

**INSTITUTO TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO.**



**ESPECIALIDAD INGENIERÍA MECÁNICA.**

**PROYECTO DE RESIDENCIA.**

**REDISEÑO DE EQUIPO PARA LA MEJORA DEL PRIMER PROCESO DE  
PURIFICACIÓN DE ACEITE DIELECTRICO DE TRANSFORMADORES E  
IMPLEMENTACIÓN.**

**PRESENTADO POR: RODRÍGUEZ MORALES JORGE ANTONIO.**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**INGENIERO MECÁNICO.**

**COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.**

**TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS**

**FECHA: 11/12/2015**

## Contenido

Índice de figuras.....	IV
Índice de tablas .....	V
Introducción.....	1
1.1 Definición del problema.....	3
1.2 Justificación .....	4
1.3 Objetivos .....	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivo específico.....	4
1.4 Alcances y limitaciones .....	5
1.4.1 Alcances	5
1.4.2 Limitaciones	5
1.5 Área de influencia .....	5
FUNDAMENTO TEÓRICO.....	8
2.1 TRANSFORMADORES DE POTENCIA.....	9
2.1.1 COMPONENTES. 10	
2.1.1.1 Núcleo.....	10
2.1.1.2 Devanados .....	12
2.1.1.3 Materiales aislantes .....	12
2.1.1.4 Aceite mineral .....	12
2.1.1.5 Estructura y Tanque.....	12
2.1.1.6 Sistema de Enfriamiento .....	16
2.1.1.7 Sistema de aislamiento.....	17
2.1.2 PAPEL AISLANTE 17	
2.1.2.1 Papel kraft .....	18
2.2 ACEITE DIELECTRICO (MINERAL) .....	19
2.2.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA .....	20
2.2.1.1 Hidrocarburos isoparafínicos .....	20
2.2.1.2 Hidrocarburos nafténicos.....	21
2.2.1.3 Hidrocarburos aromáticos .....	22
2.2.2 PROPIEDADES 23	
2.2.2.1 Propiedades físicas.....	23
2.2.2.1.1 Viscosidad. ....	23
2.2.2.1.2 Punto de fluidez.....	24
2.2.2.2 Propiedades Eléctricas.....	26
2.2.2.2.1 Factor de Potencia. ....	26
2.2.2.3 Propiedades Químicas.....	26
2.2.2.3.1 Estabilidad a la oxidación .....	26
2.2.3 VIDA ÚTIL DEL ACEITE DIELECTRICO.....	27

2.2.4 PROCESO DE FABRICACIÓN.....	28
2.2.5 CAUSAS DE FALLA EN TRANSFORMADORES .....	28
<b>2.3 ESPECIFICACIÓN DE NORMAS .....</b>	<b>29</b>
2.3.1 RIGIDEZ DIELECTRICA (ASTM D-877).....	30
2.3.2 CONTENIDO DE AGUA (ASTM D-1533).....	31
2.3.3 NÚMERO DE NEUTRALIZACIÓN (ASTM D-974).....	31
2.3.4 TENSIÓN INTERFACIAL. (ASTM D-971).....	32
2.3.5 COLOR (ASTMA D-1500).....	32
2.3.6 GRAVEDAD ESPECÍFICA (ASTM D-1298).....	33
2.3.7 FACTOR DE POTENCIA – NORMA ASTM-924.....	33
2.3.8 CONTENIDO DE INHIBIDOR – NORMA ASTM D-4768.....	34
<b>3.1 DESCRIPCIÓN DE DESEMPEÑO ACTUAL DEL EQUIPO DEL PRIMER PROCESO DE PURIFICACIÓN.....</b>	<b>36</b>
3.1.1 MODO DE OPERACIÓN ACTUAL DE LA PURIFICADORA.....	36
<b>3.2 PARÁMETROS DE DESEMPEÑO ACTUAL .....</b>	<b>38</b>
<b>3.3 INVENTARIO DE MATERIALES Y ELEMENTOS (MECÁNICOS/ELÉCTRICOS) QUE CONFORMAN LA PURIFICADORA.....</b>	<b>40</b>
<b>3.4 ANÁLISIS DEL SISTEMA MECÁNICO .....</b>	<b>40</b>
3.4.1 ANÁLISIS DE TUBERÍA.....	40
3.4.2 EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS VÁLVULAS .....	42
3.4.3 MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL TANQUE DEL FILTRO .....	44
3.4.4 MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE LA BOMBA DE ENGRANAJES .....	46
<b>3.5 ANÁLISIS DE SISTEMA DE CONTROL .....</b>	<b>48</b>
<b>4.1 SISTEMA MECÁNICO.....</b>	<b>50</b>
<b>4.1 CÁLCULO PARA ANALIZAR LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE BOMBEO .....</b>	<b>50</b>
<b>Conclusión.....</b>	<b>66</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>67</b>

## Índice de figuras

Figura 1. 1 Comisión federal de electricidad lugar ubicado en Google Maps.....	6
Figura 1. 2 Estación de comisión federal de electricidad.....	6
Figura 2. 1 Transformador de (30 MVA) subestación Tuxtla uno, CFE .....	9
Figura 2. 2 Placa del transformador de subestación Tuxtla 1 .....	10
Figura 2. 3 Núcleo acorazado Fuente: (Pérez, 2001, pág. 6) .....	11
Figura 2. 4 Núcleo tipo columna Fuente: (Pérez, 2001, pág. 6) .....	11
Figura 2. 5 Transformador de tanque con respiración libre Fuente: (Kelly, Myers, & Stebbins, 2004).....	13
Figura 2. 6 Tanque tipo conservador Fuente: (Kelly, Myers, & Stebbins, 2004) .....	14
Figura 2. 7 Tanque sellado. Fuente: (Kelly, Myers, & Stebbins, 2004) .....	15
Figura 2. 8 Accesorios de un transformador. Fuente: (Pérez, 2001) .....	15
Figura 2. 9 Papel Kraft. Fuente: (Weidmann, 2013) .....	18
Figura 2. 10 Curvas resistencias tracción – envejecimiento. Fuente: (Gallo, 2007, pág. 10) .....	19
Figura 2. 11 isoparafinas. Fuente: (Gallo, 2007, pág. 5).....	21
Figura 2. 12 Base nafténica Fuente: (Gallo, 2007, Pág. 6) .....	21
Figura 2. 13 compuesto aromático Fuente: (Gallo, 2007, Pág.7) .....	22
Figura 2. 14 curva viscosidad vs. Temperatura aceite dieléctricos Fuente: SELL, 2011, pág. 18) .....	24
Figura 2. 15 Proceso de fabricación del aceite dieléctrico Fuente: (SHELL, 2011, pág. 24) .....	28
Figura 2. 16 Causales de falla en 94 transformadores de potencia durante 1997-2001 difundida por: IMIA W.G Fuente: (Alvarez & Del pozo, 2007, pág. 1).....	29
Figura 3. 1 Filtradora de aceite .....	36
Figura 3. 2 Lateral izquierda de la purificadora con sus componentes.....	37
Figura 3. 3 Seguimiento de dirección de las válvulas.....	38
Figura 3. 4 Válvula de bola .....	42
Figura 3. 5 Válvula check.....	43
Figura 3. 6 Válvula tres vías.....	43
Figura 3. 7 Entrada de aceite y soporte de filtro.....	44
Figura 3. 8 Filtro de aceite antiguo.....	44
Figura 3. 9 Filtro de aceite nuevo.....	45
Figura 3. 10 Limpieza inferior del tanque principal.....	45
Figura 3. 11 Empaque de filtro nuevo .....	46
Figura 3. 12 Bomba de engranes helicoidal .....	46
Figura 3. 13 Engranes y acoplamiento en mal estado .....	47
Figura 3. 14 Reemplazo de acoplamiento y limpieza de engranes .....	48

Figura 3. 15 Interruptor en buen estado.....	48
Figura 4. 1 Sistema original de la filtradora. ....	50
Figura 4. 2 Diagrama de Moody.....	54
Figura 4. 3 Equipo rediseñado.....	57
Figura 4. 4 Medida de tubería del sistema original.....	61
Figura 4. 5 Analisis de presión.....	61
Figura 4. 6 Analisis de velocidad. ....	62
Figura 4. 7 Analisis de temperatura. ....	62
Figura 4. 8 Tubería propuesta. ....	63
Figura 4. 9 Analisis de velocidad. ....	64
Figura 4. 10 Analisis de presión.....	64
Figura 4. 11 Analisis de temperatura. ....	65

Nota: Las figuras al menos que se especifique lo contrario son realizadas por el autor utilizando software “SolidWorks”

### Índice de tablas

Tabla 2. 1 Parámetros Normalizados de Viscosidad del Aceite Fuente: (SELL, 2011, pág. 18)..	23
Tabla 2. 2 Parámetros Normalizados de Factor de potencia. Fuente: (SHELL, 2011, pág. 20)..	26
Tabla 2. 3 Vida útil del aceite dependiendo de la temperatura Fuente: (SHELL, 2011, pág. 27)	27
Tabla 2. 4 Rangos de calificación normas ASTM D-877 Fuente: (Gallo, 2007, pág. 27). ....	31
Tabla 2. 5 Rangos de calificación norma ASTM D-1533 Fuente: (Gallo, 2007, pág. 27).....	31
Tabla 2. 6 Rangos de calificación norma ASTM D-974. Fuente: (Gallo, 2007, pág. 27).....	32
Tabla 2. 7 Rangos de calificación norma astm d-971. Fuente: (Gallo, 2007, pág. 27).....	32
Tabla 2. 8 Rangos de calificación norma ASTM D-1500 Fuente: (Gallo, 2007, pág. 27).....	33
Tabla 2. 9 Rangos de calificación norma ASTM D-1298 Fuente: (Gallo, 2007, pág. 27).....	33
Tabla 3. 1 Parámetros de desempeño actual.....	39
Tabla 4. 1 Características del aceite dieléctrico.....	50
Tabla 4. 2 Pérdidas de carga en accesorios.....	55
Tabla 4. 3 Accesorios de diseño original .....	55
Tabla 4. 4 Accesorios de diseño propuesto.....	58
Tabla 4. 5 tubería ced 40 B-13a.....	60

## **Introducción**

La residencia profesional es la actividad realizada mediante un proyecto especializado a la aplicación de un modelo de ingeniería, que los estudiantes de un Instituto Tecnológico a nivel profesional deben realizar para efecto de un desarrollo en el ámbito laboral donde se aplican los conocimientos adquiridos durante el curso de la carrera profesional. La Ingeniería Mecánica es una de las ramas de la Ingeniería que ha podido aportar más elementos de bienestar y confort al ser humano, y de ahí destaca su importancia ya que ésta ha sido fuerza motriz de nuestra civilización, cumpliendo siempre su propósito de proporcionar a la sociedad herramientas y bienes que le permitan aprovechar los recursos naturales para la satisfacción de sus necesidades materiales e intelectuales.

El ingeniero mecánico es quien combina el conocimiento, la experiencia y su habilidad creadora para resolver problemas técnicos; sus planes, métodos, procedimientos y diseños le permiten construir máquinas, equipos o complejos sistemas mecánicos que transforman los recursos materiales en formas útiles de aprovechamiento para el ser humano y la sociedad.

El presente proyecto de residencia profesional se denomina “Rediseño de equipo para la mejora del primer proceso de purificación de aceite dieléctrico de transformadores e implementación”, el cual tiene su desarrollo en este reporte, se muestra claramente la realización del diseño del primer proceso de purificación de aceite dieléctrico que sea capaz de limpiar el aceite usando un filtro de material sólido que es succionado por medio de presión y sea capaz de reutilizar el aceite para su uso y evitar fallas.

En este equipo se tratara de hacer en el transcurso del proyecto lo más accesible, cómodo y práctico para su utilización en el primer proceso de purificación o filtración del aceite para quitar residuos sólidos que se generan dentro del transformador por el paso del tiempo en su utilización.

# **CAPÍTULO**

# **1**

# **GENERALIDADES.**

## **1.1 Definición del problema**

Debido a las altas temperaturas que tienen que soportar los transformadores, por la intensidad y las diferentes tensiones es necesario un sistema de refrigeración adecuado. La eficiencia de la refrigeración es un factor fundamental que determina la seguridad operacional y el tiempo de vida útil de un transformador de potencia. El sistema de refrigeración utilizado con mayor frecuencia en transformadores sumergidos es la refrigeración natural, donde el calor es absorbido por el aceite y disipado en el aire a través de radiadores. En otros sistemas los radiadores son adicionalmente refrigerados por medio de ventiladores.

Como medio de absorción por convección del calor del núcleo y de los arrollamientos, también por sus propiedades aislantes, tienden a alterarse, es decir, a oxidarse y a polarizarse. Estas alteraciones merman las cualidades electrotécnicas del aceite. El envejecimiento es activado por la temperatura, la humedad y el contacto con el oxígeno del aire, formando lodos y productos ácidos orgánicos algunos de los cuales se volatilizan y otros quedan en solución dentro del aceite.

Estos contaminantes se encuentran disueltos o emulsionados en el aceite dieléctrico. Si no se eliminan o minimizan mediante tratamientos de reciclaje, el aceite termina su vida útil y puede provocar una falla dañando al equipo. Pero además dada la importancia que cualquier problema que pueda tener sobre el transformador y para detectar cualquier avería, prolongar la vida del transformador se debe vigilar periódicamente el estado del dieléctrico, sometiéndolo a análisis físico químicos. Si los análisis comprueban que no reúne unas condiciones mínimas de pureza, es necesario someterlos a reacondicionamiento y regeneración de aceite dieléctrico.



## **1.2 Justificación**

Debido a las normas de trabajo que exige comisión federal de electricidad, el desempeño del trabajador, debe ser eficiente para hacer su labor de trabajo el cual requiere facilidad en el manejo de los equipos y herramientas necesarias.

En el mercado ya existen purificadoras de aceite dieléctrico para transformadores de potencia pero existen equipos con un precio elevado en el mercado y muy grandes para su utilización lo cual se hace tener un trabajo deficiente y con muchas maniobras de trabajo por las dimensiones del equipo.

El rediseño del equipo será muy fácil de maniobrar y contara con un filtro que quitara desechos sólidos evitando su contaminación, facilitando al trabajador su uso práctico para el mantenimiento de transformadores de potencia, contara con válvulas que podrán realizar tres procesos dependiendo su utilización, como el bajado de aceite por gravedad (para regenerar), bombeo de aceite (para regenerar) y bombeo con filtración para la purificación y eliminación de partículas sólidos de 5 a 10 micrones por 0.01 metros cúbicos de aceite dieléctrico, en este caso.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Rediseño de equipo para la mejora del primer proceso de purificación de aceite dieléctrico de transformadores e implementación.

### **1.3.2 Objetivo específico**

Rediseño del equipo mecánico para un sistema de purificación de aceite dieléctrico que sea capaz de limpiar el aceite usando un filtro de material solido que es succionado por medio de presión y sea capaz de reutilizar el aceite para su uso y utilizarlo en el mantenimiento preventivo y correctivo a transformadores de potencia y con esto mantener en condiciones de operación a los transformadores de potencia de la zona de distribución Tuxtla.

## **1.4 Alcances y limitaciones**

### **1.4.1 Alcances**

- El presente trabajo considera el primer proceso de filtrado de aceite dieléctrico para quitar desechos sólidos de transformadores de potencia.
- Los dispositivos, elementos y accesorios se consideran dentro del mercado local, y considera la normatividad vigente.
- Obtener un flujo de succión eficiente.
- Facilitar el trabajo a los operadores.
- Disminuir los tiempos muertos, ya que se tendrá la disponibilidad del equipo.

### **1.4.2 Limitaciones**

- La purificación del aceite es nula en su totalidad debido a que solo sirve para materiales sólidos desprendido del transformador.
- La presión generada en el aceite dentro del recipiente podría generar fugas en el filtro.
- En caso de que la empresa no haga disponible los recursos necesarios entonces no se podrá implementar el proyecto rediseñado.

## **1.5 Área de influencia**

Este proyecto beneficiara a la empresa Comisión Federal de Electricidad en la oficina de subestaciones, para la zona de distribución Tuxtla y/o instalaciones que requieran de este equipo que quieran de la purificadora, disminuyendo los tiempos de operación para regenerar el aceite dieléctrico y manteniendo en optimo estado los transformadores y sus componentes, mejorando el desempeño y la vida útil de los mismos.

El área donde se realizara el proyecto se encuentra en la subestaciones ubicada en el libramiento norte cerca de la calzada el sumidero.

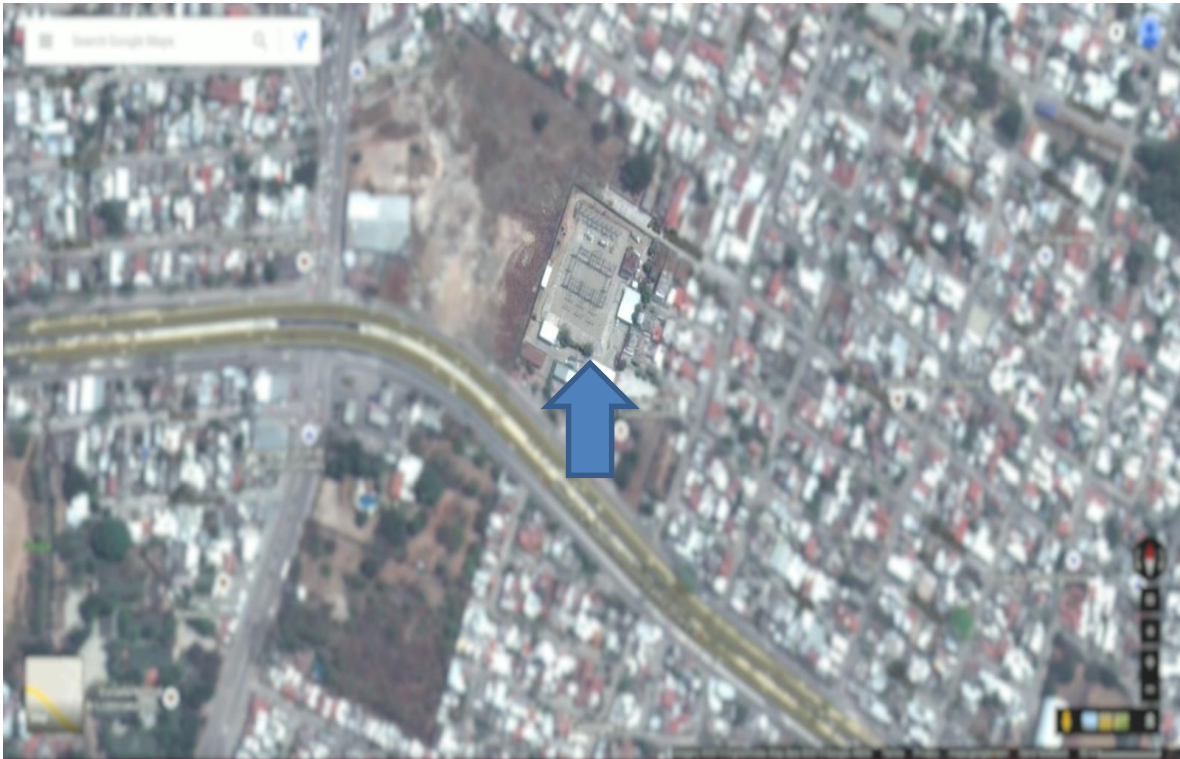


Figura 1. 1 Comisión federal de electricidad lugar ubicado en Google Maps



Figura 1. 2 Estación de comisión federal de electricidad

# **CAPÍTULO 2**

**FUNDAMENTO**

**TEÓRICO.**

## **FUNDAMENTO TEÓRICO**

La purificación del aceite dieléctrico de los transformadores está inmersa en uno de los sistemas auxiliares o de apoyo de todo el proceso que conlleva la generación termoeléctrica.

Una central termoeléctrica no es más que una industria dedicada a la transformación de energía mecánica inducida en forma de calor mediante la combustión de bunker y diésel en motores estacionarios, a energía eléctrica obtenida por el acople de un volante con un generador, para posteriormente distribuir esta energía en una subestación que contiene transformadores de potencia.

Generalmente las plantas de generación eléctrica como en este caso Comisión Federal De Electricidad se establecen geográficamente en lugares donde se pueda aprovechar al máximo los recursos necesarios para la producción y no afecten al medio ambiente. Por estas razones es indispensable transportar la energía hasta las subestaciones eléctricas ubicadas alrededor de los sectores de consumo mediante líneas de alta tensión (A.T.), y de ahí distribuir a los hogares mediante líneas de baja tensión (B.T.). Para lograr esto se necesita de varios tipos de transformadores.

Este capítulo contemplará aspectos básicos de los transformadores de potencia y sus componentes, así como también de características del aceite dieléctrico, normas establecidas para las pruebas de degradación del mismo y los fundamentos necesarios para la comprensión del proceso de filtración de aceite dieléctrico en la purificadora.

La profundidad en el estudio de los transformadores esta fuera del alcance de este proyecto, por esta razón, no se hará énfasis en dichos aspectos.

## 2.1 TRANSFORMADORES DE POTENCIA

Los transformadores de potencia son: Maquinas estáticas que tienen la misión de transmitir, mediante un campo electromagnético alterno, la energía eléctrica de un sistema, con determinada tensión, a otro sistema con tensión deseada” (Oliva, 1988, pág. 5).



Figura 2. 1 Transformador de (30 MVA) subestación Tuxtla uno, CFE

Clasificación a los transformadores de acuerdo al propósito de funcionamiento para el cual se los emplea Pérez (2001, pág. 6-8):

- Generación: transformadores elevadores (mayores a 500 kVA)

Conectado después del generador en una planta de generación eléctrica para posterior transmisión a líneas de alta tensión.

- Subestaciones: Transformadores reductores conectados al final de una línea de alta tensión para posterior sub-transmisión.
- Distribución: Transformadores reductores para líneas de consumo.

- De Medida: Transformadores de potencial (TP) y de corriente (TC), encargado de abastecer voltaje y corriente a equipos de protección y control en una subestación.



Figura 2. 2 Placa del transformador de subestación Tuxtla 1

## 2.1.1 COMPONENTES.

En su libro Transformadores de distribución describe y organiza a los componentes según al sistema interno al cuál pertenecen Pérez (2001, pág. 5-10):

### 2.1.1.1 Núcleo

Conformado por láminas de acero aisladas por los dos lados para disminuir perdidas por corriente parasitas y mejorar el flujo magnético. El tipo de núcleo puede ser

acorazado, si cubre a los devanados de alta y baja tensión, o de columnas si las bobinas están alrededor de núcleo

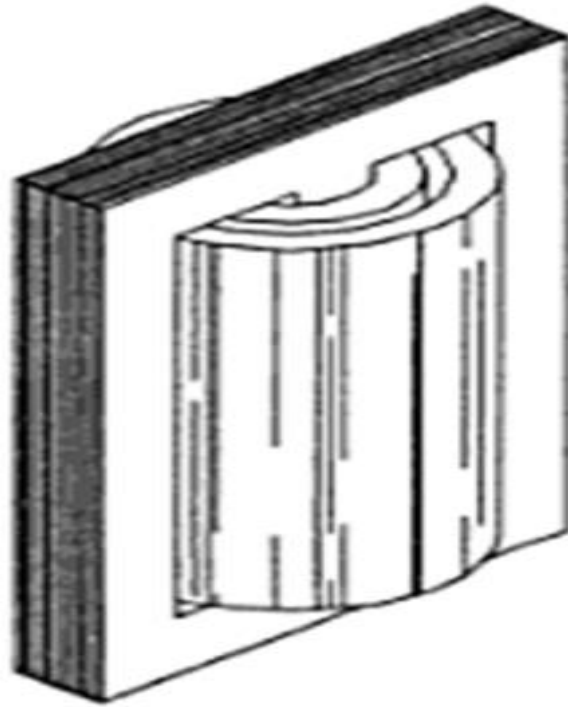


Figura 2. 3 Núcleo acorazado Fuente: (Pérez, 2001, pág. 6)

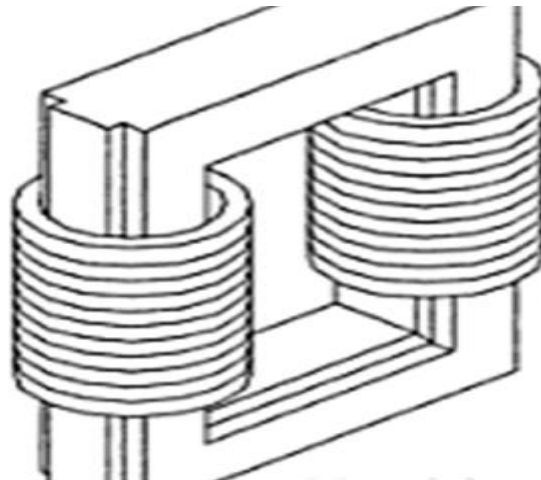


Figura 2. 4 Núcleo tipo columna Fuente: (Pérez, 2001, pág. 6)



### **2.1.1.2 Devanados**

Primario y Secundario: Fabricados generalmente de cobre, son los encargados de generar flujo magnético que por inducción producen una fuerza electromotriz en el secundario, la misma que se ve reflejada en el voltaje deseado, sea el transformador elevador o reductor.

### **2.1.1.3 Materiales aislantes**

Es uno de los elementos más importantes debido a que de este depende la vida útil del transformador, y tiene la finalidad de aislar eléctricamente los devanados, el núcleo y las partes metálicas que forman la estructura. Algunos de los materiales que sirven como aislantes son por ejemplo: papel kraft, papel manila, cartón prensado, barniz, porcelanas, etc.

### **2.1.1.4 Aceite mineral**

Se encuentra almacenado en un tanque y restringe la humedad que afecta al material aislante, evitando que este se permee. Como parte fundamental de este proyecto se profundizara el estudio del aceite posteriormente.

### **2.1.1.5 Estructura y Tanque**

Contiene todo el conjunto del transformador y provee protección mecánica al núcleo, devanados y aceite mineral, protegiendo de humedad y contaminación externa.

Existen tres tipos de tanques:

- Respiración libre: El aire que se encuentra sobre el aceite depositado en el fondo del tanque tiene salida a la atmosfera mediante una tubería de

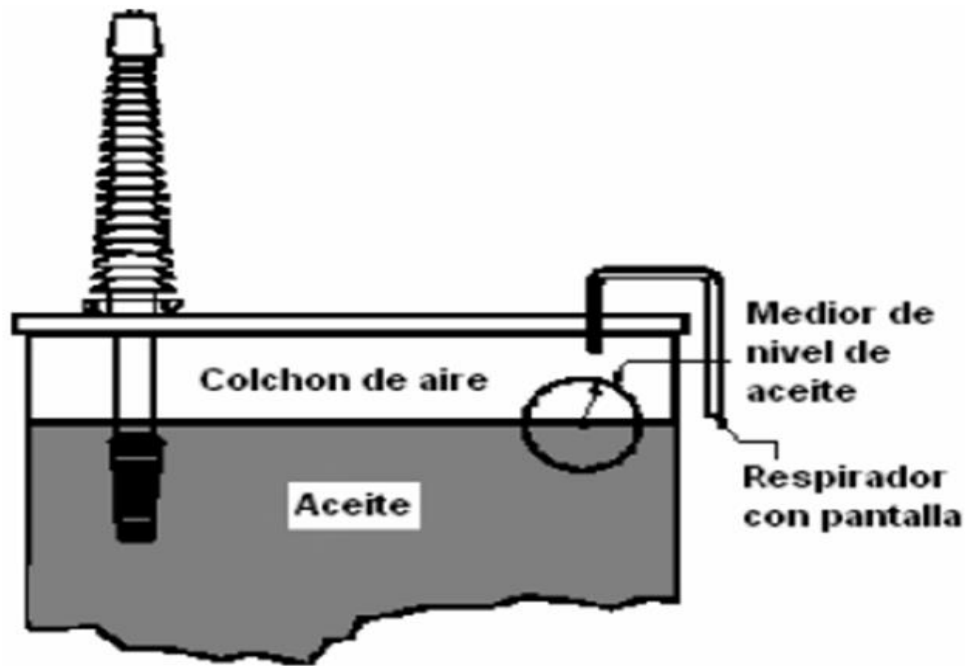


Figura 2. 5 Transformador de tanque con respiración libre Fuente: (Kelly, Myers, & Stebbins, 2004)

respiración. Hay mayor riesgo de desgaste del papel aislante por la humedad circúndate en el tanque.

- Tanque conservador: Existe un tanque llamado de expansión o de conservación sobre el transformador con el fin de mantener lleno de aceite el tanque principal, y evitar el contacto de la humedad con los elementos internos del mismo, así se reduce el riesgo de oxígeno.

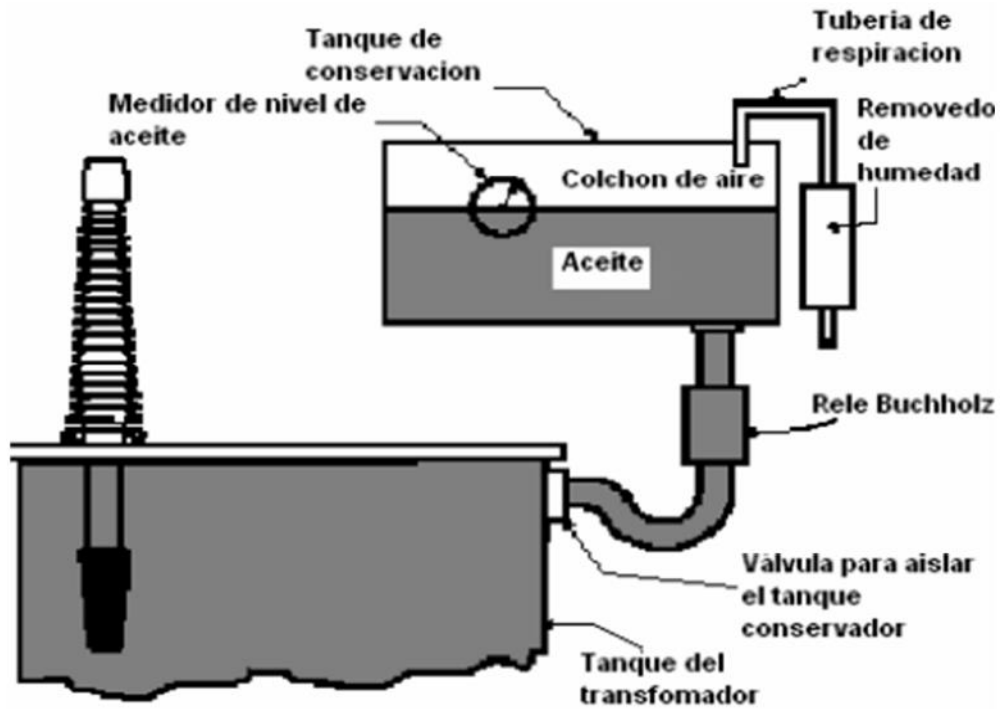


Figura 2. 6 Tanque tipo conservador Fuente: (Kelly, Myers, & Stebbins, 2004)

- Tanque sellado: Este tanque es similar al de respiración libre, solo que en lugar de una tubería abierta, tiene una válvula de alivio para tener una presión interna de +0 hasta -5 psi y la tapa superior no necesita pernos porque esta su1ldada.

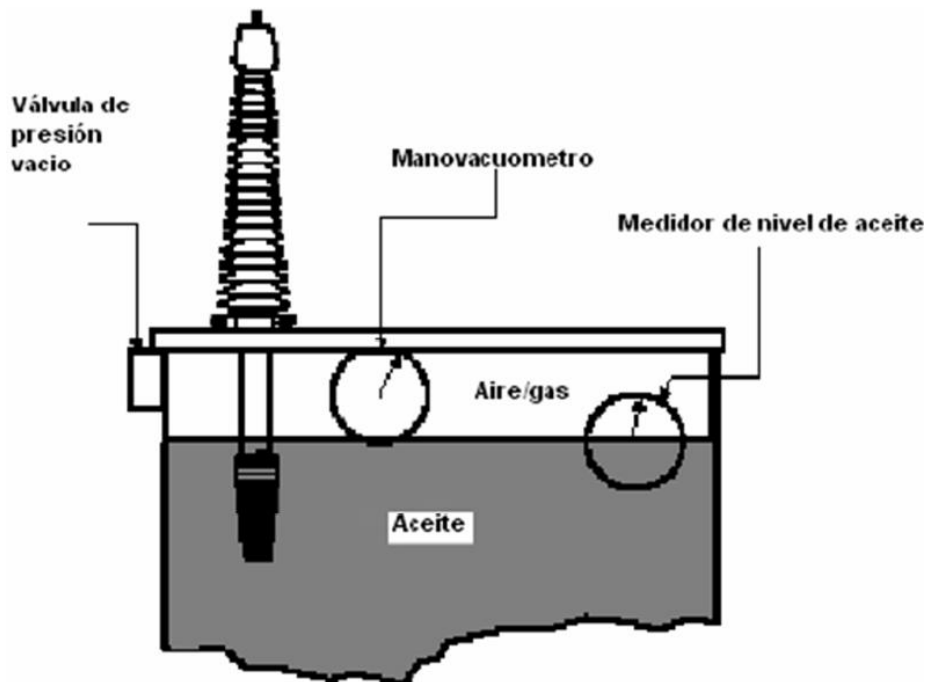


Figura 2. 7 Tanque sellado. Fuente: (Kelly, Myers, & Stebbins, 2004)

De acuerdo al tipo de transformador, se encuentra accesorios y elementos indispensables para el correcto funcionamiento del mismo.

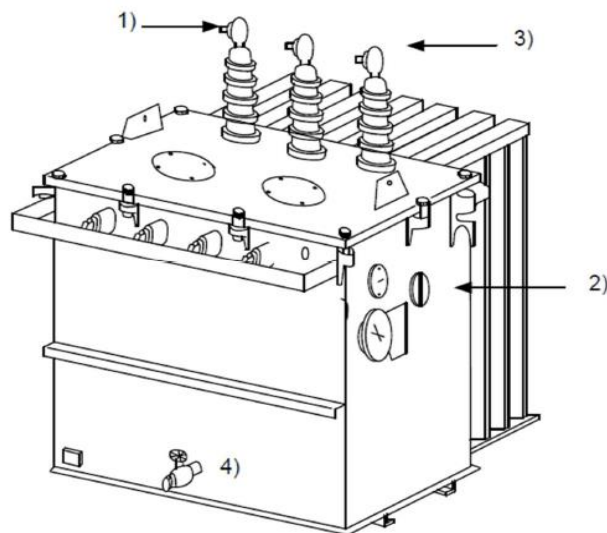


Figura 2. 8 Accesorios de un transformador. Fuente: (Pérez, 2001)

- 1) Bushing de porcelana
- 2) Taps (selección de derivaciones)

- 3) Terminal de alta o baja tensión
- 4) Válvula de aceite mineral

Existe además instrumentación y aparatos de medida que permiten mantener un control y observación de parámetros como temperatura del transformador con termómetros, nivel de aceite, y en algunos casos una temperatura adecuada para todo el sistema.

#### **2.1.1.6 Sistema de Enfriamiento**

Existen los transformadores sumergidos en aceite y en seco.

- A) Sumergidos en aceite.
- B) En seco.

En aceite:

- OA transformador con enfriamiento natural más utilizado en la industria por su bajo costo. El aceite mineral circula por convección natural en el tanque.
- OA/FA/FOA: Adicional a los ventiladores que proveen de enfriamiento por el aire, la circulación forzada del aceite se logra con bombas que pueden ir conectadas a los cabezales de los mismos
- FOA: Enfriamiento con el aire y aceite forzado mediante la circulación a través de intercambiadores de calor exteriores.
- WO: Enfriamiento por agua, el mismo que se encuentra dispuesto fuera del tanque en un intercambiador de calor tubular. El agua se drena por gravedad y el aceite fluye en contacto con los tubos.
- FOW: Similar al FOA, solo que el enfriamiento se realiza en un intercambiador de calor modelo agua-aceite sin la necesidad de ventiladores.

En seco:

- AA: Enfriamiento propio, carece u otro fluido como aislante, el aire es el único medio aislante que rodea al núcleo y devanados.

- AFA: Con aire forzado mediante un ventilador que lleva el aire por un ducto hacia el núcleo y devanados.
- AA/FA: Enfriamiento propio y con aire forzado, control de los dos sistemas mediante un relevador térmico.

#### **2.1.1.7 Sistema de aislamiento**

El sistema de aislamiento en un transformador consta de dos medios:

- Sólido (Aceite Aislante)
- Fluido (Aceite Mineral – Dieléctrico)

Estos dos componentes son de gran importancia para el correcto funcionamiento de un transformador, ya que debido a varios factores principalmente ambientales y otro de esfuerzos mecánicos, eléctricos y térmicos a los que están expuestos, se degradan ocasionando serios problemas que se pueden terminar en desastres si no se los atiende a tiempo con un mantenimiento apropiado.

### **2.1.2 PAPEL AISLANTE**

Según Ernesto Gallo, este componente es tan importante que en su libro menciona: “la vida útil del transformador es la vida útil del papel aislante”. (Gallo, 2007, pág. 1)

Cuando un papel aislante es apto para el trabajo de un transformador y se encuentran en buenas condiciones, debe cumplir con las siguientes funciones básicas:

- Resistencia mecánica a la atracción: debe soportar los esfuerzos axiales originados por corto circuito.
- Resistencia térmica y buena transferencia de calor.
- Capacidad para mantener sus características deseables: El periodo de su vida útil debe de ser de duración razonable, contando con un apropiado mantenimiento.
- Excelente rigidez dieléctrica
- Debe ser químicamente estable.

### 2.1.2.1 Papel kraft

Uno de los materiales sólidos que más se utilizan en la industria como medio aislante es el papel dieléctrico de pulpa de madera Kraft, llamado así por el proceso al que se aplica a la madera para conseguir características aislantes. Este proceso consiste en la cocción de troncos de madera en una solución catalizadora de sulfato de sodio (procedimiento al sulfato) e hidróxido de sólido para extraer la lignina de la fibra de la madera.

Ernesto Gallo (2007, pág. 10) Manifiesta que este tipo de papel posee una gran resistencia mecánica y eléctrica, es un excelente absorbente de los degradantes del aceite porque es extremadamente poroso. Además sirve como catalizador en el proceso de oxidación de los hidrocarburos del aceite en la zona inferior de las bobinas donde la temperatura es más baja.



Figura 2. 9 Papel Kraft. Fuente: (Weidmann,

El papel kraft inmerso en un buen aceite mineral libre de agua y de productos oxidante, resulta ser la mejor combinación como sistema de aislamiento para el transformador, por esta razón la resistencia dieléctrica del conjunto aislante papel-

aceite aumenta en un 23% en comparación a la suma de las resistencias que ofrece cualquier de los dos materiales solos.

La siguiente figura 2.11 muestra como un papel comprado con otros tipos posee mayor estabilidad térmica y buena resistencia a la tensión axial ante el efecto debido al envejecimiento y al agua.

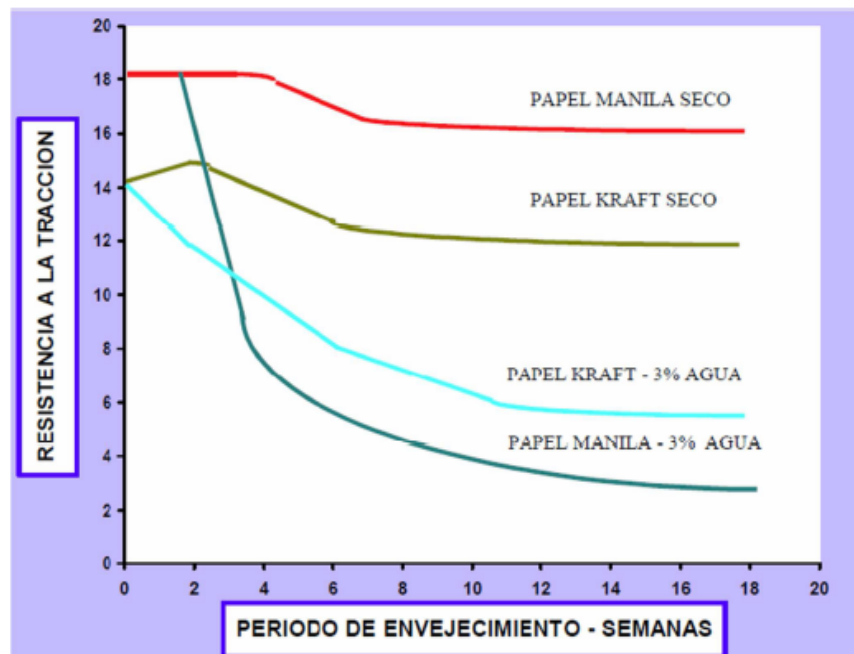


Figura 2. 10 Curvas resistencias tracción – envejecimiento. Fuente: (Gallo.

## 2.2 ACEITE DIELECTRICO (MINERAL)

El aceite mineral es resultado de la mezcla apropiada obtenida mediante procesos especializados de destilación y refinación de hidrocarburos:

Isoparafínicos, nafténicos y aromáticos que poseen entre 16 y 22 átomos de carbono, los cuales aportan las características necesarias para que el aceite cumpla con 3 funciones principales internamente en el transformador (refrigerante, aislante eléctrico y protector), conservando al mismo tiempo una buena estabilidad a la oxidación y una aceptable tendencia a la gasificación.



El petróleo que es la fuente principal para la fabricación de aceite mineral para transformadores también posee compuestos que son no-hidrocarburos, es decir, compuestos que en lugar de átomos de carbono, tiene átomos de azufre, oxígeno o nitrógeno. Cuando el aceite dieléctrico contiene no-hidrocarburos como ácido nafténico, esteres, alcohol, base de silicona, se llama aceite sintético. En la actualidad apenas el 10% de la industria utiliza este tipo de aceites en los transformadores, debido a que son solos útiles en casos donde se requiera extrema seguridad para amplios tiempos de servicio. Existe casos de aplicaciones severas en donde a los aceites dieléctricos con base mineral se los completa con aditivos de inhibidor de oxidación para mejor confiabilidad.

## **2.2.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA**

Distingue porcentajes comunes de los compuestos que forman el aceite mineral:

Compuesto isoparafínicos: de 35% a 40%

Compuestos nafténicos: de 50% a 60%

Compuestos aromáticos: de 4% a 8%

A continuación se describe las 3 principales bases de hidrocarburos que forman el aceite dieléctrico:

### **2.2.1.1 Hidrocarburos isoparafínicos**

“Son compuestos de la familia de los alcanos (hidrocarburos saturados)

Con formula general  $C_nH_{2n-2}$  formados por cadenas abiertas como las parafinas normales, pero con ramificaciones laterales en su estructura”

(Gallo, 2007, pág. 5).

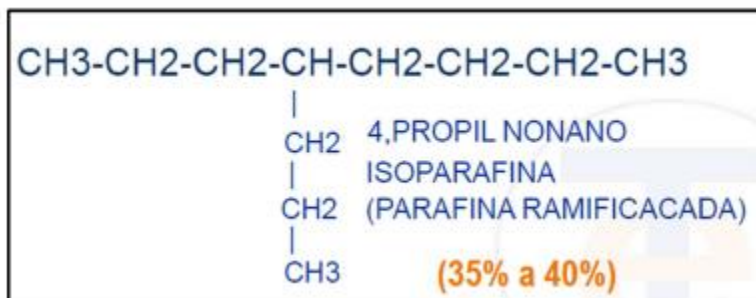


Figura 2. 11 isoparafinas. Fuente: (Gallo, 2007, pág. 5)

Algunas de las características que este hidrocarburo provee al aceite dieléctrico son:

- Fácil flujo de aceite a bajas temperaturas (refrigerante), debido a que el punto de fluidez es menor que en las parafinas normales.
- Poca tendencia a la gasificación.
- Buena estabilidad a la oxidación.

### 2.2.1.2 Hidrocarburos nafténicos

“También llamados cicloparafinas. Son compuestos de la familia de los alcanos con formula general  $C_nH_{2n}$ , que poseen en su estructura grupos anulares de alrededor de 6 átomos de carbono”. (Gallo, 2007, Pág. 6)

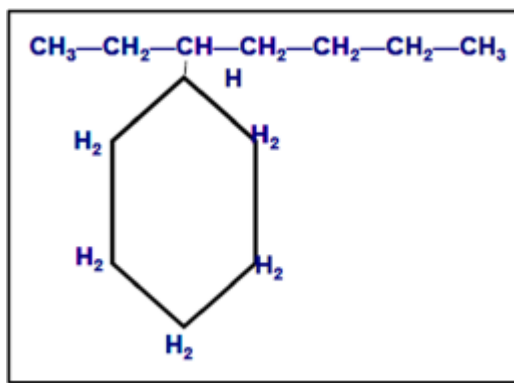


Figura 2. 12 Base nafténica Fuente: (Gallo, 2007, Pág. 6)

Las características principales de esta base son:

- Buena Fluidez a bajas temperaturas.
- Pobre tendencia a gasificación y formación de carbones por descargas eléctricas.
- Buena estabilidad ante la oxidación.
- Alta tensión interfacial y coeficiente de expansión admisible.

### 2.2.1.3 Hidrocarburos aromáticos

“Están formados por estructuras anulares en donde una valencia de un átomo de carbono está instaurada. Los aromáticos presentes en el aceite aislante presentan ramificaciones que los hacen relativamente estables a la oxidación”. (Gallo, 2007, Pág.6)

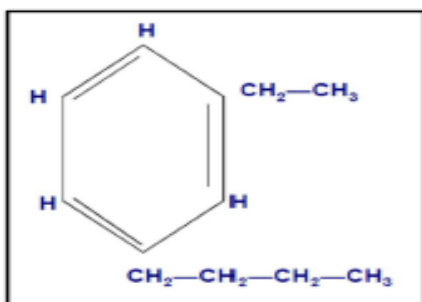


Figura 2. 13 compuesto aromático Fuente: (Gallo, 2007, Pág.7)

La empresa Shell, en su artículo sobre transformadores publicado en la web menciona algunas de las propiedades de este hidrocarburo:

- Al estar en exceso de aceite, el bajo coeficiente de expansión que presentan los hidrocarburos aromáticos dificultan la disipación de calor y con ello se permite la refrigeración.
- Actúa como captore de oxígeno por la formación de compuestos químicos estables que no traen reacciones de oxidación.

- Alto poder de solvencia frente a resinas y lacas que pueden deteriorar el aislamiento de los devanados (bajo punto de anilina).
- Son inhibidores naturales del aceite contra la oxidación.

## 2.2.2 PROPIEDADES

Al hablar de las propiedades del aceite dieléctrico implícitamente se está estudiando los agentes químicos, variables físicas y eléctricas que degradan de alguna u otra a este medio aislante.

Shell (2001, pág. 18-21), en su revista publicada destaca las propiedades de este fluido que seguidamente se describen:

### 2.2.2.1 Propiedades físicas

#### 2.2.2.1.1 Viscosidad.

Los aceite dieléctricos deben tener una baja viscosidad para mejorar la disipación de calor.

Mediante la norma ASTM D-445 o D-88 se establecen las máximas viscosidades a ciertas temperaturas de evaluación.

**Tabla 2.1**

<b>Temperatura</b>	<b>Viscosidad</b>
<b>100 °C</b>	<b>3 cSt.</b>
<b>40 °C</b>	<b>12 cSt.</b>
<b>0 °C</b>	<b>76 cSt.</b>

Tabla 2. 1 Parámetros Normalizados de Viscosidad del Aceite Fuente: (SELL, 2011, pág. 18)

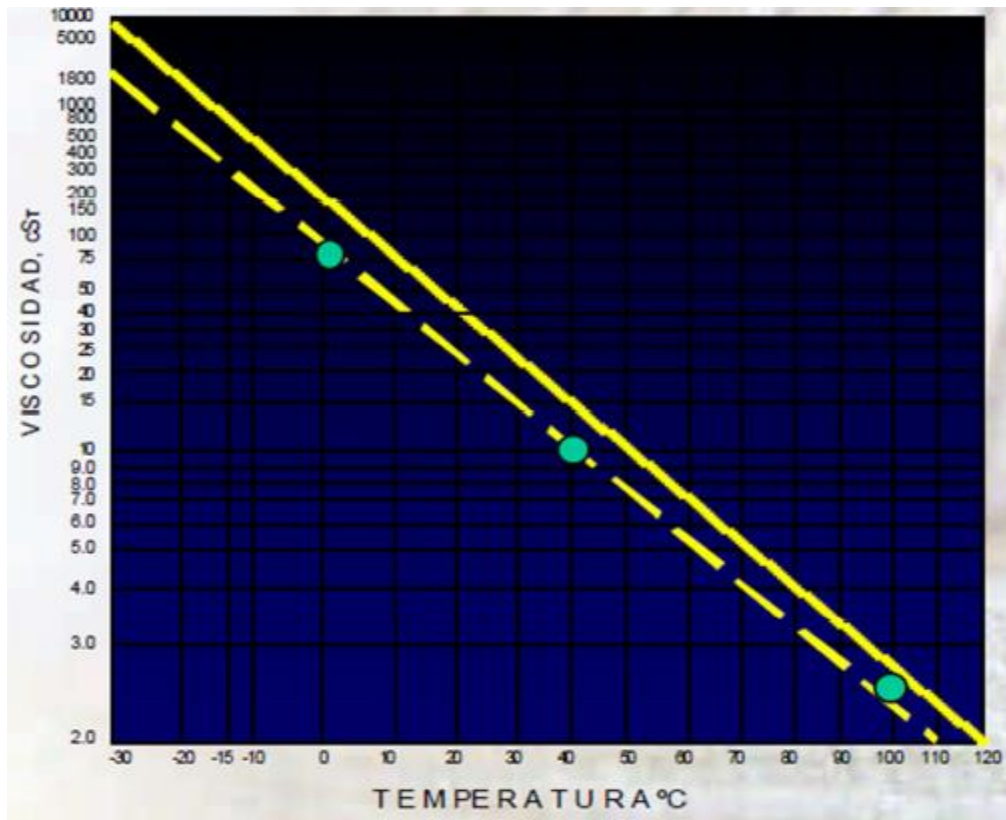


Figura 2. 14 curva viscosidad vs. Temperatura aceite dieléctricos Fuente: SELL, 2011, pág. 18)

#### 2.2.2.1.2 Punto de fluidez

Es la temperatura en la cual el aceite dieléctrico deja de fluir cuando está en un proceso de enfriamiento continuo.

$T \geq 0 \text{ } ^\circ\text{C}$  (Presencia dominante de hidrocarburos parafínicos).

$T = -10 \text{ } ^\circ\text{C}$  (Presente dominante de hidrocarburos isoparafínicos).

$-20 \text{ } ^\circ\text{C} \leq T \leq -35 \text{ } ^\circ\text{C}$  (presencia de hidrocarburos nafténicos).

$-40 \text{ } ^\circ\text{C} \leq T \leq 60 \text{ } ^\circ\text{C}$  (Presencia de hidrocarburos aromáticos)

El punto de fluidez aceptable para aceites dieléctricos según la norma ASTM D-97 está en el rango de  $-40 \text{ } ^\circ\text{C}$  a  $-50 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

#### 2.2.2.1.3. Punto de inflamación

Es la mínima temperatura a la cual el aceite produce vapores que mezclados con el oxígeno son explosivos ante la presencia de una llama.

Este valor es 145°C, mientras más alto, más seguro es su uso en los transformadores

#### 2.2.2.1.4 Tensión interfacial

Efecto producido en la superficie de contacto de dos líquidos insolubles, que tiende a modificar la tensión superficial de ambos y por ende el aumento de la humedad de saturación del aceite haciendo más conductor de electricidad. Según el método de evaluación de esta propiedad ASTM D-971, la mínima tensión interfacial aceptada es de 40 dinas/cm

#### 2.2.2.1.5 Punto de Anilina

“Temperatura a la cual un aceite dieléctrico se disuelve en un volumen igual de anilina. Sirve como parámetros de control de calidad” (SELL, 2011, pág. 19)

Un buen aceite dieléctrico posee temperaturas de disolución entre 78°C a 86°C, aunque el método ASTM D-611 establece que el punto de anilina aceptado es de 63 °C a 84 °C.

#### 2.2.2.1.6 Color

La intensidad de color del aceite depende de que hidrocarburo predomina, siendo así, blanco y transparente cuando el aceite está en mayor cantidad con isoparafínicos. Cuando el aceite es amarillo claro a amarillo verdoso, posee más hidrocarburos nafténicos. Los aromáticos dan una coloración naranja a marrón oscuro. El método ASTM D-1500 establece que para los aceites dieléctricos la coloración debe ser amarillo claro (0,5).

## 2.2.2.2 Propiedades Eléctricas

### 2.2.2.2.1 Factor de Potencia.

Es el valor que indica las pérdidas de corriente cuando el equipo se encuentra en operación. Estas pérdidas se producen cuando en el aceite hay compuestos polares, los mismos que son la causa de aumentos anormales de temperatura.

En el método ASTM D-924 se indica el máximo factor de potencia permisible.

Temperatura	% Factor Pot.
25 °C	0,05%
100 °C	0,30%

Tabla 2. 2 Parámetros Normalizados de Factor de potencia. Fuente: (SHELL, 2011, pág. 20)

### 2.2.2.2.2

#### Rigidez dieléctrica

Es el mínimo voltaje en el que entre dos electrodos metálicos se producen un arco eléctrico. La rigidez dieléctrica indica la capacidad que posee el aceite cuando con agua, carbón o algún elemento extraño, no obstante cuando su resistencia es alta, quiere decir todo lo contrario.

Para eliminar estos contaminantes se utiliza procesos de filtración o centrifugación.

## 2.2.2.3 Propiedades Químicas

### 2.2.2.3.1 Estabilidad a la oxidación

Un aceite dieléctrico con buenas condiciones debe ser muy estable ante la oxidación ya que debido a la presencia del aire, las altas temperaturas de operación y la

influencia de metales como hierro y cobre se puede alterar químicamente la composición del aceite, dando lugar a la formación de ácidos y lodo que reducen la capacidad aislante del aceite y obstruyen la transferencia de calor internamente, provocando pérdidas de potencia eléctrica al transformador.

### 2.2.3 VIDA ÚTIL DEL ACEITE DIELECTRICO

En la actualidad se puede establecer un indicador que muestre aproximadamente la vida útil del aceite aislante, el mismo que se define como: “El tiempo durante el cual el aceite alcanza un número de neutralización de 3.0 mg KOH\_/g” (Gallo, 2007, pág. 11). Este tiempo depende de algunos factores como:

- Cantidad de aire en el aceite.
- Hidrósisis del agua presente en el transformador.
- Descomposición de la celulosa del papel aislante (Kraft).
- Temperatura de operación del transformador.

Número de Neutralización vs Temperatura	
Temperatura ( °C) de Operación del Equipo	Vida útil del aceite dieléctrico en años
60	20
70	10
80	5
90	2,5
100	1,25
110	7 meses

Tabla 2. 3 Vida útil del aceite dependiendo de la temperatura Fuente: (SHELL, 2011, pág. 27)



## 2.2.4 PROCESO DE FABRICACIÓN

En la siguiente ilustración, tomada del tutorial de lubricantes SHELL, se muestra el proceso completo para la obtención del aceite dieléctrico.



Figura 2. 15 Proceso de fabricación del aceite dieléctrico Fuente:  
(SHELL, 2011, pág. 24)

## 2.2.5 CAUSAS DE FALLA EN TRANSFORMADORES

Como se mencionó anteriormente, los transformadores tienen una vida útil que depende de 3 factores, los mismos que engloban principalmente al estado del sistema de aislamiento. En otras palabras, si al aceite dieléctrico se le da un mantenimiento adecuado que regenere sus propiedades y elimine los compuestos oxidante, ácidos y lodos, se evitará la descomposición de la celulosa conservando en excelentes condiciones el papel aislante (Kraft), así el transformador tendrá mejores expectativas de vida útil. Reciente estudios, que en su mayoría son realizados por empresas aseguradoras, han demostrado que la edad media para los transformadores es alrededor de los 30 años o más.

La organización internacional IMIA Working Group, publicó los resultados del estudio de las principales causas de falla de 94 transformadores con potencial iguales o superiores a 25 MVA, situados en diferentes lugares del mundo.

~.

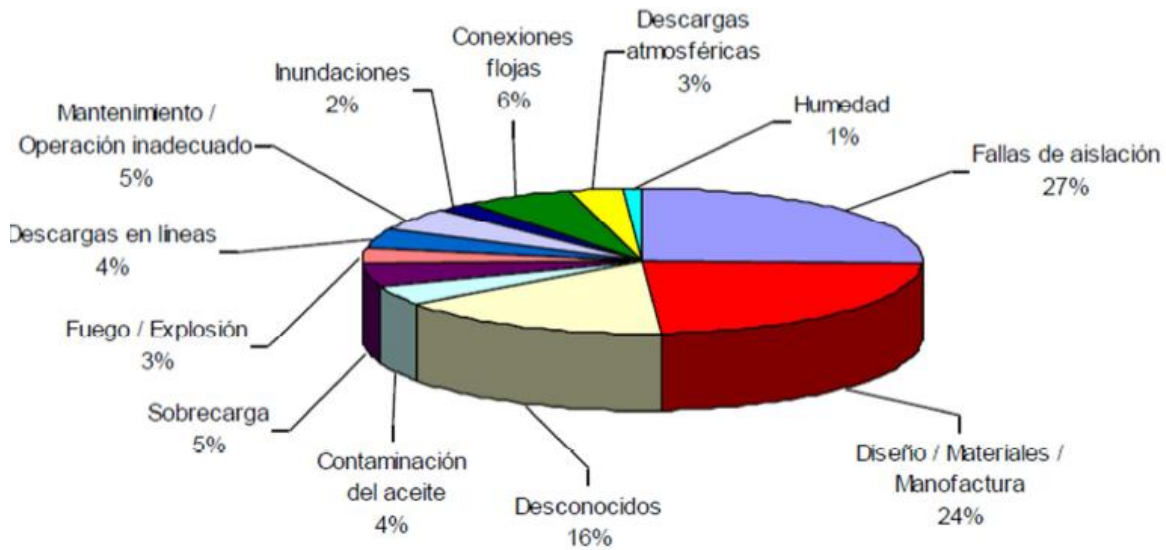


Figura 2. 16 Causales de falla en 94 transformadores de potencia durante 1997-2001 difundida por: IMIA W.G Fuente: (Alvarez & Del pozo, 2007, pág. 1)

Como se puede observar, la primera causa de fallas en transformadores se da por el sistema de aislamiento.

### 2.3 ESPECIFICACIÓN DE NORMAS

La nomenclatura ASTM viene dado por American Society for Testing and Materials, en esta norma (ASTM D-117) se relacionan 33 propiedades de los aceites minerales con base en hidrocarburos y 55 métodos de prueba. Pero en la práctica, según consenso internacional, solamente 8 son importantes para medir la degradación y contaminación de los aceites. Estos métodos presentan criterios prácticos con base en la experiencia para tomar decisiones acertadas al momento de realizar el mantenimiento preventivo que exactamente necesita el transformador.

Estas pruebas son útiles para monitorear los aceites en operación con una ventaja muy grande, que permite determinar el porcentaje de agua en el papel, y el estado de degradación del aceite, estimado también el grado de impregnación de producto ácido en el papel aislante.

Ninguna prueba por si sola se debe tomar como un indicador confiable para tomar cualquier decisión en materia de mantenimiento. Es necesario tener en cuenta el paquete de las 8 pruebas. De todas maneras la ASTM tiene establecida la norma D-3487<sup>1</sup> que fija los requerimientos de las propiedades para los aceites aislantes nuevos.

### **2.3.1 RIGIDEZ DIELECTRICA (ASTM D-877)**

“Se define como rigidez dieléctrica a la capacidad de un aislante para soportar tensión eléctrica a determinada rampa de incremento de la misma sin fallar.” (Gallo, 2007, pág. 28)

Esta prueba se la realiza aplicando voltaje paulatinamente a dos electrodos de bronce sumergidos en aceite dieléctrico en un vaso de prueba apropiado, los mismos que están separados a cierta distancia y son de una geometría específica, según la norma que se esté aplicando.

Si bien esta prueba puede dar un primer indicio de la presencia de contaminantes en el aceite tales como: agua, impurezas, fibras de celulosas o partículas conductoras; no indicadas que haya ausencia de dicho contaminantes cuando su valor es bueno (alto).

**Tabla 2.4**

<b>Aceptable</b>	<b>Valor mayor de 30 kV/2.5 mm</b>
<b>Cuestionable</b>	<b>Valor entre 25 y 30 kV/2.5 mm</b>
<b>Inaceptable</b>	<b>Valor por debajo de 25 kV/2.5 mm</b>

Tabla 2. 4 Rangos de calificación normas ASTM D-877 Fuente: (Gallo, 2007, pág. 27).

### **2.3.2 CONTENIDO DE AGUA (ASTM D-1533)**

Esta norma se puede verificar mediante el método preciso y totalmente automático de Karl Fisher, basado en la titulación coulométrica.

Es considerada muy importante porque permite valorar de forma exacta el contenido total de agua en el aceite dieléctrico, sustituyendo la deficiencia que puede arrojar los resultados de la norma de rigidez dieléctrica.

Según S.D. Myers (2004), con este valor se puede calcular el porcentaje aproximado de agua en el papel aislante, teniendo en cuenta la temperatura del aceite en la parte baja del transformador.

<b>Aceptable</b>	<b>Valor menor de 30 ppm</b>
<b>Cuestionable</b>	<b>Valor entre 30 y 34.9 ppm</b>
<b>Inaceptable</b>	<b>Valor por encima de 35 ppm</b>

Tabla 2. 5 Rangos de calificación norma ASTM D-1533 Fuente: (Gallo, 2007, pág. 27)

### **2.3.3 NÚMERO DE NEUTRALIZACIÓN (ASTM D-974)**

“Se define como: peso en miligramos de KOH (base), que se requiere para neutralizar el ácido de un gramo de muestra de aceite.” (Gallo, 2007, pág. 36)

Debido a que el aceite se encuentra constantemente en un proceso de degradación, es importante realizar un monitoreo periódicamente mediante esta norma.

<b>Aceptable</b>	<b>Valor menor de 0.05 mgKOH/g</b>
<b>Cuestionable</b>	Valor entre 0.06 y 0.1 mgKOH/g
<b>Inaceptable</b>	Valor por encima de 0.1 mgKOH/g

Tabla 2. 6 Rangos de calificación norma ASTM D-974. Fuente: (Gallo, 2007, pág. 27).

### 2.3.4 TENSION INTERFACIAL. (ASTM D-971)

Sirve para medir la fuerza de atracción molecular entre el agua y el aceite. El procedimiento se lo realiza con la ayuda de un tensiómetro de presión, aplicando una fuerza a un anillo de platino-iridio. Se mide en dinas/cm.

Este valor permite saber la afinidad que tiene el agua con el aceite dieléctrico, ya que en el aceite pueden existir disueltos compuestos polares de degradación que facilitan la captación de humedad.

**Tabla 2.7**

<b>Aceptable</b>	<b>Valor mayor de 32 Dinas/cm</b>
<b>Cuestionable</b>	Valor entre 28 y 31.9 Dinas/cm
<b>Inaceptable</b>	Valor por debajo de 27.9 Dinas/cm

Tabla 2. 7 Rangos de calificación norma astm d-971. Fuente: (Gallo, 2007, pág. 27).

### 2.3.5 COLOR (ASTMA D-1500)

Sirve para determinar el color del aceite dieléctrico a partir de aparatos estándar establecidos en la norma, mediante la comparación con ayuda de un colorímetro.

Los valores cuantificados resaltan el grado de contaminación por acidez y es muy útil para observar un cambio sensible en periodos de tiempo cortos.

**Tabla 2.8**

<b>Aceptable</b>	<b>Valor menor de 3.5</b>
<b>Inaceptable</b>	<b>Valor mayor de 3.5</b>

Tabla 2. 8 Rangos de calificación norma ASTM D-1500 Fuente:

(Gallo, 2007, pág. 27)

### **2.3.6 GRAVEDAD ESPECÍFICA (ASTM D-1298)**

“Es el valor adimensional que dé la razón entre la masa de un volumen dado de aceite, y la masa de agua para ese mismo volumen. Es un examen rápido para detectar la presencia de contaminantes.” (Gallo, 2007, pág. 41)

Además ayuda a conocer el origen del aceite (nafténico o parafínico) y que un aceite con base parafínica tiene una gravedad específica menor que 0.08 y con un valor cercano a 1, se puede prever la posibilidad de existencia de ascarel (PCB´s).

<b>Aceptable</b>	<b>Valor entre 0.84 y 0.91</b>
<b>Cuestionable</b>	<b>Valor por debajo de 0.84</b>
<b>Inaceptable</b>	<b>Valor por encima de 0.91</b>

Tabla 2. 9 Rangos de calificación norma ASTM D-1298 Fuente: (Gallo,

2007, pág. 27)

### **2.3.7 FACTOR DE POTENCIA – NORMA ASTM-924**

Es la potencia en Vatios disipada por el aceite dividido por la potencia total en Voltamperios aplicada, utilizado el aceite como dieléctrico en un contenedor.

Es una prueba muy confiable que nos indica contaminaciones del aceite. Se efectúa a 25°C y a 100°C. A 25°C no debe exceder 0.05% para aceite nuevo y a 100°C no debe exceder 0.3%. Un valor práctico para aceites en operación es de menos de 0.1% a 25°C. Si a 100°C la temperatura es más de 7 a 10 veces el valor a 25°C nos indica inicialmente contaminantes en el aceite, diferentes al agua.

## **2.3.8 CONTENIDO DE INHIBIDOR – NORMA ASTM D-4768**

Actualmente hay dos tipos de inhibidores que se usan:

- DITERCIARIO-BUTIL PARA-CRESOL (DBPC)
- DITERCIARIO-BUTIL FENOL (DBP)

El único factor directamente controlable en la caracterización de un aceite terminado es su máximo contenido permisible de inhibidor de hasta 0.08%.

La presencia de inhibidor artificial (los inhibidores naturales son los compuestos aromáticos) es deseable porque aumenta la resistencia del aceite contra la oxidación aumentada considerablemente el periodo de inducción.

Se coloca en aceite que han iniciado el proceso de oxidación por su trabajo dentro del transformador o que han sido sometidos a procesos de regeneración con el fin de descodificar el transformador y/o efectuar la recuperación del aceite mismo.

Chequear periódicamente el contenido de inhibidor en el aceite es una muy sana precaución pues nos podemos ahorrar costos de mantenimiento con solo mantener el contenido de inhibidor en niveles de seguridad. A mayor grado de acidificación del aceite, mayores serán los costos de un buen mantenimiento.

# **CAPÍTULO 3**

**Procedimiento y  
descripción de las  
actividades  
realizadas.**



### **3.1 DESCRIPCIÓN DE DESEMPEÑO ACTUAL DEL EQUIPO DEL PRIMER PROCESO DE PURIFICACIÓN**

De acuerdo lo planeado, el día lunes 31 de agosto de 2015, se realizó una observación exhaustiva del funcionamiento actual de la purificadora mediante la filtración de aceite dieléctrico, contenido en el interior del transformador con 19316 litros de aceite dieléctrico, ubicado en la subestación Tuxtla 1 de la empresa.

Fue necesario adquirir 96 tambos de 200 litros para extraer el aceite del transformador y recircular a través de la filtradora.



Figura 3. 1 Filtradora de aceite

#### **3.1.1 MODO DE OPERACIÓN ACTUAL DE LA PURIFICADORA**

A continuación se describirá paso a paso el modo de operación del sistema:

- Primeramente es necesario verificar todas las purgas de aceite estén cerradas, así como también la posición de las válvulas de paso en todo el sistema.

- La válvula de entrada, salida y de bypass de la filtradora deben estar completamente abiertas.
- Debe estar conectado a una fuente eléctrica trifásica para poner en función al equipo.
- Deberá estar encendido el motor eléctrico.



**Figura 3. 2 Lateral izquierda de la purificadora con sus componentes**

Este procedimiento de la purificadora es continuo debe estar siempre supervisado por un operador ya que el sistema de control es totalmente manual. El equipo debe funcionar por varias horas dependiendo del volumen de aceite a filtrar.

Existen diferentes procesos de operación de la purificadora.

1.- Operación básica.

2.- Por caída de gravedad.

3.- Por bombeo.

- Primer proceso:

En este proceso el aceite pasara a través de la bomba, sin pasar por el filtro.

Para esto se necesita abrir:

V1, se cerrara V2 y V3 (se verificara el sentido de la válvula de tres vías). ver figura 3.3.

- Segundo proceso:

Este proceso se denomina por caída de gravedad el cual aprovecha la energía del líquido comprimido del transformador, aquí se abre válvula T la cual es la entrada de la manguera, se cierran la las válvulas V1 Y V2 , el motor permanecerá apagado y no pasara el aceite por el filtro. (La velocidad de la descarga del fluido dependerá de la presión que exista dentro del transformador)

Tercer proceso por bombeo:

Primero se abrirá V1, se cerrara V2, se abrirá V3 con dirección al filtro, se abrirá V4 y se encenderá el motor eléctrico que se acciona ala bomba.

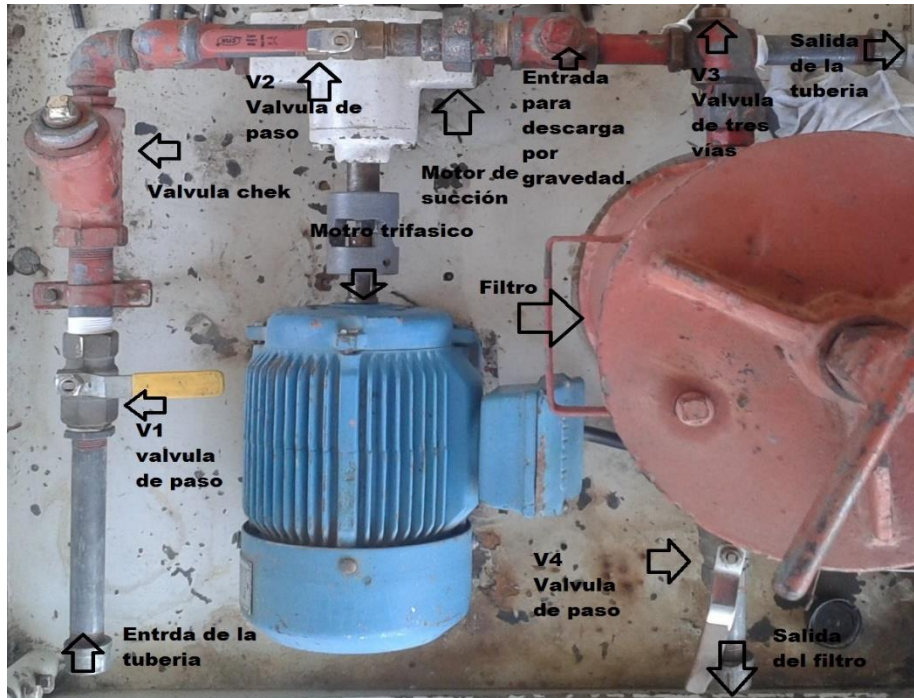


Figura 3. 3 Seguimiento de dirección de las válvulas

### 3.2 PARÁMETROS DE DESEMPEÑO ACTUAL

Los siguientes datos fueron tomados durante el funcionamiento del equipo:

En una hora de succión por la bomba se estima 4,000 litros de aceite filtrado para después ser regenerado.

Tabla 3. 1 Parámetros de desempeño actual

<b>Transformador</b>	<b>1</b>
<b>Total de litros dentro del transformador</b>	<b>19316 Lts.</b>
<b>Total de horas de filtración (aprox.)</b>	<b>5 horas.</b>
<b>Temperatura del aceite</b>	<b>30 °C</b>
<b>Presión del contenedor del transformador</b>	<b>2 psi</b>

El sistema de tuberías actual es deficiente, el acoplamiento del motor eléctrico y la bomba no se encuentra en buen estado, existen fugas de aceite continuamente y tampoco genera el torque requerido el cual es necesario para que no existan perdidas en el transcurso del proceso.

El operador debe estar presente durante todo el tiempo de funcionamiento de la filtradora manipulando la válvula de salida del sistema y además controlando el apagado y encendido del motor eléctrico, es necesario que permanezca ahí dicha persona debido a que existe goteo de aceite dieléctrico.

No existe ningún parámetro que ayude a identificar en qué porcentaje se logró remover impurezas solidas en el primer proceso de purificación de aceite dieléctrico, solamente se calcula el tiempo estimado de operación de acuerdo al volumen de aceite filtrado.

### **3.3 INVENTARIO DE MATERIALES Y ELEMENTOS (MECÁNICOS/ELÉCTRICOS) QUE CONFORMAN LA PURIFICADORA**

- 1- Un motor eléctrico trifásico de 1710 rpm.
- 2- Tres válvulas de bola de  $\frac{3}{4}$  pulgada.
- 3- Una válvula chek  $\frac{3}{4}$  pulgada.
- 4- Una válvula de tres vías  $\frac{3}{4}$  pulgada.
- 5- Un filtro para aceite pesado de la marca GONHER G-750
- 6- Tramos de tuberías de hierro galvanizado de  $\frac{3}{4}$  de pulgada.
- 7- Un bomba de engranes helicoidal.
- 8- Cable eléctrico para la conexión de la bomba.
- 9- Un contacto PLS6-C32\_/3 para el motor eléctrico.

### **3.4 ANÁLISIS DEL SISTEMA MECÁNICO**

#### **3.4.1 ANÁLISIS DE TUBERIA**

La tubería es de hierro galvanizado pintado de color rojo que identifica al fluido que pasa a través de dicha tubería.

Para conocer el estado de la tubería, durante el funcionamiento se mantuvo una inspección periódica del flujo.

El resultado de tiempo de llenado de cada tambo de 200 litros fue el esperado y el caudal durante la operación de la purificadora, se mantuvieron constantes. Así se puede predecir de forma empírica que aparentemente no existe obstrucciones de considerable importancia.

Además se desmontó secciones de tubería en puntos clave de todo el sistema, para una inspección visual del estado de las mismas, por ejemplo:

- Sección de tubería antes de la válvula check
- Sección antes de la bomba de engranes
- Sección de tubería antes del filtro

De acuerdo a lo esperado se pudo visualizar que la tubería se mantiene un buen estado y no presenta ningún tipo de obstrucción. Sin embargo, es recomendable realizar un flushing a toda la tubería para asegurarse de mantener un óptimo funcionamiento de todo el sistema hidráulico.

El flushing es una limpieza a fondo de la tubería. Existen algunos métodos para la ejecución de este procedimiento, los mismos que se basan en normas, especialmente cuando se trata de tuberías de gran tamaño que transporta crudo.

En el caso de la filtradora, por tratarse de un sistema pequeño con el diámetro nominal de  $\frac{3}{4}$  in, se puede realizar el flushing con un PIG (pipe inspection gauge) que es dispositivo al 95% de diámetro de la tubería formado por dos tubos mediante un compresor. También se puede hacer circular por todo el sistema el mismo fluido al doble de la velocidad de trabajo mediante una bomba (no la de operación) que permita el caudal requerido. Para cualquiera de los dos procedimientos es muy necesario desconectar, bombas, filtros, válvulas, etc.

### 3.4.2 EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS VÁLVULAS

El sistema actualmente cuenta con un tramo de tubo de  $\frac{3}{4}$  en la entrada donde estará conectada la manguera que va del transformador hacia el equipo el cual succionara el aceite, después tiene una válvula de bola de  $\frac{3}{4}$  la cual se encuentra en buen estado, esta se abre para dejar pasar el aceite.



Figura 3. 4 Válvula de bola

En ese mismo tramo de tubería existe una válvula anti retorno (chek), que al igual que la válvula de paso, permite el flujo de aceite, la diferencia de esta válvula es la de no permite el retorno de flujo de aceite, esta válvula se inspecciono y se verifico que se encuentra en buenas condiciones.



Figura 3. 5 Válvula check

Esta válvula también permite retener sólidos la cual cuenta con una malla de acero inoxidable.

Luego de la válvula check va conectado con tubería hasta llega a la bomba de engranes helicoidales y luego por la válvula de tres vías la cual también se verifico que estuviera en buenas condiciones.



Figura 3. 6 Válvula tres vías

Esta válvula ayuda a dar paso al fluido si va al filtro o si solo se usa para retiro.



### 3.4.3 MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL TANQUE DEL FILTRO

El tanque de acero inoxidable, conformado por el elemento del filtrado de aceite proveniente de la tubería entra al tanque mediante la succión de la bomba y la apertura de las válvulas adecuadas y es introducido a través de un cilindro donde van soldado un soporte del filtro.



Figura 3. 7 Entrada de aceite y soporte de filtro

Para prevenir que las impurezas bloqueen la salida de aceite o dificulten el proceso del segundo proceso de purificación, se reemplazó el filtro porque se encontraban en mal estado.



Figura 3. 8 Filtro de aceite antiguo



**Figura 3. 9 Filtro de aceite nuevo**

La parte inferior del tanque mostraba acumulación de óxido, ya que hace mucho tiempo no se desmontaba el tanque para un mantenimiento adecuado. Se procedió con la limpieza y se retiró la máxima oxidación que tenía.



**Figura 3. 10 Limpieza inferior del tanque principal**

Antes de colocar el filtro en el recipiente se encontró el empaque que va en la parte inferior dañado y se reemplazó por uno nuevo.



Figura 3. 11 Empaque de filtro nuevo

### **3.4.4 MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE LA BOMBA DE ENGRANAJES**

Antes de la prueba realizada con la filtradora, se logró observar que el acoplamiento estaba roto.

Se desmontó la bomba que estaba acoplada mediante tornillos en la parte trasera y se procedió con el mantenimiento correctivo con objetivo de encontrar el problema que causaba el desajuste durante el funcionamiento del equipo.



Figura 3. 12 Bomba de engranes helicoidal

Una vez desensamblada la bomba se procedió a verificar que sus componentes estuvieran en buenas condiciones.

Lo que se pudo observar que los rodamientos no tenían ningún daño como fractura, desgaste mecánico, etc.

Se halló problema de oxidación en los engranes y el acoplamiento el cual se junta el motor y la bomba se encontraba roto, se procedió a la limpieza con dielectrol y diésel donde se encontraba la oxidación y luego al cambio del acoplamiento.



**Figura 3. 13 Engranes y acoplamiento en mal estado**

Luego de haber limpiado los componentes y reemplazar la pieza de acoplamiento se montó y se verifico su buen funcionamiento.



Figura 3. 14 Reemplazo de acoplamiento y limpieza de engranes

### 3.5 ANÁLISIS DE SISTEMA DE CONTROL

En su tablero de encendido del equipo tenemos un interruptor de voltaje que es requerido por el consumo eléctrico del motor el cual también se encontraba en buenas condiciones el cual se limpió por el exceso de polvo.



Figura 3. 15 Interruptor en buen estado

# **CAPÍTULO 4**

**Resultados, planos,  
graficas, prototipos y  
programas**

## 4.1 SISTEMA MECÁNICO

### 4.1 CÁLCULO PARA ANALIZAR LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE BOMBEO

Los siguientes cálculos, son para saber cuánto es la energía mínima que se debe agregar al sistema para vencer todas las resistencias que este ejerce en el fluido.

El fluido de trabajo es aceite dieléctrico sus características son las siguientes:

#### ACEITE DE TRANSFORMADORES

Temperatur °C	Densidad $\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico $c_p$ J/Kg°C	Conductiv. térmica "k" W/m°C	Dif. térmica $\alpha \cdot 10^{10}$ (m <sup>2</sup> /seg)	Visc. dinám. $\eta \cdot 10^3$ (N.seg/m <sup>2</sup> )	Visc. cinem. $\nu \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /seg)	Nº de Prandt Pr
-50	922	1,7	0,116	742	29320	31800	428600
-40	916	1,68	0,116	750	3866	4220	56300
-30	910	1,65	0,115	764	1183	1300	17000
-20	904	1,62	0,114	778	365,6	404	5200
-10	898	1,6	0,113	788	108,1	120	1530
0	891	1,62	0,112	778	55,24	67,5	867
10	885	1,65	0,111	763	33,45	37,8	495
20	879	1,71	0,111	736	21,1	24	326
30	873	1,78	0,11	707	13,44	15,4	218
40	867	1,83	0,109	688	9,364	10,8	157

Tabla 4. 1 Características del aceite dieléctrico.

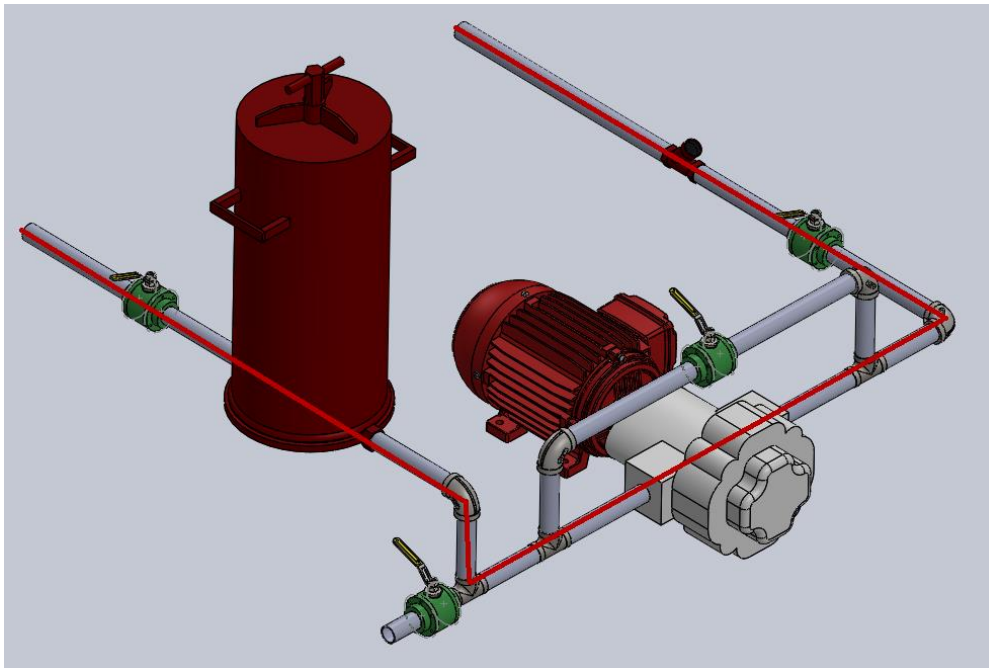


Figura 4. 1 Sistema original de la filtradora.

Para este cálculo

- Se considera P1 y P2 abiertos a la atmosfera.
- La V1 con la que se descarga el contenedor es la misma con la que se llena los recipientes.

Aplicando principio de Bernoulli:

$$\frac{p_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + E_a = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + \text{perd}$$

Reduciendo la ecuación:

$$E_a = (Z_1 - Z_2) + \text{perd}$$

Perdidas por tubo recto =  $h_L$

Perdidas por accesorios =  $h_a$

$$E_a = (Z_1 - Z_2) + h_L + h_a$$

- $h_L$  y  $h_a$  son todas las pérdidas que se generan en todo el sistema.
- Las perdidas están en función de la velocidad del fluido según los datos arrojados en la operación del sistema 200L. en 3 min. Con 12 seg.

$$\text{Volumen} = 200L \times \frac{1m^3}{1000L} = 0.2m^3$$

Tiempo = 192 seg.

- Diámetro interna de la tubería de  $\frac{3}{4}$  in medida nominal según ced. 40

$D_i = 0.021$  metros

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \text{Caudal} \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$V = \text{Volumen} [m^3]$$



t = Tiempo [s]

$$Q = \frac{0.2 \text{ m}^3}{192 \text{ s}} = 1.0416 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1.0416 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

$$Q = V A$$

V = Velocidad [ $\frac{m}{s}$ ]

A = Área de la sección transversal de la tubería con Di.

$$V = \frac{Q}{A} \quad A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

$$V = \frac{4 \left( 1.0416 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)}{\pi (0.021^2)}$$

$$V = 3.0072 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Calculo del N° de Reynolds para identificar el tipo de flujo (turbulento o laminar).

$$R_e = \frac{V \times D_1}{\nu}$$

V = Velocidad, D1 = Diámetro interno,  $\nu$  = Viscosidad cinemática.

$$\nu = 8 \times 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{s}} @ 50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$R_e = \frac{\left( 3.0072 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) (0.021 \text{ m})}{8 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$R_e = 7893.9$$

$$R_e < 4000 = \textit{laminar}$$

$$R_e > 4000 = \textit{turbulento}$$

Debido a que el  $R_e = 7893.9$  el flujo es turbulento

- Según la ecuación de Darcy Weisbach para el flujo turbulento

$$h_L = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g}$$

$$h_a = \sum k \frac{V^2}{2g}$$

f = Coeficiente de fricción

L = Longitud de tubería recta

V = Velocidad del fluido

d = Diámetro interno

g = Gravedad

k = Coeficiente de resistencia de los accesorios

- Viendo que el sistema conserva la misma velocidad en la succión y descarga de la bomba se sumara todos los tramos de tubería recta e la descarga y succión los mismos se hará con accesorios.
- Perdida por tubería recta.

L = 195cm = 1.95 m

Para calcular  $\epsilon$  según tablas

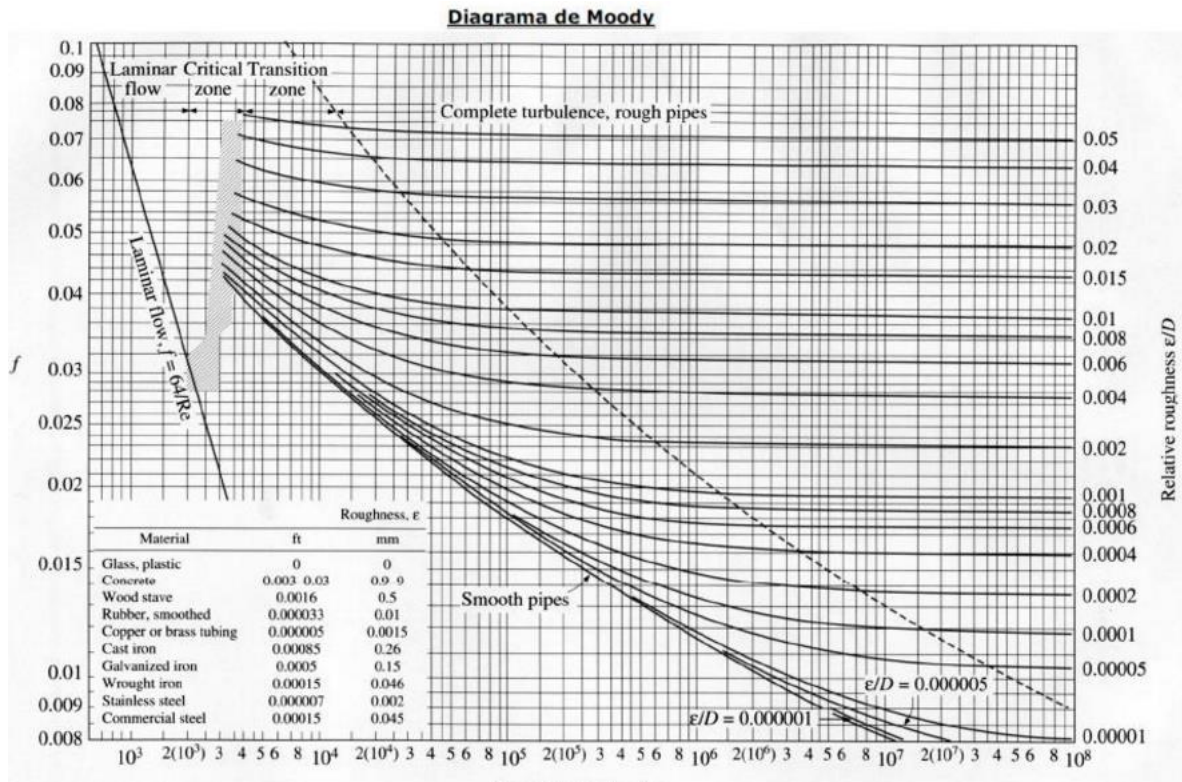


Figura 4. 2 Diagrama de Moody

Para hierro galvanizado  $\epsilon = 0.015 \text{ cm}$

$$\frac{\epsilon}{d} = \frac{0.015 \text{ cm}}{2.1 \text{ cm}} = 7.14 \times 10^{-3} = 0.0007$$

$$R_c = 7893.9 = 7.893 \times 10^{-3}$$

$$f = 0.035$$

$$h_L = f \frac{L V^2}{d 2g}$$

$$h_L = 0.035 \frac{(1.95 \text{ m})}{0.021 \text{ m}} \frac{\left(3.0072 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} = 1.4979 \text{ m}$$

Perdidas por accesorios k según tablas Gile.

Tabla 4. 2 Pérdidas de carga en accesorios

**PERDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS**

(Subíndice 1 = aguas arriba y subíndice 2 = aguas abajo)

Accesorio	Pérdida de carga media
1. De depósito a tubería (pérdida a la — conexión a ras de la pared entrada)	$0,50 \frac{V_2^2}{2g}$
— tubería entrante	$1,00 \frac{V_2^2}{2g}$
— conexión abocinada	$0,05 \frac{V_2^2}{2g}$
2. De tubería a depósito (pérdida a la salida)	$1,00 \frac{V_1^2}{2g}$
3. Ensanchamiento brusco	$\frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$
4. Ensanchamiento gradual (véase Tabla 5)	$K \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$
5. Venturímetros, boquillas y orificios	$\left(\frac{1}{c_v^2} - 1\right) \frac{V_2^2}{2g}$
6. Contracción brusca (véase Tabla 5)	$K_c \frac{V_2^2}{2g}$
7. Codos, accesorios, válvulas* Algunos valores corrientes de K son: 45°, codo ..... 0,35 a 0,45 90°, codo ..... 0,50 a 0,75 Tees ..... 1,50 a 2,00 Válvulas de compuerta (abierta) ... aprox. 0,25 Válvulas de control (abierta) ..... aprox. 3,0	$K \frac{V^2}{2g}$

\* Véanse manuales de hidráulica para más detalles.

*Válvula de globo abierta 10*  
*Válvula de ángulo abierta 5*  
*Válv. cheque abierta 2.5*  
*Codo en U ..... 2.2*

Tabla 4. 3 Accesorios de diseño original

Accesorios	K
2 válvulas de globo	20
1 válvula de retención (check)	2.5
3 Tubos T de conexión estándar	5.4
TOTAL	27.9

$$h_a = \Sigma K \frac{V^2}{2g} = \frac{27.9(3.0072)^2}{2(9.81)}$$

$$h_a = 12.8596m$$

$$E_a = Z_1 - Z_2 + h_L + h_a$$

$$E_a = 0.1 + 1.4979 + 12.8596$$

$$E_a = 14.4575m$$

$$potencia = \frac{Q\varphi E_a}{n} \text{ suponer } n(\text{eficiencia}) = 1$$

$$\varphi = \rho g = 873 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} = 8564.13 \frac{N}{m^3}$$

$$P = \frac{\left(1.0416 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}\right) \left(8564.13 \frac{N}{m^3}\right) (14.4575m)}{1}$$

$$P = 128.9666 \text{ watts}$$

Según el dato obtenido vemos que la potencia que demanda el sistema es muy pequeña comparada con la de la bomba que es de 1.5 hp

$$1.5hp \times \frac{745.700w}{1hp} = 1118.55w$$

- Debido a que se está usando una bomba de desplazamiento positivo (engranes helicoidal) la potencia que genera es mucho más que la requerida ya que estas bombas se usan para generar grandes cargas hidráulicas (h) y poco caudal, así se optó por reemplazarla por una centrífuga que nos arroja mayor caudal y menor carga hidráulica, y así disminuir el tiempo de operación.
- Según los cálculos, la resistencia a vencer es de 9.8436m la cual es muy baja y se puede conseguir sin ningún problema con una bomba centrífuga, con potencia baja.

- Calculo con los parámetros modificados

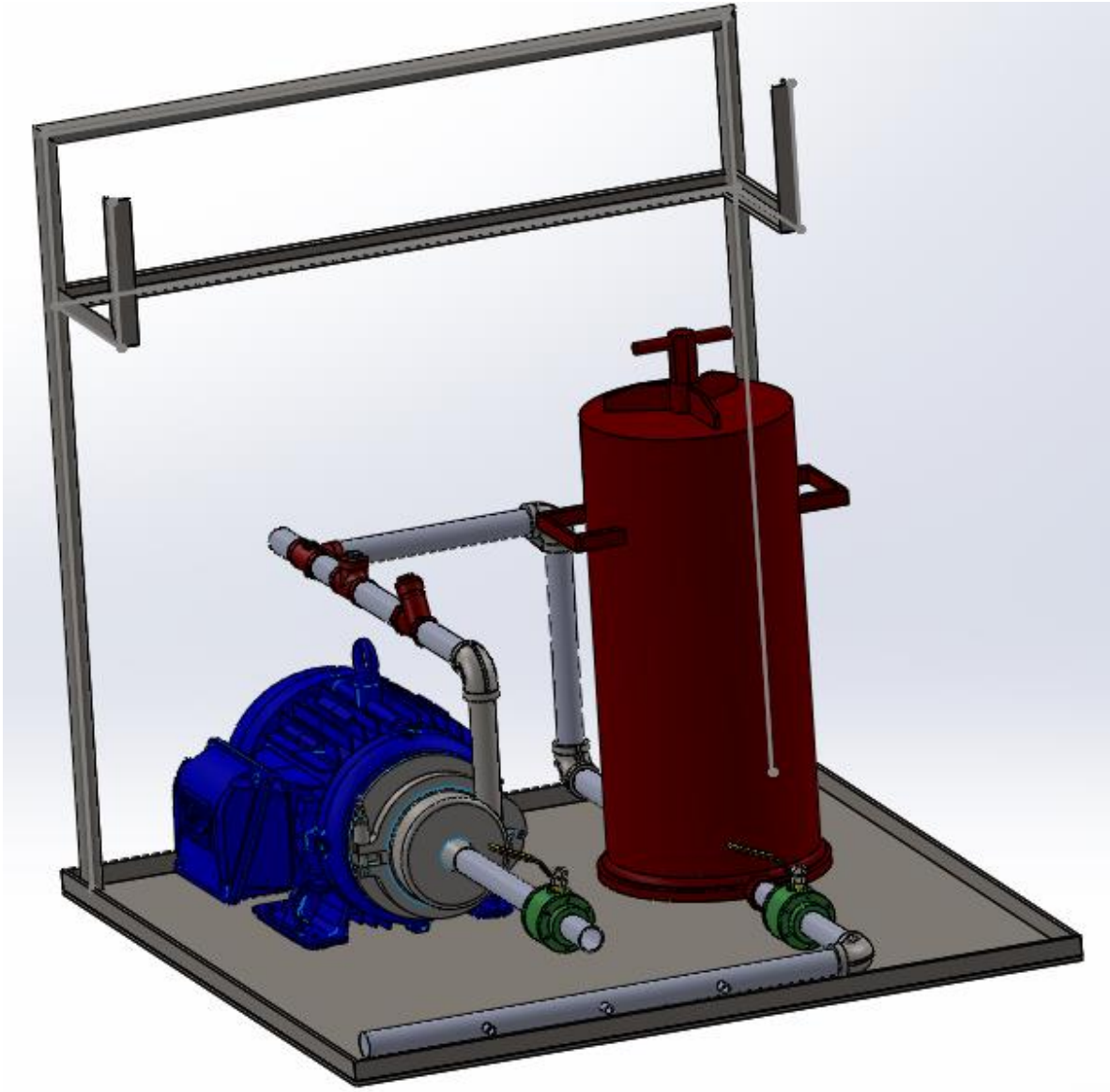


Figura 4. 3 Equipo rediseñado.

$Q$  anterior  $\times 3 = Q$  propuesto

$$1.0416 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s} \times 3 = 3.1248 \frac{L}{s}$$

Triplicaremos también el diámetro interior de la tubería para conseguir las mismas velocidades y así el fluido no sea demasiado turbulento.

$$Q = VA$$

$$Q_{ant} = \frac{\pi}{4} D_{iant}^2 V_{ant}$$

Triplicando  $Q_{ant}$  y  $D_{iant}$

Q proporcionado =  $3Q_{ant}$

D interno proporcionado =  $3 D_{iant}$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V_{prop} = \frac{Q_{prop}}{A_{prop}} = \frac{4(Q_{prop})}{\pi(D_{ipro}^2)}$$

$$V_{prop} = \frac{4(3 Q_{ant})}{\pi(3D_{iant}^2)}$$

- La velocidad es la misma

Calculo del Re con el nuevo diámetro interior proporcionado

$$Re = \frac{VD_i}{\nu} = \frac{(3.0072 \frac{m}{s})(0.063 m)}{8 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$Re = 23681.7 = 23.681 \times 10^3 = 2.368 \times 10^4$$

- Calculo de las perdidas con los parámetros modificados.

Tabla 4. 4 Accesorios de diseño propuesto

Accesorios	K
2 válvulas de globo	20
1 válvula de retención (check)	2.5
1 Tubos T de conexión estándar	1.8
4 codos	3.6
TOTAL	27.9

$$h_L = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g}$$

Longitud L= 180 cm

$$\frac{\epsilon}{d} = \frac{0.015s}{6.3m} = 2.380 \times 10^{-3} = 0.002$$

$$f = 0.031$$

$$h_L = 0.031 \frac{(1.8) (3.0072)^2}{0.063 \cdot 2(9.81)} = 0.408 \text{ m}$$

$$h_a = \Sigma K \frac{V^2}{2g} = 27.9 \frac{(3.0072)^2}{2(9.81)} = 12.8596$$

$$E_o = Z_1 - Z_2 + h_L + h_a = 0.1 + 0.408 + 12.8596$$

$$E_a = 13.3676m$$

$$potencia = \frac{Q \rho E_a}{n} \text{ suponer } n(\text{eficiencia}) = 1$$

$$\rho = 873 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} = 8564.13 \frac{N}{m^3}$$

$$P = \frac{(1.0416 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}) (8564.13 \frac{N}{m^3}) (13.3676m)}{1}$$

$$P = 119.5476 \text{ watts}$$

El siguiente paso será simular las dos tuberías para ver más claramente cuanto varia una de la otra y poder saber si los cambios propuestos son viables.

Para las siguientes simulaciones se considerara

- Velocidad de entrada = 3.0072 m/s
- Presión de salida = 101.325 Pa

Los parámetros a observar serán los límites inferiores y superiores que el software nos ofrece y a partir de estos sacaremos una conclusión, los parámetros son los siguientes

- Presiones
- Velocidades
- Temperaturas



Las siguientes imágenes son del sistema original con tubería de 3/4 in medida nominal o comercial.

Los diámetros están en mm según tabla 4.5

Tabla 4. 5 tubería ced 40 B-13a

**B-13a. Tuberías comerciales de acero. Con base en ANSI B36.10: 1970 y BS 1600: Parte 2: 1970**  
**Espesor de la tubería según número de cédula**

Medida nominal de la tubería pulgadas	Diámetro exterior		Diámetro interior		Medida nominal de la tubería pulgadas	Diámetro exterior		Diámetro interior	
	mm	mm	mm	mm		mm	mm	mm	mm
Cédula 10	14	355.6	6.35	342.9	Cédula 80 (continuación)	3 1/2	101.6	8.08	85.4
	16	406.4	6.35	393.7		4	114.3	8.96	97.2
	18	457.2	6.35	444.5		5	141.3	9.52	122.3
	20	508.0	6.35	495.3		6	168.3	10.97	146.4
	24	609.6	6.35	596.9		8	219.1	12.70	193.7
Cédula 20	8	219.1	6.35	206.4	10	273.0	15.09	242.8	
	10	273.0	6.35	260.3	12	323.9	17.47	289.0	
	12	323.9	6.35	311.2	14	355.6	19.05	317.5	
	14	355.6	7.92	339.8	16	406.4	21.44	363.5	
	16	406.4	7.92	390.6	18	457.2	23.82	409.6	
Cédula 30	18	457.2	7.92	441.4	20	508.0	26.19	455.6	
	20	508.0	9.52	489.0	24	609.6	30.96	547.7	
	24	609.6	9.52	590.6	8	219.1	15.09	188.9	
	30	762.0	12.70	736.6	10	273.0	18.26	236.5	
	8	219.1	7.04	205.0	12	323.9	21.44	281.0	
Cédula 40	10	273.0	7.80	257.4	14	355.6	23.82	308.0	
	12	323.9	8.38	307.1	16	406.4	26.19	354.0	
	14	355.6	9.52	336.6	18	457.2	29.36	398.5	
	16	406.4	9.52	387.4	20	508.0	32.54	442.9	
	18	457.2	11.13	434.9	24	609.6	38.99	531.8	
Cédula 60	20	508.0	12.70	482.6	4	114.3	11.13	92.0	
	24	609.6	14.27	581.1	5	141.3	12.70	115.9	
	30	762.0	15.88	730.2	6	168.3	14.27	139.8	
	7/8	10.3	1.73	6.8	8	219.1	18.26	182.6	
	1 1/4	13.7	2.24	9.2	10	273.0	21.44	230.1	
Cédula 80	1 1/2	17.1	2.31	12.5	12	323.9	25.10	273.1	
	1 3/4	21.3	2.77	15.8	14	355.6	27.79	300.0	
	2	26.7	2.87	21.0	16	406.4	30.96	344.5	
	2 1/2	33.4	3.38	26.6	18	457.2	34.92	387.4	
	3	42.2	3.56	35.1	20	508.0	38.10	431.8	
Cédula 100	3 1/2	48.3	3.68	40.9	24	609.6	46.02	517.6	
	4	50.3	3.94	42.5	8	219.1	20.62	177.9	
	4 1/2	58.9	5.16	62.7	10	273.0	25.40	222.2	
	5	60.3	5.49	77.9	12	323.9	28.58	266.7	
	5 1/2	101.6	5.74	90.1	14	355.6	31.75	292.1	
Cédula 120	6	114.3	6.02	102.3	16	406.4	36.52	333.4	
	8	141.3	6.55	128.2	18	457.2	39.69	377.8	
	10	168.3	7.11	154.1	20	508.0	44.45	419.1	
	12	219.1	8.18	202.7	24	609.6	52.39	504.8	
	14	273.0	9.27	254.5	1 1/8	21.3	4.78	11.7	
Cédula 140	16	323.9	10.31	303.3	1 1/4	26.7	5.56	15.6	
	18	355.6	11.13	333.3	1 3/8	33.4	6.35	20.7	
	20	406.4	12.70	381.0	1 1/2	42.2	6.35	29.5	
	24	457.2	14.27	428.7	2	48.3	7.14	34.0	
	30	508.0	15.88	477.8	2 1/2	60.3	8.74	42.8	
Cédula 160	3 1/2	10.3	1.73	6.8	3	73.0	9.52	54.0	
	4	13.7	2.24	9.2	4	88.9	11.13	66.6	
	4 1/2	17.1	2.31	12.5	5	114.3	13.49	87.3	
	5	21.3	2.77	15.8	6	141.3	15.88	109.5	
	5 1/2	26.7	2.87	21.0	8	168.3	18.26	131.8	
Cédula 180	6	26.7	2.87	21.0	10	219.1	23.01	173.1	
	6 1/2	33.4	3.38	26.6	12	273.0	28.58	215.8	
	7	42.2	3.56	35.1	14	323.9	33.34	257.2	
	8	48.3	3.68	40.9	16	355.6	35.71	284.2	
	9	50.3	3.94	42.5	18	406.4	40.49	325.4	
Cédula 200	10	58.9	5.16	62.7	20	457.2	45.24	366.7	
	12	73.0	5.49	77.9	24	508.0	50.01	408.0	
	14	88.9	5.74	90.1	3	609.6	59.54	490.5	
	16	101.6	6.02	102.3					
	18	114.3	6.55	128.2					

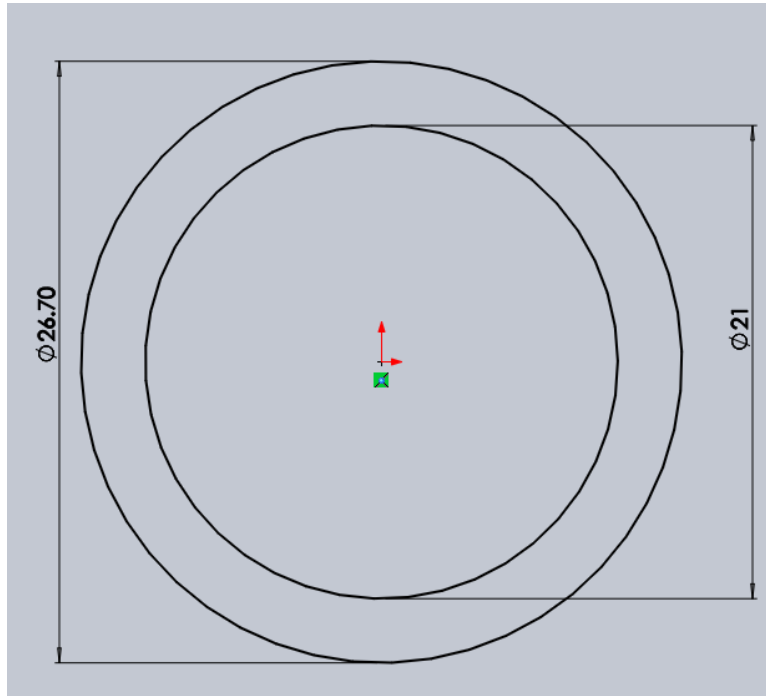


Figura 4. 4 Medida de tubria del sistema original.

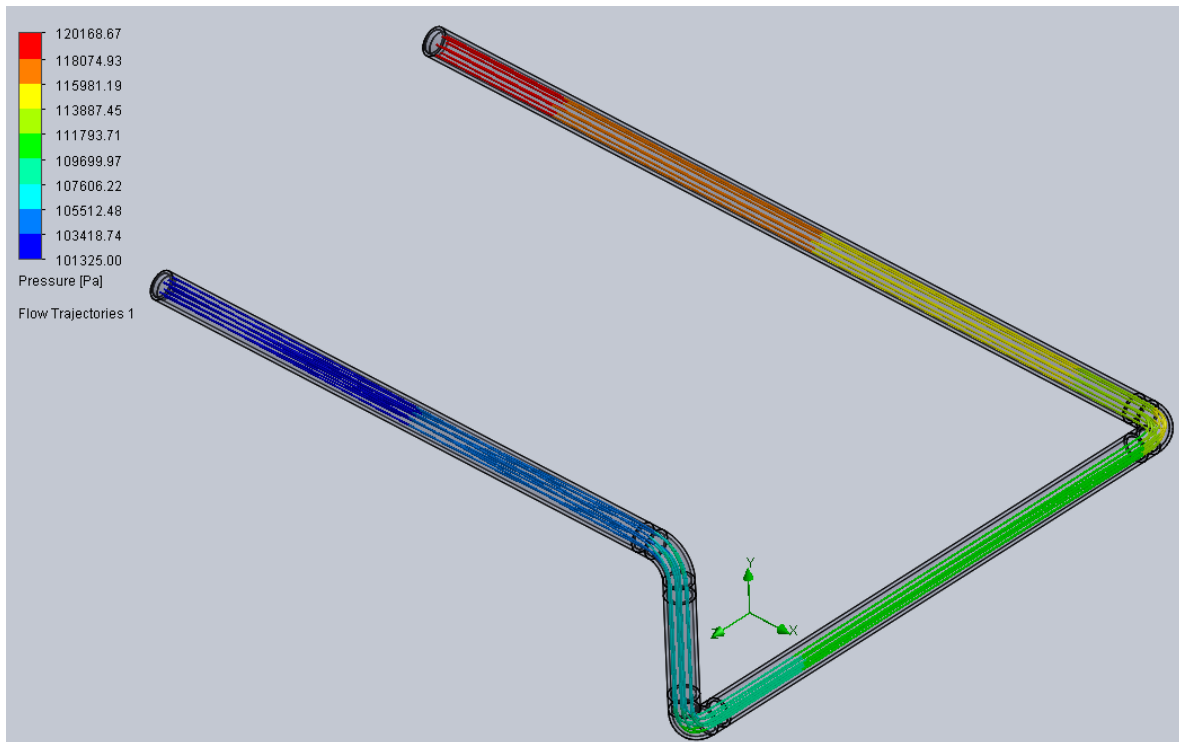


Figura 4. 5 Analisis de presión.

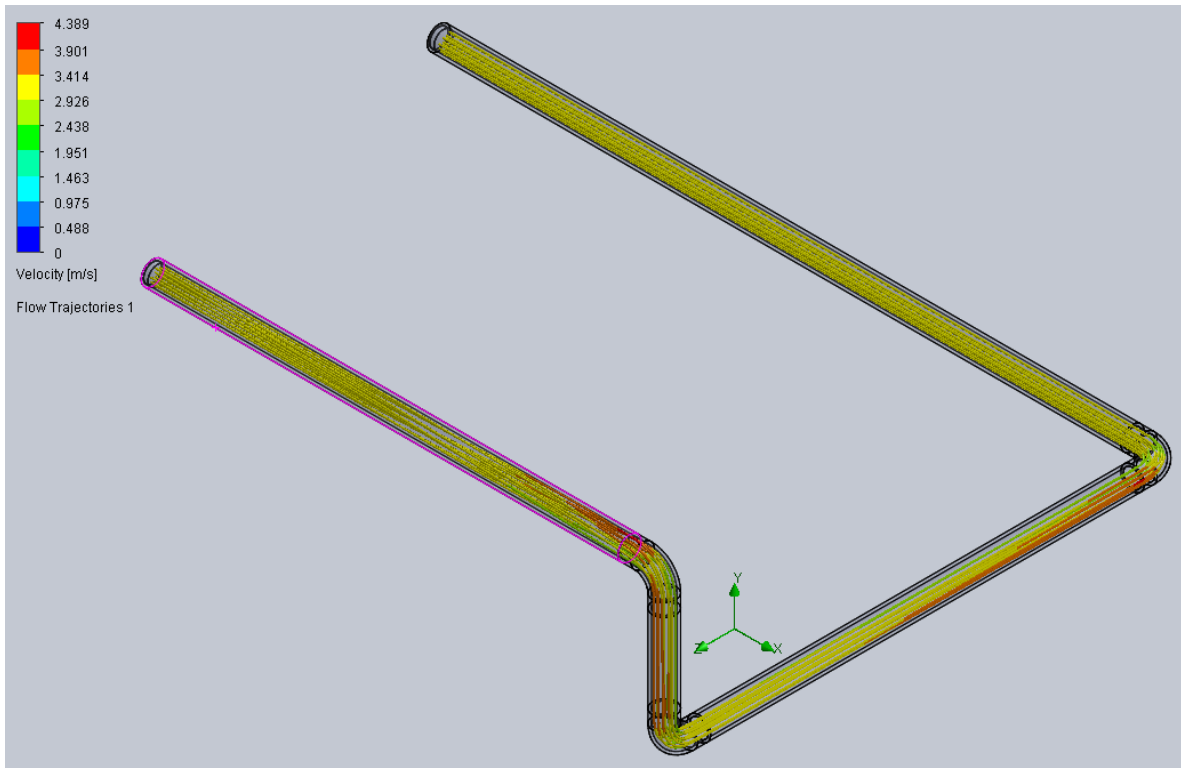


Figura 4. 6 Analisis de velocidad.

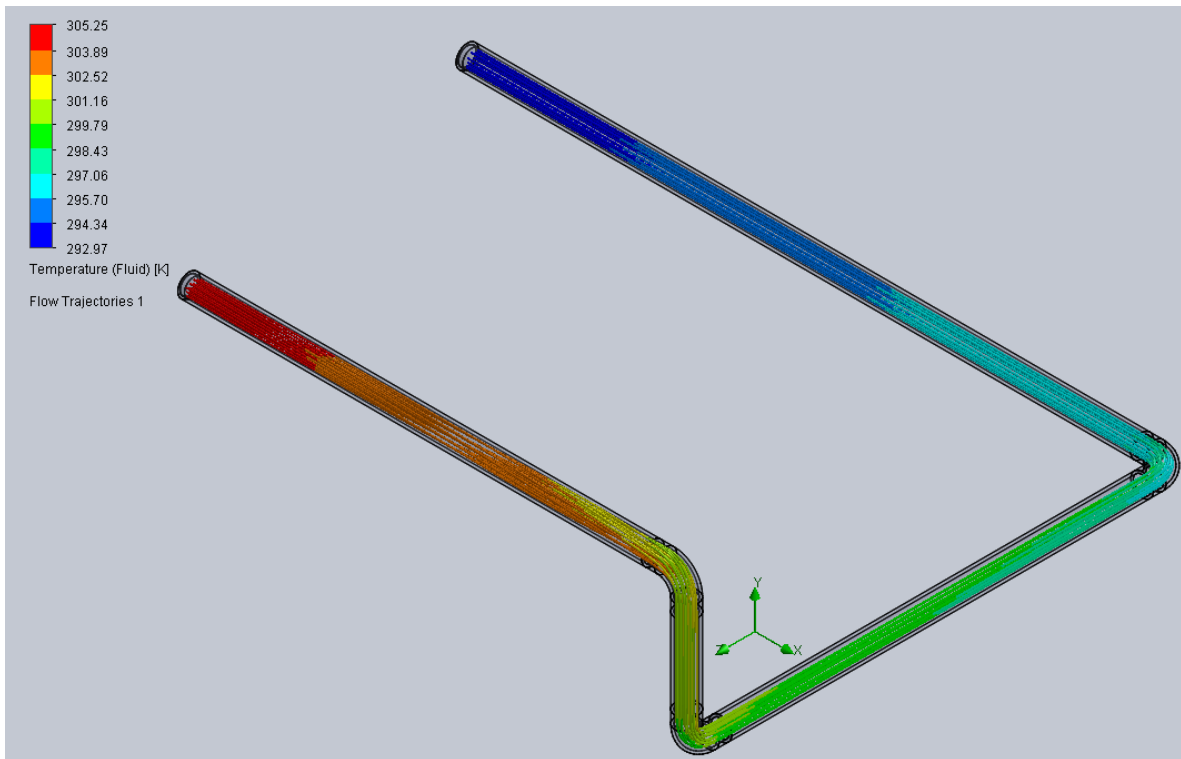


Figura 4. 7 Analisis de temperatura.

Las siguientes imágenes son para el sistema propuesto con una triplicación del caudal y el diámetro de la tubería.

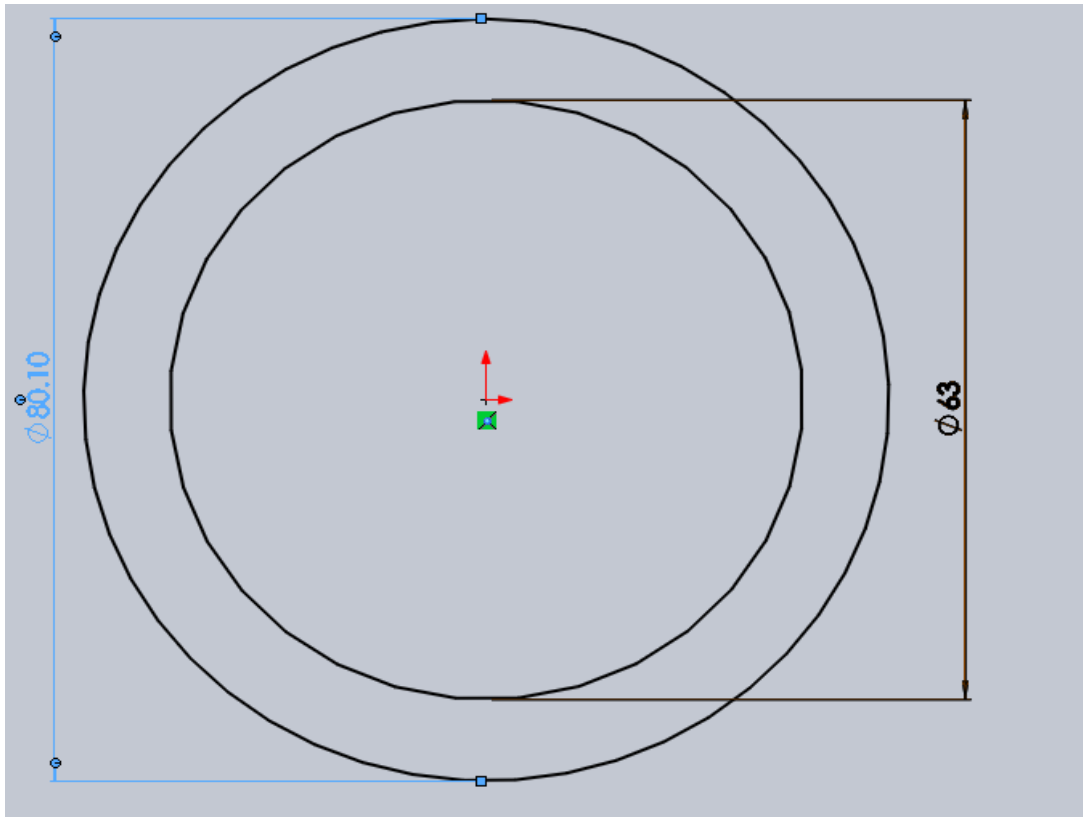


Figura 4. 8 Tubería propuesta.

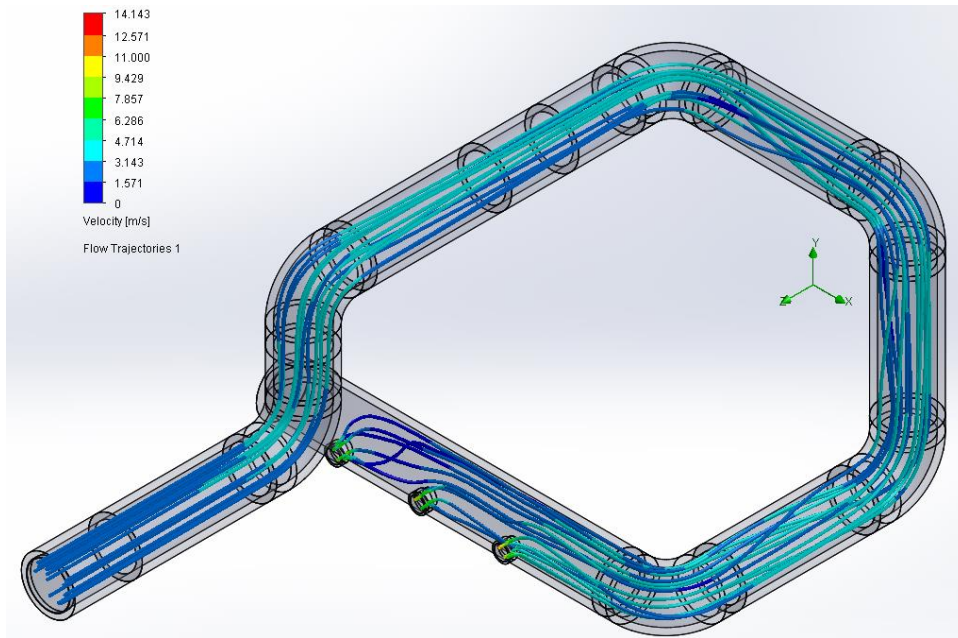


Figura 4. 9 Analisis de velocidad.

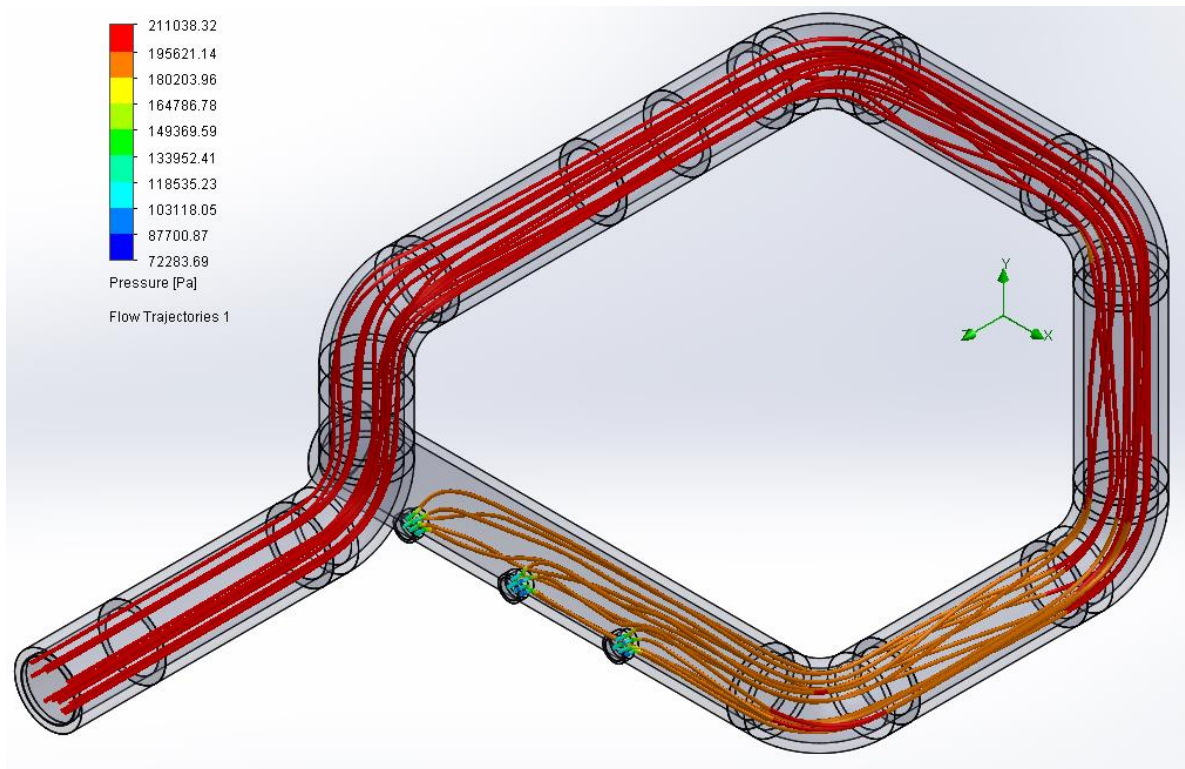
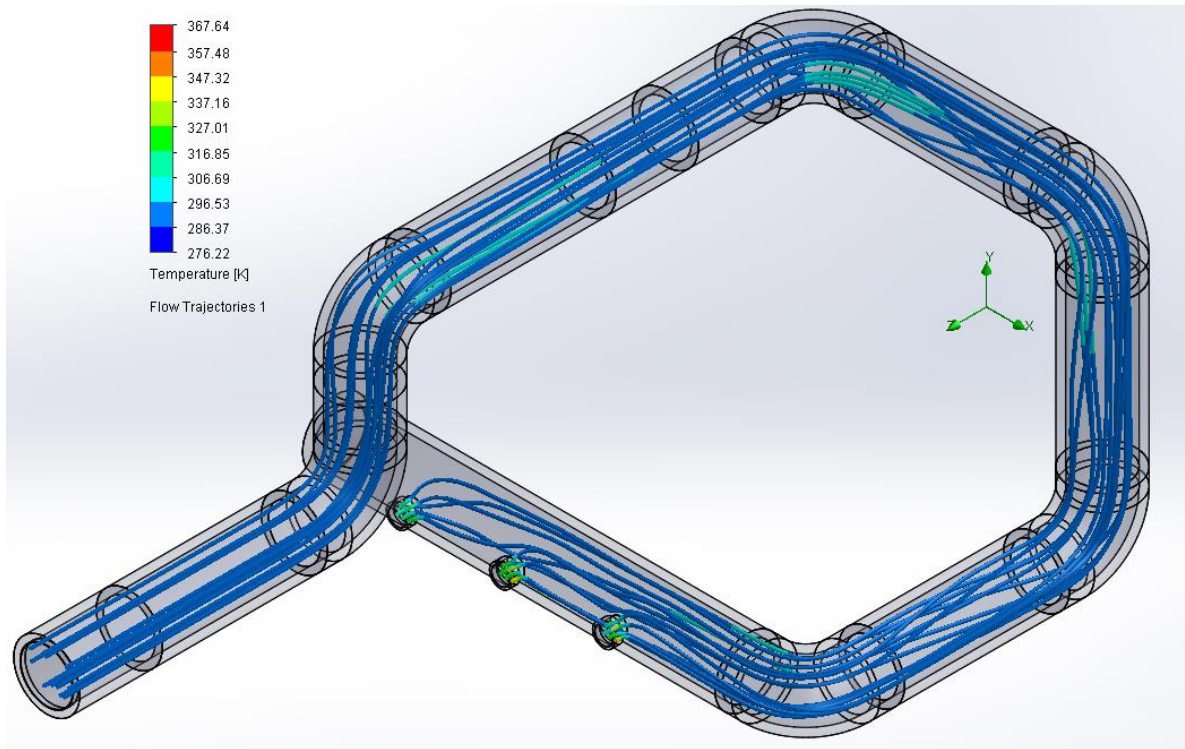


Figura 4. 10 Analisis de presión.



**Figura 4. 11 Analisis de temperatura.**

Según las simulaciones anteriores, vemos que los parámetros que son presión, velocidad y temperatura en las dos tuberías no varían demasiado, entonces concluimos que con un caudal triplicado no generamos problemas al sistema siempre y cuando tripliquemos también el diámetro de las tuberías y con esto logramos reducir el tiempo de operación del sistema y sin tener algún problema con la potencia ya que estas bombas centrífugas son de baja potencia y la potencia que usa la bomba anterior es demasiado excesiva y sin mucho provecho ya que no se necesita elevar el fluido a grandes alturas.

## **Conclusión**

El papel del ingeniero en la sociedad es muy importante ya que se encarga de resolver problemas que se van presentando, esas situaciones en las cuales la forma en la que se vayan resolviendo ira formando la experiencia como tal.

En el presente informe, se presentó la forma en la que dimos solución al siguiente problema: Debido a las altas temperaturas que tienen que soportar los transformadores, por la intensidad y las diferentes tensiones es necesario un sistema de refrigeración adecuado. La eficiencia de la refrigeración es un factor fundamental que determina la seguridad operacional y el tiempo de vida útil de un transformador de potencia.

Se han cubierto los objetivos que se han trazado desde el principio que es el rediseño del equipo mecánico para un sistema de purificación de aceite dieléctrico que sea capaz de limpiar el aceite usando un filtro de material solido que es succionado por medio de presión siendo capaz de reutilizar el aceite para su uso y utilizarlo en el mantenimiento preventivo y correctivo a transformadores de potencia y con esto mantener en condiciones de operación a los transformadores de potencia de la zona de distribución Tuxtla. Se resaltan las ventajas que tiene nuestro dispositivo diseñado para su utilización. Y en cada uno de los capítulos que conforman el informe se presentaron las funciones, el fundamento teórico y las implementaciones que se realizan al diseño.

En lo personal me deja la experiencia de haber colaborado en tan importante empresa y observar y aplicar los lineamientos de seguridad industrial, esto sin duda me ayudara en un futuro próximo a un buen desempeño profesional y personal en las actividades las cuales este realizando.

## **Bibliografía**

*Automatización eléctrica.* (s.f.). Obtenido de

<http://www.electricalautomationnetwork.com/es/eaton-moeller/magnetotermico-3p-32a-6ka-curva-c-eaton-moeller-pls6-c32-3-mw-242952>

Giles, R. V. (s.f.). *Mecánica de los fluidos e hidráulica*. México: Mc Graw Hill.

*Grabcad.* (s.f.). Obtenido de <https://grabcad.com/library>

*Instituto de investigaciones eléctricas.* (26 de Junio de 2015). Obtenido de

[http://www.iie.org.mx/posgrado/cursos/operacion\\_transformadores\\_22jun.html](http://www.iie.org.mx/posgrado/cursos/operacion_transformadores_22jun.html)

*Michelecaroli Srl.* (s.f.). Obtenido de

<http://www.michelecaroli.com/info.asp?oempartnumber=SRP750&donaldson=P550750>

*WIDMAN INTERNATIONAL SRL.* (24 de Septiembre de 2015). Obtenido de

<http://www.widman.biz/Productos/micronaje.html>