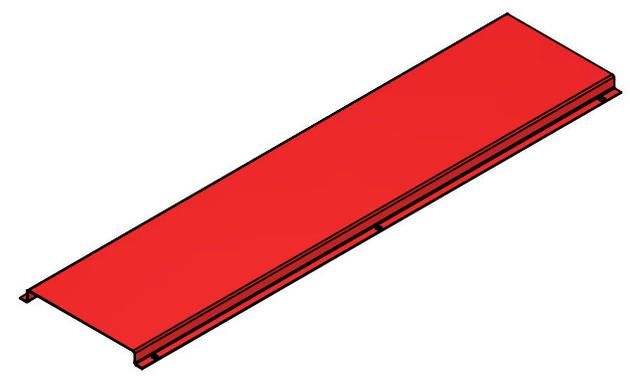
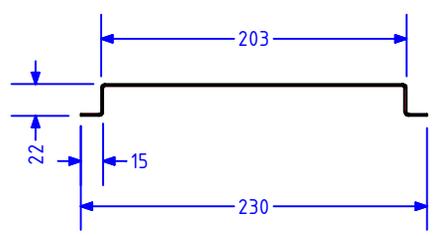
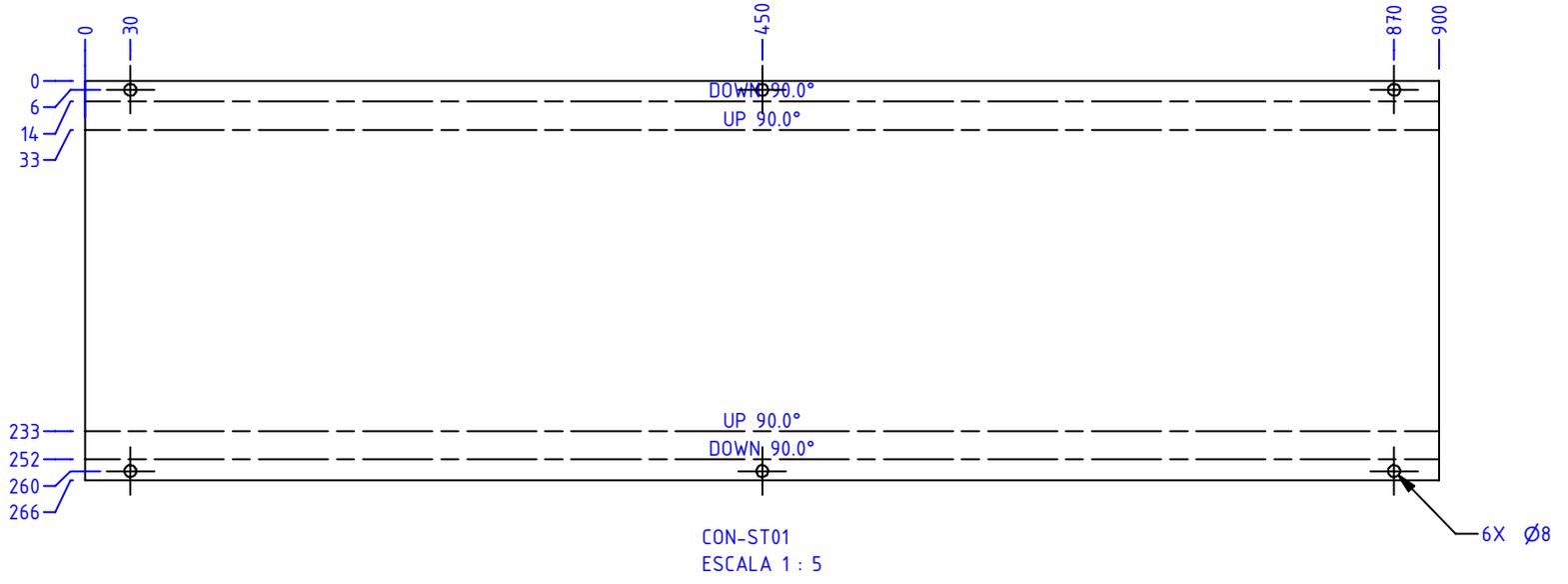


CON-PEN01  
 ESCALA 1 : 2.5



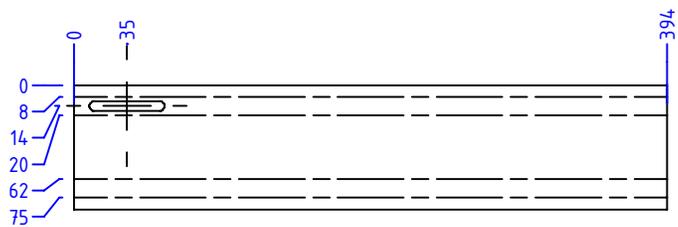
|   |                           |                      |  |                         |  |                    |
|---|---------------------------|----------------------|--|-------------------------|--|--------------------|
|  | DESCRIPCION:<br>CON-PEN01 |                      | REFERENCIA:<br>TC-CONSOLA1800X1300X450 |                         | CLIENTE:<br>INGEDRIVE  | OP:<br>X           |
|   | DIBUJO:<br>JUAN SIERRA    |                      | REVISO:<br>ALEJANDRO LIZARAZO          |                         | APROBO:<br>JOHN SUSANA   | PLANO No:<br>23/30 |
|   | FECHA:<br>24/09/2020      | ESCALA:<br>VER PLANO | UNIDADES:<br>mm                        | DOCUMENTO<br>CONTROLADO | <small>ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELDAS SAS.<br/>         PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA<br/>         PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA<br/>         AUTORIZACION DE TECNICELDAS SAS.</small> |                    |

VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015

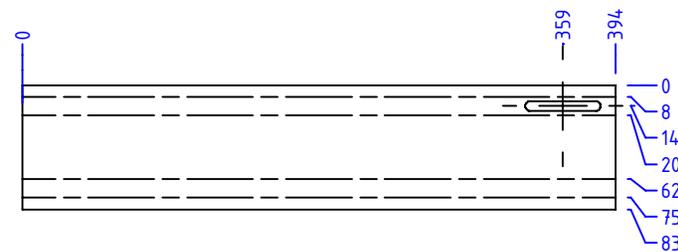


|   |                          |                      |  |                         |   |                    |
|---|--------------------------|----------------------|--|-------------------------|---|--------------------|
|  | DESCRIPCION:<br>CON-ST01 |                      | REFERENCIA:<br>TC-CONSOLA1800X1300X450 |                         | CLIENTE:<br>INGEDRIVE   | OP:<br>X           |
|   | DIBUJO:<br>JUAN SIERRA   |                      | REVISO:<br>ALEJANDRO LIZARAZO          |                         | APROBO:<br>JOHN SUSA  | PLANO No:<br>24/30 |
|   | FECHA:<br>24/09/2020     | ESCALA:<br>VER PLANO | UNIDADES:<br>mm                        | DOCUMENTO<br>CONTROLADO | <small>ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELAS S.A.S.<br/>PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA<br/>PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA<br/>AUTORIZACION DE TECNICELAS S.A.S.</small> |                    |

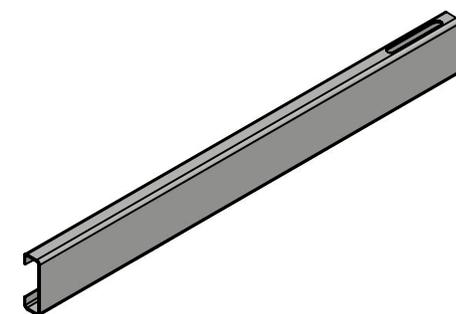
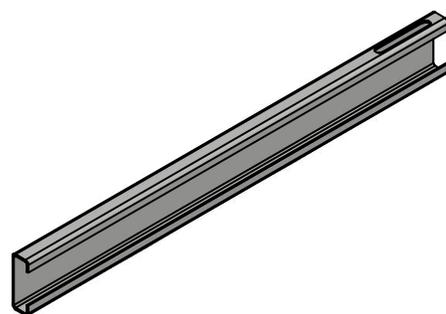
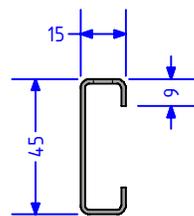
VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015



CON-R01  
ESCALA 1 : 5

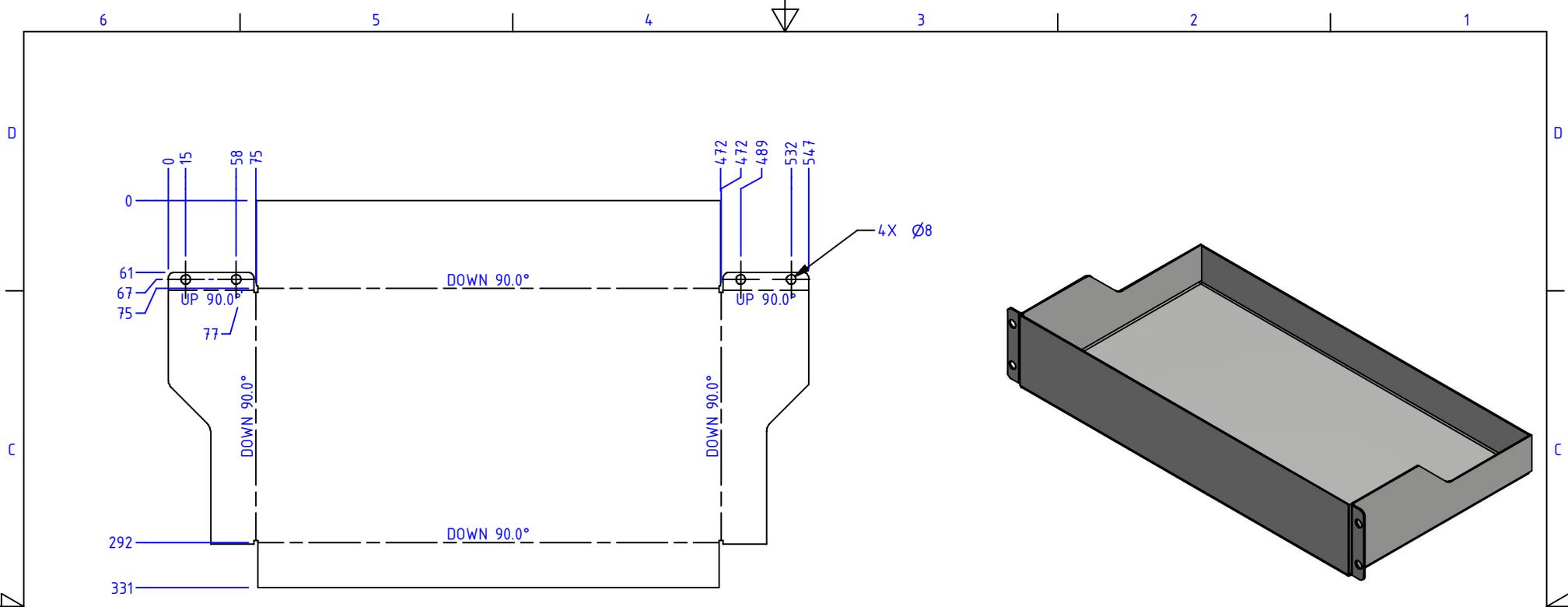


CON-R01-B  
ESCALA 1 : 5

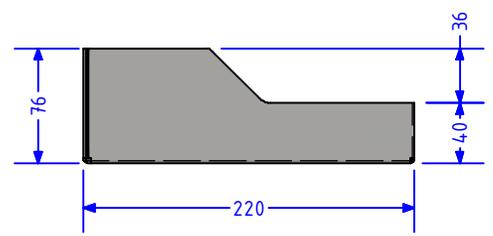
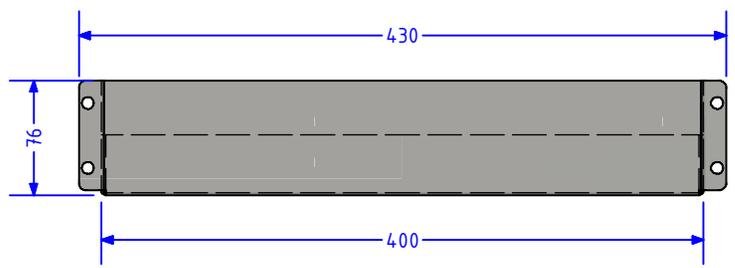


|   |                                |                             |   |                         |   |                           |
|---|--------------------------------|-----------------------------|---|-------------------------|---|---------------------------|
|  | DESCRIPCION:<br><b>CON-R01</b> |                             | REFERENCIA:<br><b>TC-CONSOLA1800X1300X450</b> |                         | CLIENTE:<br><b>INGEDRIVE</b>  | OP:<br><b>X</b>           |
|   | DIBUJO:<br><b>JUAN SIERRA</b>  |                             | REVISO:<br><b>ALEJANDRO LIZARAZO</b>          |                         | APROBO:<br><b>JOHN SUSA</b>   | PLANO No:<br><b>25/30</b> |
|   | FECHA:<br><b>24/09/2020</b>    | ESCALA:<br><b>VER PLANO</b> | UNIDADES:<br><b>mm</b>                        | DOCUMENTO<br>CONTROLADO | <small>ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELDAS SAS.<br/>PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA<br/>PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA<br/>AUTORIZACION DE TECNICELDAS SAS.</small> |                           |

VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015

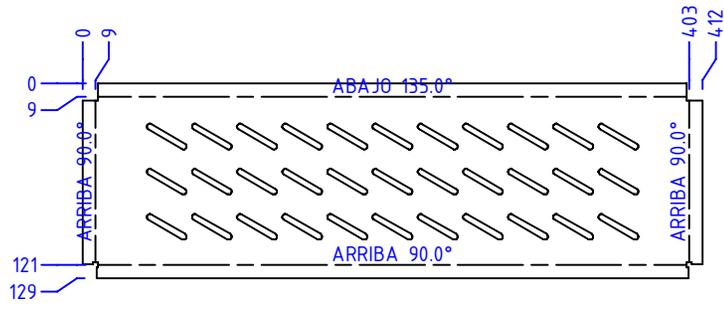


CON-CH01  
ESCALA 1 : 5

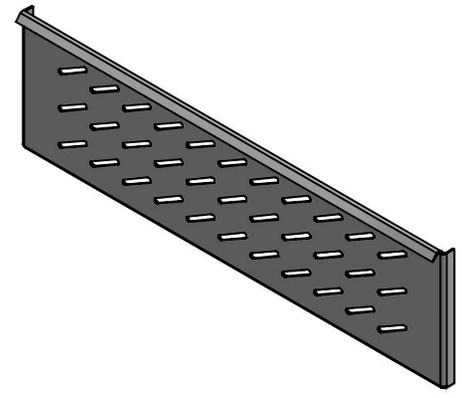
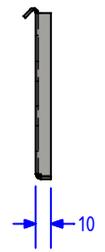
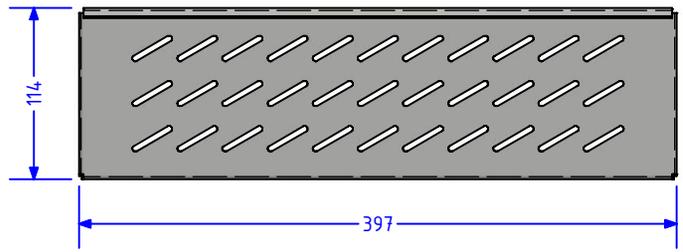


|   |                          |                      |  |                         |   |                    |
|---|--------------------------|----------------------|--|-------------------------|---|--------------------|
|  | DESCRIPCION:<br>CON-CH01 |                      | REFERENCIA:<br>TC-CONSOLA1800X1300X450 |                         | CLIENTE:<br>INGEDRIVE   | OP:<br>X           |
|   | DIBUJO:<br>JUAN SIERRA   |                      | REVISO:<br>ALEJANDRO LIZARAZO          |                         | APROBO:<br>JOHN SUSANA  | PLANO No:<br>26/30 |
|   | FECHA:<br>24/09/2020     | ESCALA:<br>VER PLANO | UNIDADES:<br>mm                        | DOCUMENTO<br>CONTROLADO | <small>ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELDAS SAS.<br/>PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA<br/>PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA<br/>AUTORIZACION DE TECNICELDAS SAS.</small> |                    |

VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015

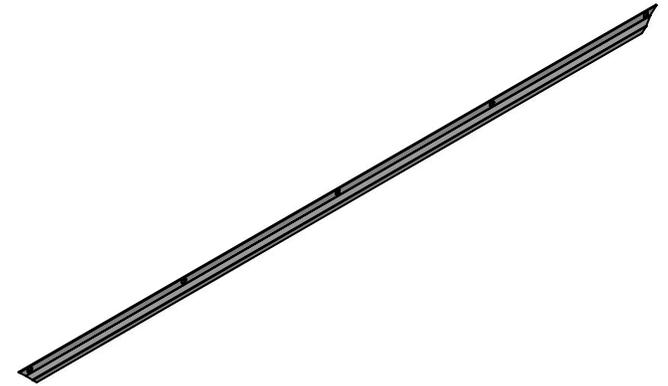
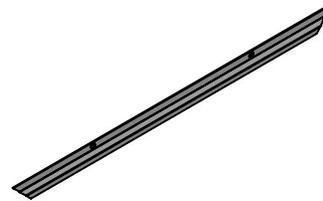
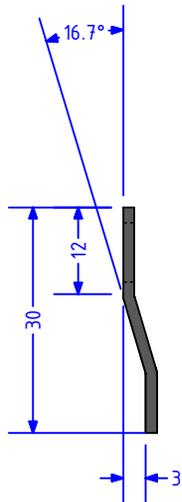
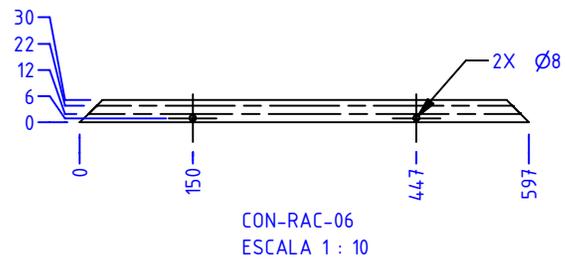
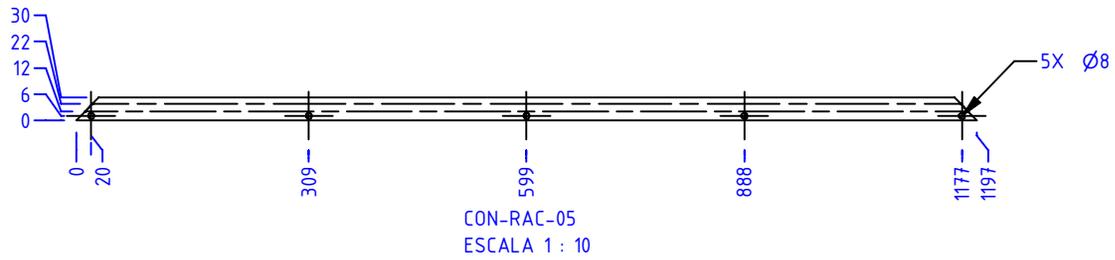


CON-DCH01  
ESCALA 1 : 5



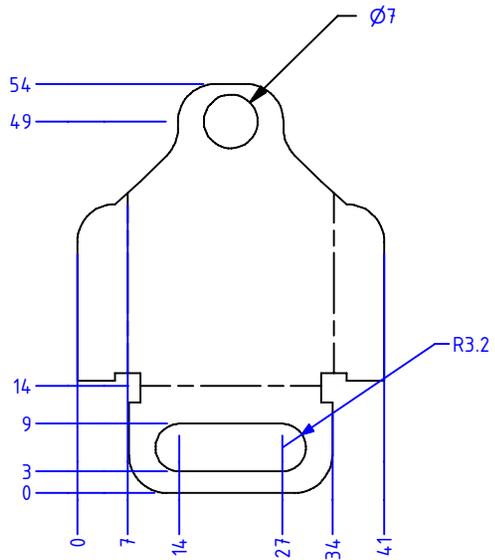
|             |                    |                         |                      |  |
|-------------|--------------------|-------------------------|----------------------|--|
|             | DESCRIPCION:       | REFERENCIA:             | CLIENTE:             | OP:  |
|             | CON-DCH01          | TC-CONSOLA1800X1300X450 | INGEDRIVE            | X  |
|             | DIBUJO:            | REVISO:                 | APROBO:              | PLANO No:  |
| JUAN SIERRA | ALEJANDRO LIZARAZO | JOHN SUSA               | 27/30                |  |
| FECHA:      | ESCALA:            | UNIDADES:               | DOCUMENTO CONTROLADO | ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELDAS SAS. PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA AUTORIZACION DE TECNICELDAS SAS. |
| 24/09/2020  | VER PLANO          | mm                      |                      | VERSION: N/A   |

VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015

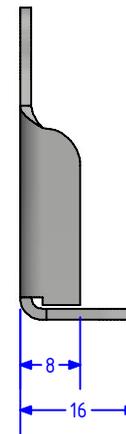
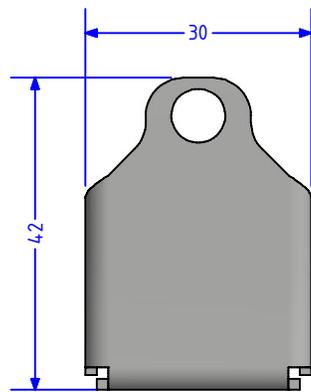
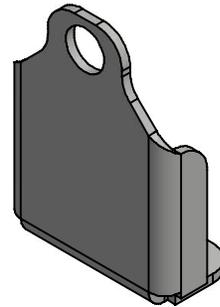


|   |                            |                      |   |                         |   |                    |
|---|----------------------------|----------------------|---|-------------------------|---|--------------------|
|  | DESCRIPCION:<br>CON-RAC-05 |                      | REFERENCIA:<br>TC.CONSOLE-1800X1300X450 |                         | CLIENTE:<br>INGEDRIVE   | OP:<br>X           |
|   | DIBUJO:<br>JUAN SIERRA     |                      | REVISO:<br>ALEJANDRO LIZARAZO           |                         | APROBO:<br>JOHN SUSAS   | PLANO No:<br>28/30 |
|   | FECHA:<br>24/09/2020       | ESCALA:<br>VER PLANO | UNIDADES:<br>mm                         | DOCUMENTO<br>CONTROLADO | <small>ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELDAS SAS.<br/>PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA<br/>PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA<br/>AUTORIZACION DE TECNICELDAS SAS.</small> |                    |
|   |                            |                      |   | VERSION:<br>N/A         |   |                    |

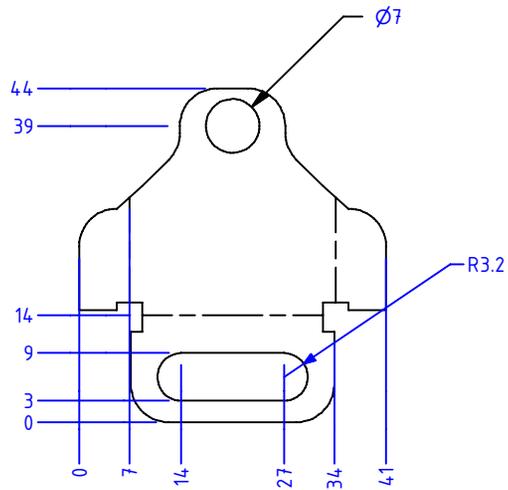
VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015



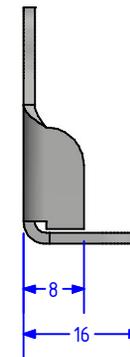
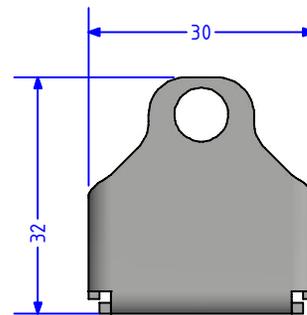
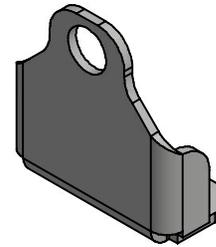
TOPE PUERTA-c-02  
ESCALA 1 : 1



|   |                  |                          |             |  |
|---|------------------|--------------------------|-------------|--|
|  | DESCRIPCION:     | REFERENCIA:              | CLIENTE:    | OP:  |
|   | TOPE PUERTA-c-02 | TC.CONSOLA-1800X1300X450 | INGEDRIVE   | X  |
|   | DIBUJO:          | REVISO:                  | APROBO:     | PLANO No:  |
|   | JUAN SIERRA      | ALEJANDRO LIZARAZO       | JOHN SUSANA | 29/30  |
|   | FECHA:           | ESCALA:                  | UNIDADES:   | DOCUMENTO CONTROLADO   |
|   | 26/09/2020       | VER PLANO                | mm          | ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELAS SAS. PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA AUTORIZACION DE TECNICELAS SAS. |
|   |                  |                          |             | VERSION:   |
|   |                  |                          |             | N/A  |



TOPE PUERTA-c-01  
ESCALA 1 : 1



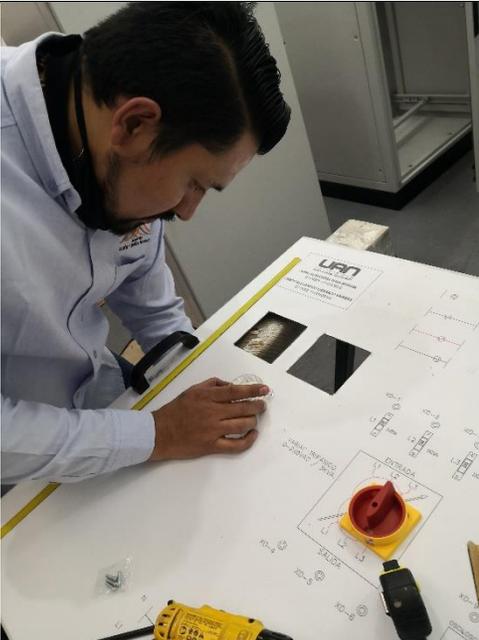
|   |   |                             |  |                      |   |                           |
|---|---|-----------------------------|--|----------------------|---|---------------------------|
|  | DESCRIPCION:<br><b>TOPE PUERTA-c-01</b> |                             | REFERENCIA:<br><b>TC.CONSOLE-1800X1300X450</b> |                      | CLIENTE:<br><b>INGEDRIVE</b>  | OP:<br><b>X</b>           |
|   | DIBUJO:<br><b>JUAN SIERRA</b>           |                             | REVISO:<br><b>ALEJANDRO LIZARAZO</b>           |                      | APROBO:<br><b>JOHN SUSAS</b>  | PLANO No:<br><b>30/30</b> |
|   | FECHA:<br><b>26/09/2020</b>             | ESCALA:<br><b>VER PLANO</b> | UNIDADES:<br><b>mm</b>                         | DOCUMENTO CONTROLADO | <small>ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE TECNICELDAS SAS. PROHIBIDA SU REPRODUCCION Y USO PARA PROPOSITOS DE FABRICACION SIN PREVIA AUTORIZACION DE TECNICELDAS SAS.</small> |                           |

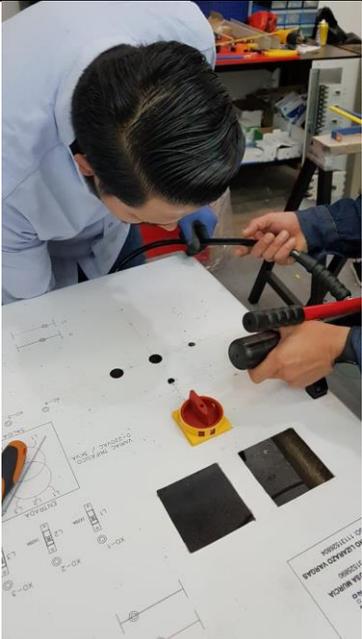
VERSION 02/18 DICIEMBRE 2015

## **7. Anexo G: Registro fotográfico**

En el presente anexo se relacionan las fotografías que comprenden el proceso de implementación.

| <b>Registro fotográfico</b>   |  |
|---|--|
|    |    |
| Foto No.1   | Foto No.2  |
| Descripción:<br>Fabricación de piezas y marcación láser.                            | Descripción:<br>Pulido de bodes y soldadura.   |
|  |  |
| Foto No.3   | Foto No.4  |
| Descripción:<br>Armado de estructura.   | Descripción:<br>Instalación de transformadores 2 kVA.                                |

| <b>Registro fotográfico</b>   |  |
|---|--|
|    |    |
| Foto No.5   | Foto No.6  |
| <p>Descripción:<br/>Ajuste de transformadores 2 kVA.</p>                            | <p>Descripción:<br/>Perforación de panel frontal para analizadores de red.</p>       |
|  |  |
| Foto No.7   | Foto No.8  |
| <p>Descripción:<br/>Marcación y perforación para montaje de equipos.</p>            | <p>Descripción:<br/>Marcación y perforación para montaje de equipos.</p>             |

| <b>Registro fotográfico</b>   |  |
|---|--|
|    |    |
| Foto No.9   | Foto No.10   |
| Descripción:<br>Marcación y perforación para montaje de equipos.                    | Descripción:<br>Marcación y perforación para montaje de equipos.                     |
|  |  |
| Foto No.11  | Foto No.12   |
| Descripción:<br>Instalación de equipos en el panel frontal                          | Descripción:<br>Instalación de equipos en el panel frontal                           |

**Registro fotográfico**



Foto No.13

Descripción:  
Perforación e instalación de omega para mini interruptores bipolares.



Foto No.14

Descripción:  
Instalación de mini interruptores bipolares.



Foto No.15

Descripción:  
Perforación e instalación de condensador



Foto No.16

Descripción:  
Perforación e instalación de resistencia

**Registro fotográfico**



Foto No.17



Foto No.18

Descripción:  
Armado de bandeja inferior, montaje de canaleta, riel y contactores.

Descripción:  
Perforación e instalación de interruptor.



Foto No.19



Foto No.20

Descripción:  
Instalación de borneras y equipos.

Descripción:  
Instalación de bandeja inferior.

Registro fotográfico



Foto No.21

Descripción:  
Instalación de bandeja inferior.



Foto No.22

Descripción:  
Instalación de bandeja inferior.



Foto No.23

Descripción:  
Instalación de puerta.



Foto No.24

Descripción:  
Retiro de protector de acrílico.

Registro fotográfico



Foto No.25

Descripción:  
Instalación de acrílico frontal.



Foto No.26

Descripción:  
Instalación de tapa frontal.



Foto No.27

Descripción:  
Banco ensamblado.



Foto No.28

Descripción:  
Banco ensamblado.

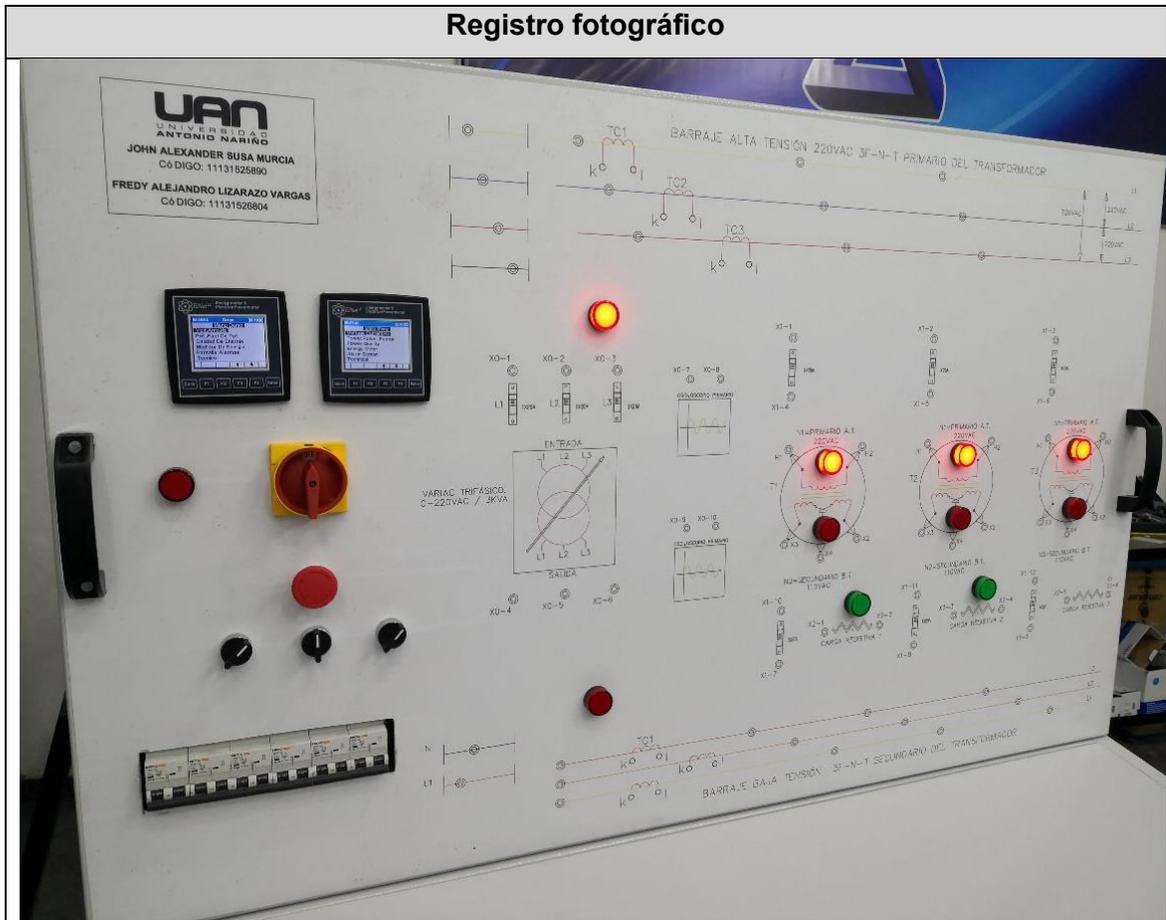


Foto No.29

Descripción:  
Banco energizado.

