

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS  
FACULTAD TECNOLÓGICA  
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA  
FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE GRADO**

N° DE RADICACIÓN: \_\_\_\_\_

**INFORMACIÓN  
EJECUTORES**

**Autor 1:**

Nombre: **MILLY ANDREA**  
Apellidos: **JARAMILLO MORENO**  
Código: **20122375007**  
e-mail: **majaramillom@correo.udistrital.edu.co**  
Teléfono: **7187855**  
Celular: **3187620548**



**Autor 2:**

Nombre: **FABIAN RICARDO**  
Apellidos: **DUQUE BENJUMEA**  
Código: **20121375064**  
e-mail: **fduqueb@hotmail.com**  
Teléfono: **5483148**  
Celular: **3167237158**



**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**  
**FACULTAD TECNOLÓGICA**  
**PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA**  
**FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE GRADO**

**INFORMACION DEL PROYECTO**

Título del proyecto: **ANÁLISIS TÉRMICO POR ELEMENTOS FINITOS, DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL ÁREA EFECTIVA DE VENTILACIÓN DE UNA CELDA PARA TRANSFORMADOR TIPO SECO DE 1000kVA**

Modalidad (Trabajo De Grado): **PROYECTO DE GRADO**

Duración (estimada):

Tipo de proyecto: **Innovación y desarrollo tecnológico.**

Línea de investigación de la facultad:

Línea de investigación de proyecto de grado:

Grupo de investigación:

Semillero de investigación:

Proyecto de investigación:

Áreas del conocimiento que involucra: **Transferencia de calor, Termodinámica aplicada, Diseño Por Elementos Finitos y Electrotécnica.**

**INFORMACION COMPLEMENTARIA**

Tutor: **Carlos Arturo Bohórquez Ávila**

Vo. Bo.:

Institución: **Universidad Distrital Francisco José De Caldas**

Línea de investigación: **Transferencia de calor, Termodinámica aplicada, Diseño Por Elementos Finitos y Electrotécnica.**

Formulación proyecto de grado:

Vo. Bo.:

**ANÁLISIS TÉRMICO POR ELEMENTOS FINITOS, DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN  
DEL ÁREA EFECTIVA DE VENTILACIÓN DE UNA CELDA PARA  
TRANSFORMADOR TIPO SECO DE 1000KVA**



**MILLY ANDREA JARAMILLO MORENO  
FABIAN RICARDO DUQUE BENJUMEA**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.  
FACULTAD TECNOLÓGICA  
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2013**

## Contenido

Índice de Figuras .....	5
Índice de Tablas .....	5
Resumen.....	6
Abstract.....	6
0. Introducción .....	7
1. Planteamiento del problema .....	8
1.1. Estado del Arte .....	8
1.2. Justificación .....	13
2. Objetivos .....	14
2.1. Objetivo general:.....	14
2.2. Objetivos específicos: .....	14
3. Marco Teórico .....	14
3.1. Transformadores tipo seco .....	14
3.2. Análisis por elementos finitos .....	15
3.3. Transferencia de calor .....	16
3.4. Normas CODENSA.....	17
4. Metodología.....	20
5. Cronograma.....	21
6. Presupuesto y fuentes de financiación .....	22
6.1. Mano de obra.....	22
6.2. Insumos .....	22
7. Bibliografía.....	23

## Índice de Figuras

FIGURA 1. Celda para transformador fabricada en GIM Ltda. (Vista isométrica) .....	9
FIGURA 2. Detalle ensamble base para celda-transformador fabricada en GIM Ltda. (Vista isométrica) .....	10
FIGURA 3. Construcción general celda-transformador fabricada en GIM Ltda. (Vista isométrica) .....	11
FIGURA 4. Detalle instalación del transformador de 1000 Kva. (Vistas-isométrico).....	12
FIGURA 5. Vistas transformador de 1000 kVA. (Transformador-fabricante TESLA).....	15
FIGURA 6. Norma CODENSA CTS-518-2 (longitudes de construcción y áreas de ventilación).....	19

## Índice de Tablas

TABLA 1. Cronograma de actividades.....	21
TABLA 2. Mano de obra (presupuesto y fuentes de financiación) .....	22
TABLA 3. Insumos (presupuesto y fuentes de financiación).....	22

## **Resumen**

En el estudio que se realizará en el proyecto de grado se analizará por elementos finitos la transferencia de calor de un transformador tipo seco de una potencia aparente de 1000kVA, con el fin, de optimizar el área efectiva de ventilación de una celda diseñada para este tipo de transformadores teniendo en cuenta la norma CODENSA CTS-518, CTS-518-2, CTS-519 que indica los parámetros principales que se deben cumplir para la instalación de transformadores tipo seco y la fabricación de las celdas que los van a contener de acuerdo con las normas NEMA(National Electrical Manufacturers Association) y ANSI (American National Standards Institute) y diversas recomendaciones de seguridad y manejo de media tensión derivadas de dichas normas. A partir de esto surge la problemática que la norma CODENSA CTS-518-2 aclara las áreas efectivas de ventilación para una celda de transformador tipo seco de una potencia de 150kVA, 225 a 500 kVA y 630 a 800 kVA, pero no especifica el área efectiva de ventilación para una celda de transformador tipo seco de 1000 kVA.

## **Abstract**

In the study to be conducted at the project level will be analyzed by finite element heat transfer of a dry type transformer of 1000kVA apparent power , in order , to optimize the effective ventilation area of a cell designed for this type considering transformer CODENSA standard CTS- 518, CTS -518 -2, CTS -519 indicating the main parameters that must be met for the installation of dry type transformers and manufacturing cell that will contain according NEMA (National Electrical Manufacturers Association) and ANSI (American National standards Institute ) and various warning and management of medium voltage derived from these standards. From this arises the problem that the standard CTS- CODENSA 518-2 clarifies the effective areas for a cell vent dry type transformer rated at 150kVA , 225-500 kVA and 630-800 kVA , but does not specify the effective ventilation area to a cell dry type transformer 1000 kVA .

## 0. Introducción

La empresa GIM, Grupo Industrial Metalmecánico Ltda. (NIT: 830.005.424-3), dedicada a la fabricación metalmecánica e implantación eléctrica de tableros eléctricos de baja tensión (BT) y media tensión (MT), ofrece dentro de su variedad de productos la celda para transformador tipo seco, celda que se fabrica bajo las normas CODENSA CTS-518, CTS-518-2, CTS-519 y las normas NEMA y ANSI.

La norma CODENSA CTS-518 especifica cómo deben instalarse dentro de las celdas los transformadores tipo seco de tal manera que cumpla con las normas NEMA en cuanto a la entrada de objetos extraños y protección contra la accesibilidad de personas no autorizadas y animales, además de la ubicación de las ventanas de ventilación y las distancias mínimas de los transformadores secos al interior de la celda, por último esta norma aclara los parámetros de fabricación metalmecánica de la celda para transformador como lo son el soporte, las cubiertas laterales, posterior y frontal, el tipo de anclaje y el espacio al interior. La norma CODENSA CTS-518-2 aclara las áreas efectivas de ventilación para una celda de transformador tipo seco de una potencia de 150kVA, 225 a 500 kVA y 630 a 800 kVA, pero no especifica el área efectiva de ventilación para una celda de transformador tipo seco de 1000 kVA.

Es por esta razón, que en este trabajo se va a modelar mediante un software de elementos finitos una herramienta de análisis de la transferencia de calor de un transformador tipo seco de una potencia aparente de 1000 kVA con el fin de optimizar y complementar los parámetros que nos suministra la norma CODENSA CTS-518-2 en aspectos puntuales como lo son el valor y la ubicación del área efectiva de ventilación para una celda de transformador de 1000 kVA que no se encuentra especificada en dicha norma.

Este trabajo se llevará a cabo en las instalaciones de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas sede tecnológica más específicamente en el laboratorio de automatización, bajo la asesoría del Ingeniero Carlos Bohórquez, donde se cuenta con el software de elementos finitos necesario para una parte del desarrollo del proyecto, además, en las instalaciones de la empresa Grupo Industrial Metalmecánico Ltda. Ubicada en la carrera 73<sup>a</sup> # 68B-28 en la ciudad de Bogotá donde en base a la experiencia en el mercado de fabricación metalmecánica y eléctrica existen herramientas como software CAD y procesos de manufactura que complementan el proyecto.

## **1. Planteamiento del problema**

Existen varios modelos matemáticos termodinámicos para analizar la transferencia de calor en equipos eléctricos en este caso transformadores tipo seco los cuales pueden conducir en muchos casos a errores, debido a que los resultados calculados matemáticamente varían con los efectos de convección, conducción y transferencia de calor reales que ocurren en estos equipos. Además se evidencia que para la construcción de celdas para transformadores con una potencia aparente de 1000 kVA en las normas CODENSA CTS-518, CTS-518-2, CTS-519 no se especifica el área efectiva de ventilación necesaria para garantizar un funcionamiento óptimo del equipo eléctrico y una temperatura segura de trabajo.

Cabe resaltar que dentro de la búsqueda de resultados más exactos se han desarrollado diversos tipos de software que ahorran tiempo y costos en el estudio de la transferencia de calor en equipos eléctricos, este es el caso de los programas que trabajan por elementos finitos, con los cuales se puede modelar una herramienta de análisis térmico de la transferencia de calor de un transformador tipo seco de 1000 kVA la cual brindará, entre otros, los datos de convección y conducción térmica, necesarios para realizar el diseño y la optimización del área efectiva de ventilación de una celda para este tipo de transformador.

### **1.1. Estado del Arte**

En la empresa Grupo Industrial Metalmecánico Ltda. En el año 2010 Se llevó a cabo un estudio de las celdas para transformadores, este estudio tuvo como enfoque el diseño y la estandarización de un producto que cumpliera con las normas establecidas actualmente para este tipo de celdas, como resultado de dicho estudio se obtuvieron una serie de parámetros que se deben cumplir para la realización de celdas para transformadores en esta empresa, esos parámetros a tener en cuenta son los siguientes:

- La fabricación de la celda será en lámina Cold Rolled calibre 14 y 16 exceptuando algunos accesorios y su estructura interna.
- El grado de protección que deberá llevar es del tipo IP 20, (El Grado de protección IP hace referencia al estándar internacional IEC 60529 Degrees of Protection utilizado con mucha frecuencia en los datos técnicos de equipamiento eléctrico y/o electrónico)
- El acabado final de la celda se deberá realizar con pintura electroestática de color Ral 7032 con 80 micras de espesor.
- Para el ensamble de la celda esta deberá quedar atornillada internamente.



- La celda no contará con ningún empaque.
- La celda estará normalizada por la norma CODENSA CTS509/2002, CTS 509-1/2002 y CTS 518-2/2005,
- El perfil frontal será la única parte de la estructura que se realizará en lámina calibre 16.
- Los perfiles Vertical, Base y Techo de la estructura se deberán realizar en lámina calibre 14.

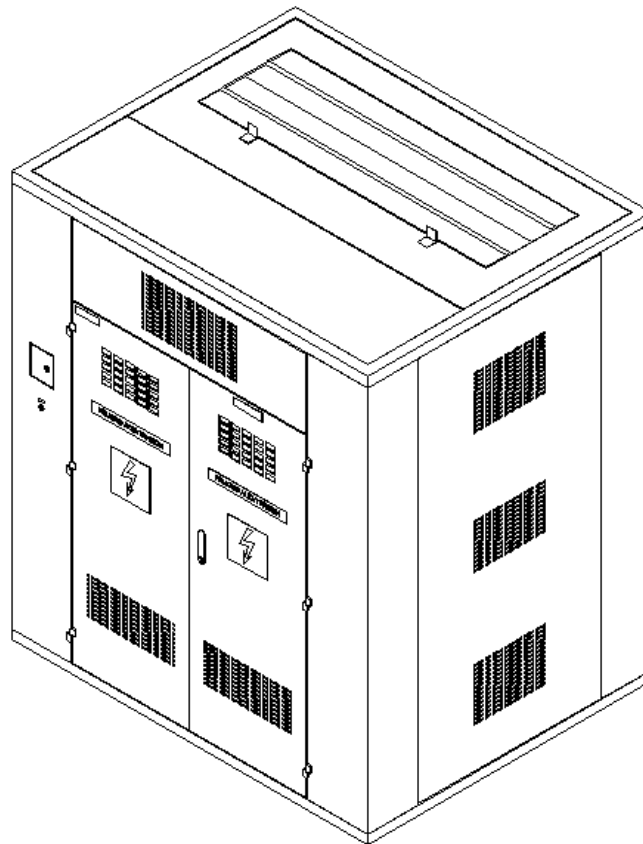


FIGURA 1. Celda para transformador fabricada en GIM Ltda. (Vista isométrica)<sup>1</sup>

- La fijación será de tipo auto soportada con una base en perfiles hechos en lámina Cold Rolled calibre 14 y altura de 50 mm.
- La fijación se realizará por medio de cuatro platinas triangulares en cada esquina hechas de lámina calibre 12.
- La puerta se realizará en lámina calibre 14 con una ventana troquelada de 290 x 160 mm en la que se instalará un vidrio templado de 5mm de espesor.
- No llevará tapa en la parte inferior,

<sup>1</sup> Imagen tomada del documento "ESPECIFICACIONES MT" del listado maestro de documentos de GIM Ltda.

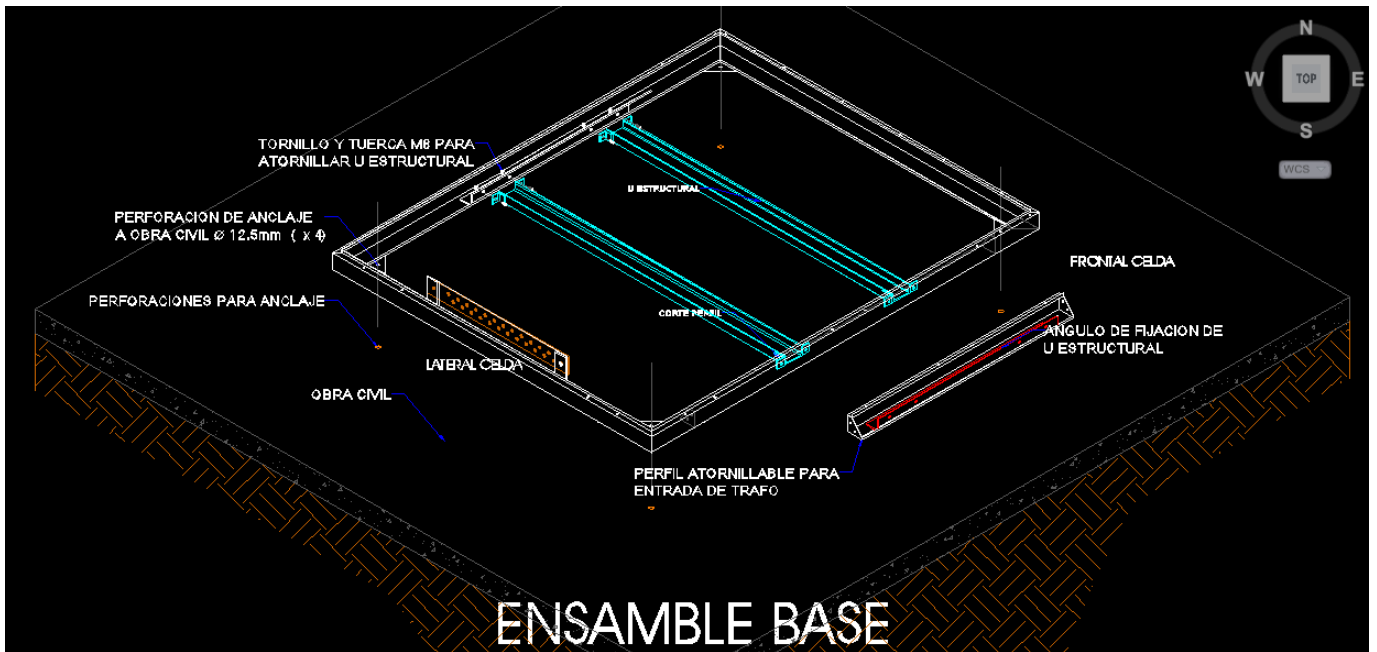


FIGURA 2. Detalle ensamble base para celda-transformador fabricada en GIM Ltda. (Vista isométrica)<sup>2</sup>

- La celda tendrá Rieles posteriores internos para sujetar cables,
- Se le deberá realizar un compartimiento para iluminación y otro para una palanca de enclavamiento elaborado en Cold Rolled,
- La estructura externa llevará una tornillería Hexagonal M6x16. Para el acople de la estructura la tornillería será Hexagonal M10x25. Para los tornillos soldados será Cobrizado M6x16.
- Los avisos de seguridad, la placa de identificación de la celda y la placa de identificación de la empresa estarán adheridos a la puerta.

<sup>2</sup> Imagen tomada del documento "manual celda trafo.dwg" del listado maestro de documentos de GIM Ltda.

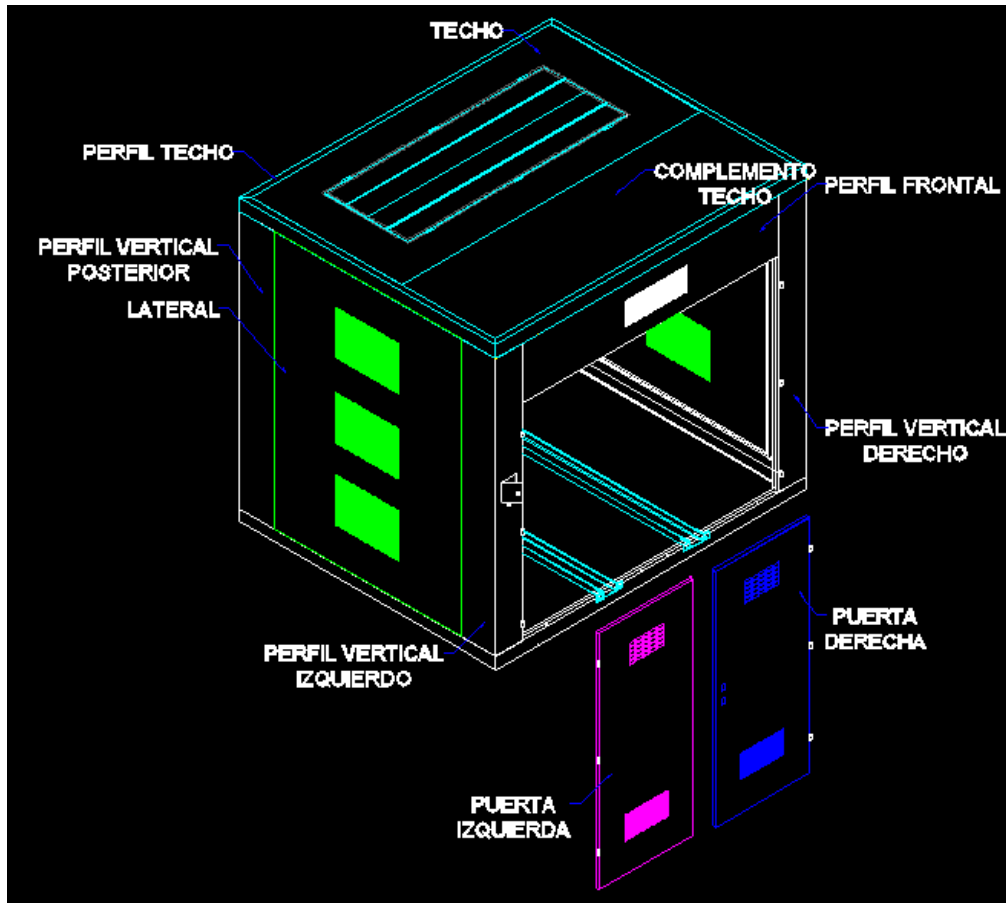


FIGURA 3. Construcción general celda-transformador fabricada en GIM Ltda. (Vista isométrica)<sup>3</sup>

- Llevará en las tapas de explosión topes para tapas y bisagras de piano de 2”.
- Las dimensiones estándar del alto, el ancho y la profundidad, en ese orden, de la celda son: 1900x1600x12000, 1900x1700x1300, 2000x1800x1300, 2000x1800x1500, 2000x1900x1500, 2200x1900x1500, 2300x2000x1500, 2300x2200x1500, 2300x2200x1600. Estas medidas están normalizadas y dependen de la potencia del transformador que se instalará en su interior.

<sup>3</sup> Imagen tomada del documento "manual celda trafo.dwg" del listado maestro de documentos de GIM Ltda.

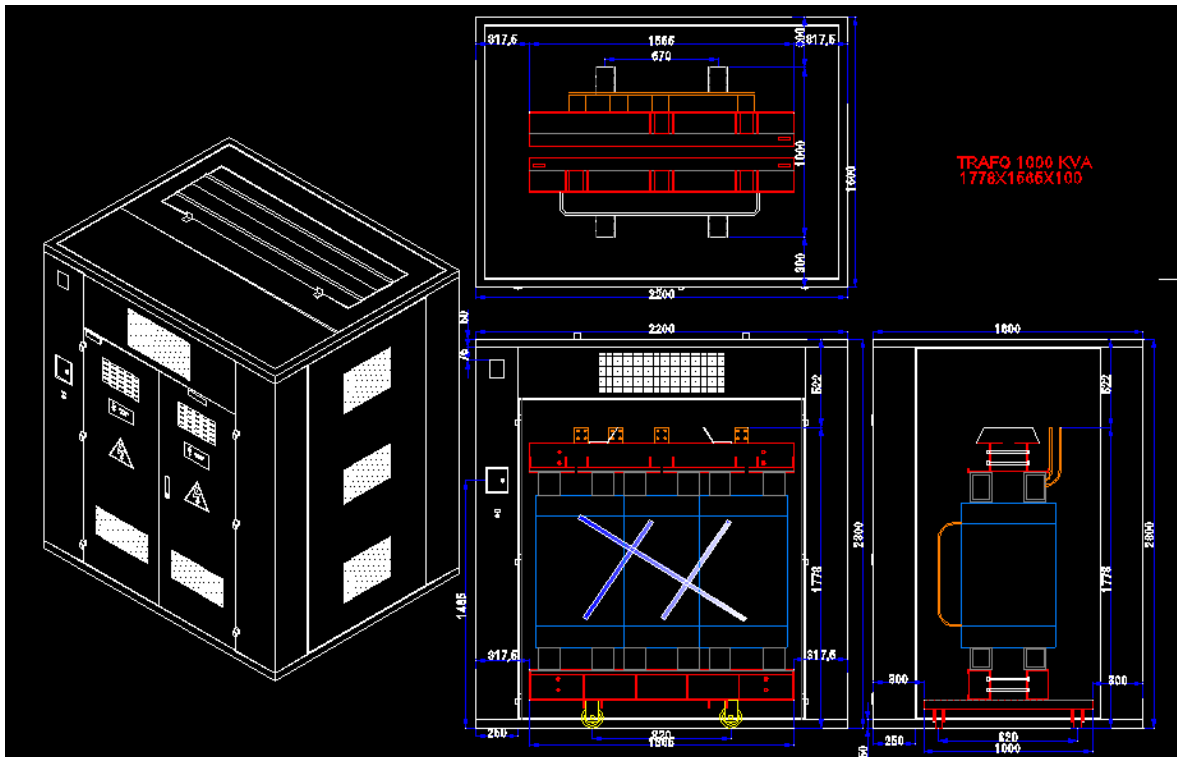


FIGURA 4. Detalle instalación del transformador de 1000 kVA. (Vistas-isométrico)<sup>4</sup>

Este estudio y posterior implementación bajo los estándares de la empresa se realizó en la ciudad de Bogotá. En la actualidad se han presentado algunos reclamos por parte de clientes insatisfechos que justifican el recalentamiento de los transformadores de 1000 kVA en el incumplimiento de un área efectiva de ventilación que cumpla con la exigencia hecha por estos equipos de tan alta potencia aparente. Es principalmente por esta razón, y debido a que las normas CODENSA CTS509/2002, CTS 509-1/2002 y CTS 518-2/2005 no brindan la información suficiente sobre el área de ventilación en equipos de más de 800 kVA, que surge la necesidad de dar solución a este problema realizando un nuevo estudio que con argumentos teórico-prácticos en base a transferencia de calor y procesos de manufactura metalmecánica llevará a un nuevo diseño que incentivará la fabricación de estas celdas y que ayudará a la satisfacción del cliente, el crecimiento de la empresa y el crecimiento profesional y aplicativo de los conocimientos adquiridos en el pregrado.

<sup>4</sup> Imagen tomada del documento "manual celda trafo.dwg" del listado maestro de documentos de GIM Ltda. cumpliendo con las distancias internas según norma.

## 1.2. Justificación

Los principales beneficios y aportes que se brindan con el desarrollo del proyecto se encuentran clasificados de la siguiente manera:

- **Tecnológicos:** Este proyecto tiene un aporte tecnológico porque se va a diseñar una celda para transformador tipo seco de 1000 kVA con un área efectiva de ventilación óptima que cumpla parámetros de seguridad bajo las normas NEMA-IP y ANSI, que en la actualidad no se encuentran especificados en su totalidad en las normas CODENSA CTS-518, CTS-518-2, CTS-519.
- **Académico:** Este proyecto tiene un aporte académico porque se va a modelar por medio de un programa computacional un análisis térmico por elementos finitos de la transferencia de calor de un equipo eléctrico utilizado en la industria para el control de la baja y media tensión como lo es el transformador tipo seco de 1000kVA.
- **Económico:** Con este proyecto se realizara un aporte económico dentro de la empresa Grupo industrial metalmecánico Ltda. debido a que uno de sus productos es la celda para transformador tipo seco de una potencia aparente de 1000 kVA que por razones económicas y de construcción metalmecánica no se hace viable realizar una ventilación asistida por medio de equipos eléctricos como ventiladores de 5 y 6 pulgadas, dado su alto costo en el mercado por esta razón la optimización de la ventilación se realizará por medio de perforaciones punzonadas en las tapas laterales frontal y posterior bajo la norma NEMA-IP luego del análisis térmico que se llevara a cabo.
- **Ambientales:** El principal aporte ambiental que se verá reflejado en este proyecto se da en el ahorro de energía dado que no se utilizaran ventiladores eléctricos para realizar una ventilación asistida a la celda de transformador, que por el contrario contara con agujeros para este propósito y de esta manera se reducirán los efectos negativos ambientales que genera el consumo de energía eléctrica en el planeta.
- **Seguridad industrial:** El aporte a la seguridad industrial se ve reflejado en este proyecto debido a que se realizará siguiendo los parámetros establecidos bajo la norma CODENSA CTS-518 que especifica cómo deben instalarse dentro de las celdas los transformadores tipo seco de tal manera que cumpla con las normas NEMA-IP en cuanto a la entrada de objetos extraños y protección contra la accesibilidad de personas no autorizadas y animales, además como medida de seguridad se evitara la posibilidad de que puedan introducir objetos extraños como cables y varillas por los espacios de ventilación de la celda, que puedan entrar en contacto con las partes energizadas.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo general:**

- Analizar térmicamente por elementos finitos, diseñar y optimizar el área efectiva de ventilación de una celda para transformador tipo seco de 1000kva.

### **2.2. Objetivos específicos:**

- Observar el comportamiento de la conducción y convección de una celda para transformador de 1000 kVA mediante el modelado en un software de análisis por elementos finitos.
- Calcular el valor del área efectiva de ventilación para una celda de transformador de 1000kVA de acuerdo al análisis por elementos finitos.
- Diseñar la distribución del área efectiva de ventilación en base al análisis térmico.
- Comparar los resultados del diseño y del comportamiento térmico para optimizar la ventilación de la celda.

## **3. Marco Teórico**

### **3.1. Transformadores tipo seco**

Los transformadores tipo seco que se usan generalmente son equipos que están diseñados para instalarse junto a los centros de carga para optimizar la regulación del voltaje en instalaciones residenciales, comerciales e industriales con el propósito de obtener la mejor eficiencia que sea posible. Principalmente son utilizados en sistemas de iluminación, sistemas de aire acondicionado, sistemas de ventilación y calefacción, en lugares como oficinas, hoteles, complejos habitacionales, fábricas, minas, plantas petroquímicas, cementeras, entre otros.

Las ventajas más importantes de los transformadores tipo seco son:

- Su mantenimiento mínimo.
- Está libre de contaminantes
- Son amigables con el ambiente porque suprimen el uso de aceite mineral.
- Sin riesgo de incendio. Libre de fugas de aceite.

- Seguridad para el instalador y el usuario.
- Alta resistencia a los esfuerzos electromecánicos de corto circuito.
- Tiene una excelente capacidad para soportar sobrecargas.
- Cumple con los estándares de regulación ambiental NOM e ISO14001
- No genera emisiones de CO2
- Compacto: Misma capacidad, menor tamaño
- Facilidad para el instalador: Sin accesorios como boquillas, cambiador de derivaciones, indicador de nivel de aceite y válvulas de sobrepresión
- Permite una inspección visual interna a los componentes activos.

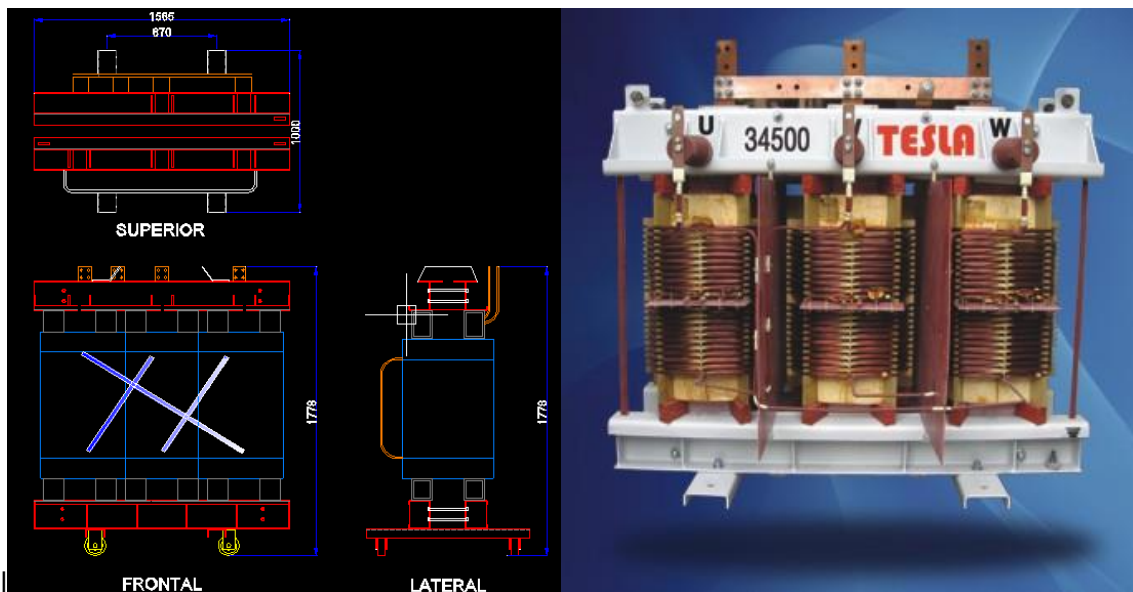


FIGURA 5. Vistas transformador de 1000 kVA. (Transformador-fabricante TESLA)<sup>5</sup>

### 3.2. Análisis por elementos finitos

La técnica de análisis por elementos finitos (AEF) consiste en dividir la geometría en la que se quiere resolver una ecuación diferencial de un campo escalar o vectorial en un dominio, en pequeños elementos, teniendo en cuenta unas ecuaciones de campo en cada elemento, los elementos del entorno de vecindad y las fuentes generadoras de campo en cada elemento. Habitualmente, esta técnica es muy utilizada en el ámbito de la ingeniería debido a que muchos problemas físicos de interés se formulan mediante la resolución de una ecuación diferencial en derivadas parciales, a partir de cuya solución es posible modelar dicho

<sup>5</sup> Imagen tomada del documento "manual celda trafo.dwg" del listado maestro de documentos de GIM Ltda. Dimensionado bajo parámetros de la empresa Nacional de Transformadores • TESLA principal proveedor de transformadores de GIM Ltda.

problema (transmisión del calor, electromagnetismo, cálculo de estructuras, etc.). Esta técnica se encuentra automatizada en las herramientas software comercial, llamadas herramientas de análisis por elementos finitos para problemas físicos tanto de propósito general, como aplicadas a problemas físicos particulares.<sup>6</sup>

### 3.3. Transferencia de calor

La transferencia de calor es la ciencia que trata de predecir el intercambio de energía que puede tener lugar entre cuerpos materiales, como resultado de una diferencia de temperatura. En termodinámica la transferencia de energía nombrada anteriormente se define como calor. La rama de la transferencia de calor pretende no sólo explicar cómo la energía térmica puede ser transferida, sino también predecir la rapidez con la que, bajo ciertas condiciones específicas, tendrá lugar esa transferencia. La diferencia entre la transferencia de calor y la termodinámica está marcada por el hecho de que el objetivo principal del análisis en la transferencia de calor es la rapidez. La termodinámica trata sistemas en equilibrio; puede usarse para predecir la cantidad de energía requerida para llevar un sistema desde un estado de equilibrio a otro; no puede usarse, en cambio, para predecir lo rápido que será el cambio, ya que el sistema no está en equilibrio durante el proceso. La transferencia de calor complementa la primera y segunda ley de la termodinámica, al suministrar leyes experimentales adicionales que se usan para establecer la rapidez de la transferencia de energía. Como en la ciencia de la termodinámica, las leyes experimentales usadas como base para la transferencia de calor son bastante simples y fácilmente extensibles, de modo que abarcan gran diversidad de situaciones prácticas.

Hay tres maneras de transferir calor: conducción, convección y radiación.

- **Conducción:**  
Cuando en un cuerpo existe un gradiente de temperatura, hay una transferencia de energía desde la región a alta temperatura hacia la región de baja temperatura. Se dice que la energía se ha transferido por conducción y que el flujo de calor por unidad de área es proporcional al gradiente normal de temperatura.
- **Convección:**  
Se sabe que una placa de metal caliente se enfriará más rápidamente cuando se coloca delante de un ventilador que cuando se expone al aire en

---

<sup>6</sup> Roldan Fernando / Bastidas Uriel, Estudio experimental y por análisis de elementos finitos del factor de esfuerzo producido por un agujero en una placa plana, Universidad nacional de Colombia, publicado en Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe (Redalyc), noviembre de 2002, volumen 69 numero 137, pg.4.



calma. Se dice que el calor se ha cedido hacia fuera de la placa y al proceso se le llama transferencia de calor por convección.

- Radiación:

Para todo cuerpo que se encuentre por encima de una temperatura del cero absoluto y su mecanismo de transferencia sea a partir de ondas electromagnéticas, que se propagan como resultado de una diferencia de temperaturas, se dice que la energía se transfiere por radiación térmica.<sup>7</sup>

### 3.4. Normas CODENSA

Se tendrán en cuenta para el proyecto las normas CODENSA CTS-518, CTS-518-2, CTS-519, que a continuación se citan.

- *CODENSA CTS 518:*

La instalación de los transformadores tipo seco se debe realizar dentro de celdas de manera que se impida el ingreso de sustancias extrañas y deben estar protegidos mediante una cerradura para no permitir que personas no autorizadas y animales tengan acceso a los transformadores.

Por seguridad la celda se debe diseñar de tal manera que no se puedan introducir cables y varillas por las áreas de ventilación de la celda, ya que estas pueden entrar en contacto con las partes energizadas.

No se debe permitir el ingreso de cuerpos mayores de ½” de diámetro a través de las ventanas de ventilación, esto de acuerdo con las normas NEMA y ANSI, lo que significa que deben tener un grado de protección IP20.

La celda del transformador también debe impedir la entrada de animales pequeños y cuerpos extraños, cuando se instalen encima de cárcamos o cuando el paso de los cables se haga a través de las paredes de la celda. En los agujeros hechos para la entrada y la salida de los cables, se implementarán medios adecuados o tapas removibles en baquelita de acuerdo con los diámetros de los conductores.

Es recomendable que la entrada de los cables de media tensión (M.T) sea en forma lateral y la salida de los cables de baja tensión (B.T) sea por la parte inferior.

---

<sup>7</sup> Holman J.P. Transferencia de calor. Octava edición. Editorial McGRAW-HILL1998. Páginas de la 1 a la 9.

En lugares donde existen contaminantes tales como polvo, químicos y excesiva humedad, que se puedan depositar sobre los aislamientos y que puedan causar que el transformador falle, No es conveniente instalar transformadores secos clase H, en estos casos se debe utilizar transformadores con bobinas encapsuladas en resina clase F.

Para la ventilación se debe suministrar aire limpio y seco, libre de vapor químico, polvos y humos, de esta manera en caso de que existan este tipo de contaminantes se debe proporcionar un filtro.

Para las ventanas de ventilación se debe tener en cuenta la altura del cuarto y la capacidad del transformador. Esto se determina de acuerdo con el artículo 450 - 45 (c) de la Norma NTC 2050.

Los transformadores secos deben estar separados como mínimo de 30 a 45 cm de las paredes o de cualquier obstáculo esto con el fin de permitir la circulación de aire en torno y a través del equipo.

Si los transformadores tipo seco se van a instalar en pisos altos de edificaciones se debe tener en cuenta los medios para la introducción y el retiro considerando el peso que los ascensores o la instalación de anclajes soportan para izar el equipo.

El transformador seco tipo abierto clase H, debe someterse a un proceso de secado y de limpieza debido a la acumulación de humedad y polvo en las bobinas y aisladores, esto antes de entrar en servicio o después de permanecer desenergizado durante algún tiempo.

Las características principales de la celda de transformador seco son:

- La celda debe reposar sobre un soporte en ángulos que permita la entrada de ventilación por debajo, con celosía o malla, que dejen pasar el aire e imposibilite el ingreso de animales u objetos extraños y sólo con el área necesaria para la entrada y salida de los conductores.
- Las tapas laterales, posteriores y frontales tendrán las dimensiones necesarias en celosía o malla para la adecuada ventilación.
- Podrán tener domos para la evacuación del aire caliente o podrá instalarse un sistema propio de ventilación impuesta en algunos casos.
- La celda tendrá el espacio suficiente de tal forma que permita: alojar el transformador, una adecuada ventilación, distancias eléctricas a partes energizadas y radio de curvatura de conductores.

- Las celdas deben ser pernadas al suelo y con medios para amortiguar las vibraciones y ruidos.

- CODENSA CTS-518-2:**

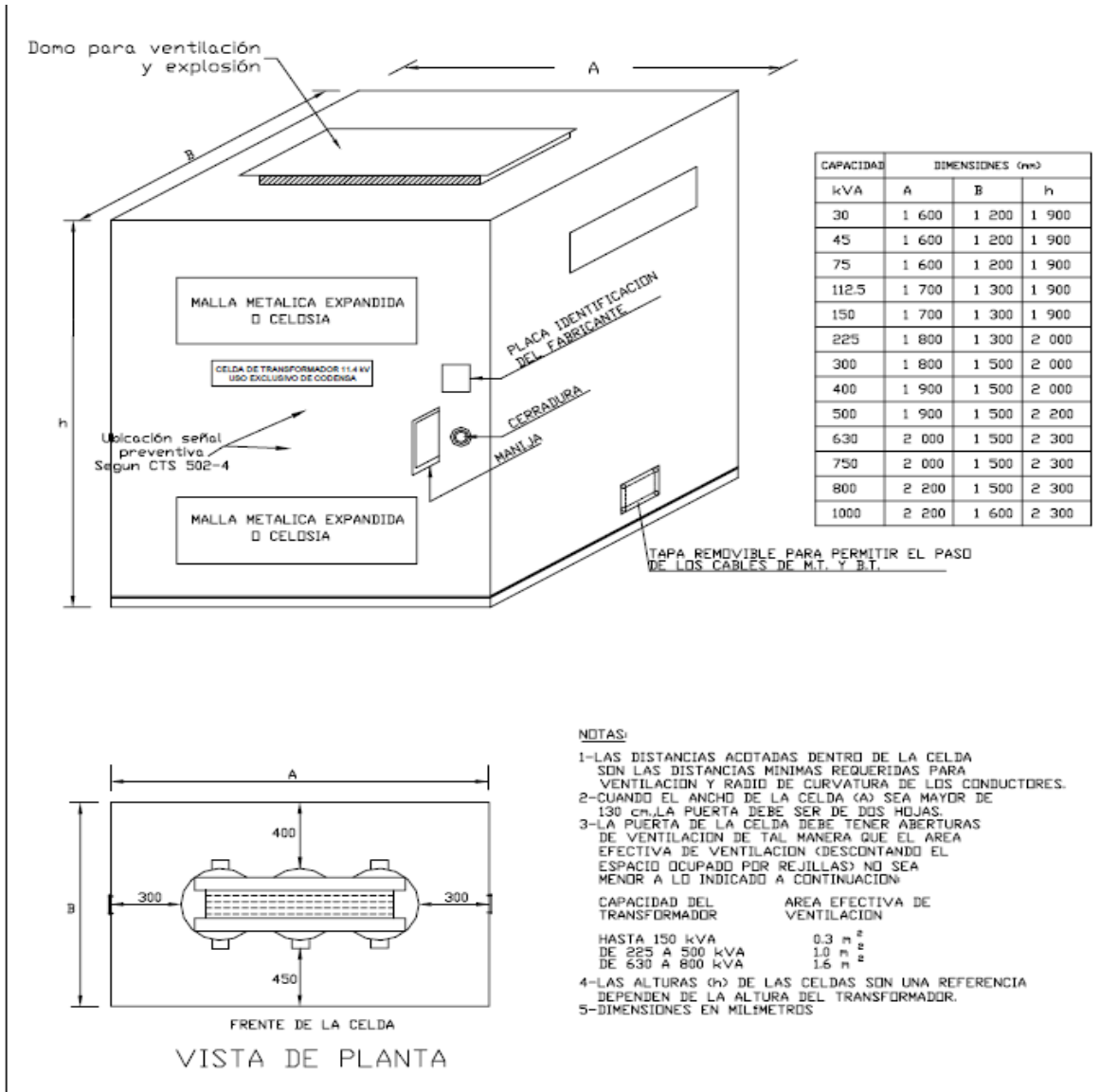


FIGURA 6. Norma CODENSA CTS-518-2 (longitudes de construcción y áreas de ventilación)<sup>8</sup>

<sup>8</sup> imagen tomada de "norma CODENSA CTS-518-2". NÓTESE QUE HAY REFERENCIA DE LAS MEDIDAS DE CONSTRUCCIÓN PARA CELDAS DE TRANSFORMADOR DE 1000 kVA PERO NO PARA EL ÁREA EFECTIVA DE VENTILACIÓN DE UNA CELDA PARA UN TRASFORMADOR DE ESTA POTENCIA.

En la norma CODENSA CTS-518-2 se pueden observar las dimensiones (en mm) del alto, el ancho y la profundidad de cada celda según su capacidad en kVA, el frente de la celda, el domo para ventilación y explosión, celosía, entre otras características ya mencionadas en la norma CODENSA CTS-518. También se evidencia el área efectiva de ventilación según la capacidad del transformador. Nótese que no se especifica el área efectiva de ventilación para un transformador tipo seco de 1000 kVA.

#### **4. Metodología**

Para el desarrollo de este proyecto se realizará una investigación y un análisis de las normas CODENSA CTS-518, CTS-518-2, CTS-519 y NEMA-IP para la construcción de celdas para transformadores tipo seco y de esta manera indagar sobre el área efectiva de ventilación necesaria en una celda para un transformador de 1000kVA para garantizar un funcionamiento óptimo del equipo eléctrico y una temperatura segura de trabajo. Luego de este previo análisis se realizará un estudio térmico mediante un modelado computacional por elementos finitos que se compone de tres partes principales que son; El preprocesador que permite construir el modelo del transformador y añadir las variables, las constantes y las restricciones deseadas, el solucionador que permite ensamblar y resolver el sistema algebraico de ecuaciones que representan el sistema físico térmico y el pos procesador que facilita la manipulación de los resultados numéricos bien sea en forma de listas, tablas o en forma gráfica.

Posteriormente se realizara la toma de datos correspondiente al modelado para al final generar una tabla de resultados y basados en esta se realizará una gráfica final del comportamiento térmico del transformador según el software.

Finalmente y en base a los resultados obtenidos en el modelado previo, se diseñará y optimizará la distribución del área efectiva de ventilación en la celda para transformador obteniendo un resultado de diseño detallado el cual será la solución al problema planteado.

## 5. Cronograma

N°	ACTIVIDAD SEMANAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Analizar las normas CODENSA CTS-518, CTS-518-2, CTS-519 y NEMA para la construcción de celdas para transformadores tipo seco.	■															
2	Estudiar la metodología de fabricación metalmecánica de las celdas de transformador tipo seco en Grupo Industrial Metalmecánico		■														
3	Realizar en un programa CAD la celda para el transformador tipo seco de 1000 kVA.		■	■													
4	Investigar el procedimiento para desarrollar una herramienta computacional por elementos finitos para el análisis térmico de un transformador tipo seco de 1000 kVA.			■	■												
5	Establecer los parámetros de análisis en el desarrollo de una nueva herramienta computacional por elementos finitos, que sirva para desarrollar los problemas.			■	■												
6	Realizar en un programa CAD el transformador tipo seco de 1000 kVA.					■	■	■									
7	Modelar en un software por elementos finitos una herramienta de análisis para el desarrollo de problemas de transferencia de calor para un transformador tipo seco de 1000 kVA.							■	■	■	■						
8	Generar una tabla de resultados y basados en esta realizar una grafica final del comportamiento térmico del transformador según el software										■	■					
9	Analizar la transferencia de calor del transformador en el programa de modelado por elementos finitos.											■	■				
10	Calcular el área efectiva de ventilación según los resultados obtenidos de la transferencia de calor en el programa de modelado por elementos finitos.												■	■			
11	Obtener un resultado de diseño detallado y optimizado del área efectiva de ventilación.														■	■	■

TABLA 1. Cronograma de actividades<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Cronograma de actividades (Diagrama de Gantt) sujeto a cambios en el desarrollo del proyecto.

## 6. Presupuesto y fuentes de financiación

### 6.1. Mano de obra

:

<i>ITEM</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>N° DE UNIDADES</i>	<i>VALOR UNITARIO</i>	<i>TOTAL</i>	<i>FINANCIADO POR</i>
INVESTIGADOR 1	Horas hombre	230	\$ 5000	\$ 1'150000	Recursos propios
INVESTIGADOR 2	Horas hombre	230	\$ 5000	\$ 1'150000	Recursos propios
ASESOR 1	Horas hombre	32	\$ 25000	\$ 800000	Universidad
ASESOR 2	Horas hombre	8	\$ 30000	\$ 240 000	Universidad
Subtotal				\$ 3'340 000	

TABLA 2. Mano de obra (presupuesto y fuentes de financiación)

### 6.2. Insumos

<i>ITEM</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>N° DE UNIDADES</i>	<i>VALOR UNITARIO</i>	<i>TOTAL</i>	<i>FINANCIADO POR</i>
Laboratorio de automatización de la universidad	N° Horas	30	\$ 30000	\$ 900000	Universidad
Fotocopias	N° de fotocopias	150	\$ 50	\$ 7500	Recursos propios
Internet	Horas	120	\$ 1000	\$120000	Recursos propios
Impresiones	N° de impresiones	200	\$ 100	\$ 20 000	Recursos propios
Alquiler Software con licencia	N° Horas	120	\$2000	\$240 000	Recursos propios
Subtotal				\$1'287 500	

TABLA 3. Insumos (presupuesto y fuentes de financiación)

Subtotal = \$ 4'627 500

Imprevistos: 10% = \$ 462 750

TOTAL= \$ 5'090 250

De los cuales: \$ 1'940 000 son financiados por la universidad y se ven reflejados en el préstamo de los equipos del laboratorio de automatización que tienen el software necesario para parte del desarrollo del proyecto y la asesoría del tutor y demás profesores vinculados al proyecto, además \$3'150 250 son financiados con recursos propios.

## 7. Bibliografía

- Documento “ESPECIFICACIONES MT” del listado maestro de documentos de GIM Ltda.
- Documento “manual celda trafo.dwg” del listado maestro de documentos de GIM Ltda.
- Roldan Fernando / Bastidas Uriel, Estudio experimental y por análisis de elementos finitos del factor de esfuerzo producido por un agujero en una placa plana, Universidad nacional de Colombia, publicado en Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe (Redalyc), noviembre de 2002, volumen 69 número 137, pg.4.
- Holman J.P. Transferencia de calor. Octava edición. Editorial McGRAW-HILL 1998. Páginas de la 1 a la 9.
- Norma CODENSA CTS-518
- Norma CODENSA CTS-518-2
- Norma CODENSA CTS-519
- Norma IP, estándar internacional IEC 60529 Degrees of Protection, datos técnicos de equipamiento eléctrico y/o electrónico).