



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Diseño de un equipo de procesos de termovaciación para mejorar las propiedades dieléctricas del aceite contaminado en transformadores de hasta 10000 KVA

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Mecánico Electricista

AUTORES:

Lenyn Yraldo , Carruitero Jara (0000-0001-9445-1344)

Cauder Rodolfo , Otiniano Niquin (0000-0002-8024-0965)

ASESOR:

Mg. Alex Deyvi Tejeda Ponce (0000-0001-9844-1100)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos.

TRUJILLO – PERÚ

2020

## Dedicatoria

A Dios por ser el motor, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A nuestros padres A.C.T y R.O.A, por ser el pilar fundamental en todo lo que hemos emprendido, tanto académica, como profesional y espiritual. Por su amor, comprensión, consejos, apoyó, ayuda en los momentos difíciles. Me han dado todo lo que soy como persona, mis principios, mis valores, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

*Carruitero Jara, Lenyn*

*Otiniano Niquin, Cauder*

## Agradecimiento

A Dios, por bendecirme, guiarme y darme la oportunidad de cumplir mis objetivos anhelados.

A nuestros padres por su incondicional apoyo brindado y mantenido a través del tiempo. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

A la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Cesar Vallejo de Trujillo, docentes y amigos por todas las experiencias y consejos compartido.

Carruitero Jara, Lenyn  
Otiniano Niquin, Cauder

## Índice

Dedicatoria.....	i
Agradecimiento.....	ii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	7
I. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. Realidad problemática.....	9
1.2. Trabajos Previos.....	10
1.3. Teorías relacionadas al tema.....	12
1.3.1. Transformador.....	12
1.3.2. Refrigeración y aislamiento.....	12
1.3.3. Aceite dieléctrico.....	12
1.3.4. Vida útil del aceite dieléctrico.....	12
1.3.5. Las cuatro funciones del aceite dieléctrico.....	13
1.3.6. Factores que influyen en el deterioro del sistema de aislamiento de un transformador de potencia en aceite.....	14
1.3.7. Pruebas ASTM para aceites aislantes.....	15
1.3.8. Secado del aceite.....	18
1.3.9. Tratamiento de aceite mediante termovació.....	18
1.3.10. Mantenimiento predictivo y preventivo de transformadores.....	19
1.4. Formulación del problema.....	20
1.5. Justificación del estudio.....	20
1.6. Hipótesis.....	21
1.7. Objetivos.....	21
1.7.1. General.....	21
1.7.2. Específicos.....	21
II. MÉTODO.....	22
2.1 Tipo y diseño de investigación.....	23
2.2 Operacionalización de variables.....	24
2.3 Población y muestra.....	25
2.3.1 Población:.....	25

2.3.2	Muestra: .....	25
2.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	25
2.5	Procediendo. ....	26
2.6	Método de análisis de datos .....	27
2.7	Aspectos éticos.....	27
III.	DESARROLLO .....	28
3.1	Descripción del proceso de termovació:.....	29
3.2	Evaluación de los procesos de termovació. ....	30
	Comparativa de las maquinas según proceso.....	36
3.3	Bosquejo del diagrama de proceso de termovació.....	42
3.4	Diagrama de proceso del termovació .....	43
3.5	Características técnicas para el diseño. ....	50
3.6	Diseño de los elementos de termovació.....	51
IV.	DISCUSIONES.....	110
V.	CONCLUSIONES .....	113
VI.	RECOMENDACIONES .....	115
VII.	REFERENCIAS.....	117
	ANEXOS .....	120
	<b>Anexo 1: Coeficiente de resistencia para válvulas y acoplamientos. ....</b>	<b>121</b>
	<b>Anexo 2: Carcasas Donaldson.....</b>	<b>122</b>
	<b>Anexo 3: Filtros Donaldson. ....</b>	<b>123</b>
	<b>Anexo 4: Calentador de resistencia tope.....</b>	<b>124</b>
	<b>Anexo 5: Bomba de engranajes tipo A .....</b>	<b>125</b>
	<b>Anexo 6: Unidades de medida del vacío .....</b>	<b>126</b>
	<b>Anexo 7: Bomba de vacío.....</b>	<b>127</b>
	<b>Anexo 8: Plano de la cámara de vacío.....</b>	<b>128</b>
	<b>Anexo 9: Plano del filtro. ....</b>	<b>129</b>
	<b>Anexo 10: Plano del remolque.....</b>	<b>130</b>
	<b>Anexo 11: Plano del calentador.....</b>	<b>131</b>

#### ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b>	vida útil del aceite.....	13
<b>Tabla 2:</b>	concentraciones máximas de agua en ppm.....	14
<b>Tabla 3:</b>	Valores de número de neutralización. ....	16
<b>Tabla 4:</b>	Valores de Tensión interfacial.....	16

<b>Tabla 5:</b> Rango de color.....	16
<b>Tabla 6:</b> Valores rigidez dieléctrica.....	17
<b>Tabla 7: Tecnicas e instrumentacion de recoleccion de datos.</b> .....	25
<b>Tabla 8:</b> Lista de exigencias para el diseño de una máquina de termovacío.....	31
<b>Tabla 9:</b> Lista de exigencias para el diseño de una máquina de termovacío.....	32
<b>Tabla 10:</b> Comparativa del proceso de filtrado. ....	36
<b>Tabla 11:</b> Comparativa del proceso de extracción. ....	37
<b>Tabla 12:</b> Comparativa del proceso de calentamiento.....	38
<b>Tabla 13:</b> Comparativa de la cámara de vacío.....	39
<b>Tabla 14:</b> Comparativa de la bomba de vacío. ....	40
<b>Tabla 15:</b> Comparativa del proceso de retorno.....	41
<b>Tabla16:</b> Características técnicas para el diseño. ....	50
<b>Tabla 17:</b> Descripción de la válvula. ....	51
<b>Tabla 18:</b> Cartuchos de filtrado. ....	53
<b>Tabla 19:</b> Bombas de carga y descarga. ....	71
<b>Tabla 20:</b> Calentador de paso o cilindro.....	74
<b>Tabla 21:</b> Propiedades básicas del acero AISI 1010. ....	79
<b>Tabla 22:</b> Bomba de vacío DuoSeal. ....	86
<b>Tabla 23:</b> Costo de elementos. ....	107
<b>Tabla 24:</b> Costo de equipos. ....	108
<b>Tabla 25:</b> Costo total. ....	108
<b>Tabla 26:</b> Análisis de resultados.....	109

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1 :</b> transformador básico.....	12
<b>Figura 2.-</b> relación entre el contenido de agua en el aceite y la rigidez dieléctrica del mismo .....	14
<b>Figura 3.-</b> escala de colores .....	17
<b>Figura 4.-</b> prueba de rigidez dieléctrica.....	18
<b>Figura 5:</b> proceso de termovacío. ....	19
<b>Figura 6:</b> Maquina de termovacío ABB .....	30
<b>Figura 7:</b> Caja negra de la estructura de funciones de la máquina de termovacío. ....	34
<b>Figura 3:</b> Matriz morfológica del proceso de termovacío.....	35

<b>Figura 8:</b> Bosquejo del diagrama de proceso de termovacío. ....	42
<b>Figura 9:</b> Diagrama del proceso de termovacío.....	43
Figura 6: Proceso de filtrado. ....	44
<b>Figura10:</b> Proceso de extracción. ....	45
<b>Figura11:</b> Proceso de calentamiento. ....	46
<b>Figura 12:</b> Proceso de vacío. ....	47
<b>Figura 13:</b> Proceso de vacío. ....	48
<b>Figura 14:</b> Proceso de retorno. ....	49
Figura 12: Bosquejo del cuerpo de filtros. ....	54
<b>Figura 15:</b> Dibujo CAD del cuerpo de filtros.....	55
<b>Figura 16:</b> Representación CAD de la bomba de engranajes.....	72
<b>Figura 19:</b> Bosquejo del cámara de vacío. ....	77
<b>Figura 20:</b> Representación CAD del cámara de vacío. ....	83
<b>Figura 21:</b> Detalle interior del cámara de vacío. ....	84
<b>Figura 22:</b> Representación CAD de la bomba de vacío. ....	87
<b>Figura 23:</b> Bosquejo del chasis.....	88
<b>Figura 24:</b> Diseño CAD del remolque.....	89
<b>Figura 25:</b> Vista posterior de la máquina de termovacío. ....	90
<b>Figura 26:</b> Vista isométrica de la máquina de termo vacío. ....	91
<b>Figura 27:</b> Vista superior de la máquina de termovacío. ....	92
<b>Figura 28:</b> Vista explosionada de la máquina. ....	93
<b>Figura 29:</b> Simulación térmica del calentador.....	94
<b>Figura 30:</b> Simulación del fluido en el calentador. ....	95
<b>Figura 31:</b> Simulación de esfuerzos del cámara de vacío. ....	97
<b>Figura 32:</b> Simulación de desplazamiento el cámara de vacío.....	98
<b>Figura 33:</b> Simulación de deformaciones unitarias del cámara de vacío. ....	99
<b>Figura 34:</b> Simulación de esfuerzos del cámara de vacío. ....	100
<b>Figura 35:</b> Simulación de desplazamiento el cámara de vacío.....	101
<b>Figura 36:</b> Simulación de deformaciones unitarias del cámara de vacío. ....	102
<b>Figura 37:</b> Simulación del fluido en el cámara de vacío.....	103
<b>Figura 38:</b> Análisis de tensiones del remolque. ....	105
<b>Figura 39:</b> Análisis de desplazamiento del remolque. ....	106

## RESUMEN

La presente investigación atiende a la problemática de la empresa EXPROSILVA E.I.R.L. dedicada a brindar servicios generales electromecánicos a diferentes entidades, uno de estos servicios son los mantenimientos de transformadores sumergidos en aceite, la empresa tiene necesidad de adquirir un equipo para el tratamiento de fluido dieléctrico de transformadores y seguir brindando servicios de calidad.

Esta tesis se propone utilizar conocimientos y herramientas de ingeniería mecánica eléctrica para realizar el diseño de la máquina. El objetivo principal de esta investigación es evaluar la factibilidad del diseño de un equipo de procesos de termo vacío para mejorar las propiedades dieléctricas del aceite contaminado en transformadores de hasta 10000 KVA, por ello se propone un diseño de una maquina eficiente, basada en tres máquinas y procesos de termovacío ya desarrollados.

Los conocimientos y herramientas de ingeniería mecánica eléctrica que se utilizaron son fases de diseño, solidworks, y análisis económico, que nos ayudaron a la solución a los problemas que se presentan. Finalmente, como uno de los resultados encontramos diversas dificultades para realizar la máquina de termovacío, se pudo hacer un estudio de fabricación y se pudo obtener que es factible, ya que se cuenta con la tecnología adecuada, materiales para su construcción y con mano de obra calificada en nuestro país

**Palabras Claves:** Equipo, procesos, diseño, termovacío, aceite dielectrico.



## **ABSTRACT**

The present investigation attends to the problems of the company EXPROSILVA E.I.R.L. dedicated to providing general electromechanical services to different entities, one of these services are the maintenance of transformers submerged in oil, the company needs to to acquire a machine for the treatment of transformer dielectric oil and continue to provide quality services.

This thesis aims to use electrical mechanical engineering knowledge and tools to perform machine design. The main objective of this thesis is to evaluate the feasibility of the design of a thermovacio process equipment to improve the dielectric properties of contaminated oil in transformers up to 10000 KVA, so an efficient machine design is proposed, based on three machines and thermovacio processes already developed.

The electrical mechanical engineering tools and knowledge used are phases of design, solidworks, and economic analysis, which helped for the collection of information and design realization for the solution to the problems that arise. Finally, in this thesis we have focused on the design of the machine that is not held in the company, which raised an alternative to solve the main problem with the purpose that the company, has a more economical alternative and fulfilling the same Works.

**Keywords:** Equipment, processes, design, thermo vacuum, dielectric oil.

# **I. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. Realidad problemática**

En el sistema eléctrico, el transformador de potencia, es uno de los elementos más importantes ya que su cometido es realizar el cambio de nivel de voltaje para permitir la transmisión, distribución y utilización de energía eléctrica.

La mayoría tipos de transformadores su circuito magnético y los arrollamientos están sumergidos en un líquido como es el caso de los aceites dieléctricos.

Los aceites dieléctricos se utilizan en el llenado del interior del transformador con la finalidad de aislar, suprimir efecto corona y servir como refrigerante, asegurando así un correcto funcionamiento de dicha máquina.

Con el paso del tiempo el aceite dieléctrico va sufriendo daños en sus propiedades físicas y eléctricas la cual causa el envejecimiento del mismo, evitando que cumpla su función de manera eficiente, la cual conllevara a la disminución de la vida útil del transformador o en casos más extremos fin de su vida.

Por tal motivo se requiere realizar mantenimiento con el fin de reducir los costos de mantenimiento y minimizar reinversiones innecesarias para reemplazar transformadores viejos, es esencial entender el mecanismo de envejecimiento del aislamiento sólido y estar en condiciones de monitorear la tasa de envejecimiento de las unidades.

Para poder recuperar las propiedades físicas y eléctricas pérdidas por aceite, es necesario realizar un tratamiento por método de termovacío; la empresa Exprosilva E.I.R.L es una de servicios electromecánicos, uno de estos servicios es el mantenimiento del aceite dieléctrico; buscando una mejora en las propiedades dieléctricas del aceite con la finalidad de alargar la vida útil de este, pero la empresa no cuenta con su propia máquina, tratadora de aceite dieléctrico por el método de termovacío.

## 1.2. Trabajos Previos

- Nuñez y Pantoja (2008) en su tesis titulada “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA CONTROL DE VACÍO (LIPOSUCCIONADOR)” teniendo como objetivo (“Diseñar y construir un banco de pruebas de control de vacío”) y concluyendo que (“El estudio del vacío en nuestro medio está en vías de desarrollado por esta razón la información es muy limitada volviéndose complejo el estudio de los sistemas de vacío”)
- Tapia (2014) en su tesis titulada “pre-potenciación y automatización del depurador de aceite dieléctrico marca kato empleada en la central termoeléctrica guango polo de la compañía celecep termo pichincha” teniendo como objetivo(pre-potenciar y automatizar la maquina marca kato) y concluyendo que (el papel aislante de un transformador de potencia depende del estado de degradación del aceite dieléctrico, por ende es primordial contar con un mecanismo de regeneración que se encuentre en óptimas condiciones garantizando el restablecimiento de las propiedades y características del fluido a niveles estandarizados en las diferentes normas ASTM)
- Saguy (2011) en su tesis titulada “El estudio de comportamiento de mecanismo dieléctricos ante las altas rigidez dieléctrica” teniendo como objetivo (analizar los comportamientos dieléctricos ante las altas tensiones eléctricas). Para ello realizó una investigación (pruebas en materiales líquidos) obteniendo que (los rasantes de tensión de separación, establecidos para el aceite dieléctricos pueden requerir restauración mediante secado, depuración, etc.) y finalizando que la coloración de un aceite dieléctrico es un identificador confiable para saber si es que un aceite requiere o no una recuperación, siempre y cuando el aceite este completamente seco).
- Tello (2017) en su tesis titulada “tratamiento en aceite dieléctrico a través del sistema de termovació aplicable a transformadores de distribución en las oficinas de la sunat “Molino y Mazar”, mediante el estudio del aceite usando servicios computacionales). Tuvo como objetivo General (Garantizar la operatividad del transformador de distribución de la Oficina de la Sunat, sede Chucuito de 640kVA, mediante el tratamiento de aceite dieléctrico a través del Sistema de Termovació.) y concluyendo que, (Se

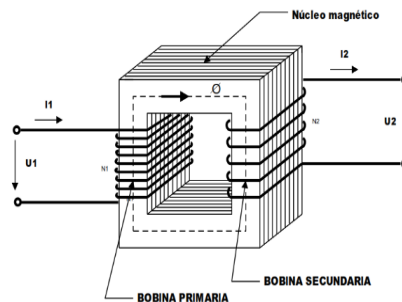
concluye que logró verificar que mediante el sistema de termovaciación se logra optimizar los parámetros de calidad del aceite dieléctrico del transformador de distribución de la oficina de la Sunat, sede Chucuito de 640kVA).

- García (2010), en su tesis titulada “Diagnóstico y mantenimiento de Transformadores de Gran potencia en Aceite aplicado a un transformador de 160 MVA, 13,8 kV/138 kV de la central térmica trinitaria)” para optar el Título de Ingeniero en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil, concluye que: “La experiencia nos dicta que la vida útil del transformador de potencia enfriado en aceite mineral está en la degradación del sistema aislante y en especial del papel debido a varios factores como son: la humedad, oxígeno, calor y contaminaciones que inciden a este deterioro. Los análisis fisicoquímicos de los aceites nos permiten una información sobre la calidad del aceite, indicando sus condiciones químicas, mecánicas y eléctricas, además el análisis fisicoquímico se compone de un grupo de pruebas que son necesarios para determinar la calidad del aceite y establecer en qué estado se encuentra el transformador y estimar las posibles fallas que se están presentando al interior de este y poder determinar un diagnóstico preciso”.
- Gaspar (2010) en su tesis titulada “Evaluación y conservación de convertidor de gran potencia en aceite (aplicado a un convertidor de 160MVA, 13.8kv/138kv).” teniendo como finalidad (determinar y recomendar la conservación del transformador en aceite de 160 MVA de 13.8kv/138kv. fundamentarse en los cálculos de diferentes pruebas tales como; físicas-químicas, cromatografías y eléctricas que se le ha realizado desde su puesta en servicio anualmente). Para ello se desarrolló una investigación (Pruebas con equipos para transformadores) y concluyendo que (la duración de la vida del transformador de potencia está en la degradación del sistema aislante y en el papel debido a varios factores como son: la humedad, oxígeno, calor y contaminaciones que inciden en este deterioro).

### 1.3. Teorías relacionadas al tema

#### 1.3.1. Transformador

“Es un artefacto estático que tiene dos o más devanados, que mediante una inducción electromagnética convierte un sistema de voltaje y corrientes sucesivos, en otro sistema de voltaje y corriente mayormente de distintos valores y en la misma frecuencia, con la finalidad de emitir energía eléctrica”. [IEV 421-01-01, modificado] (IEC 60076-1, 2000).



**Figura 1** : transformador básico.

Fuente: <https://www.monografias.com/trabajos104/transformadores-potencia/transformadores-potencia.shtml>

#### 1.3.2. Refrigeración y aislamiento

Para transformadores de media y baja potencia es suficiente la refrigeración por aire, sin embargo, cuando tienen una potencia mayor es necesario que tanto el núcleo como los devanados estén sumergidos en un fluido refrigerante. El general pueden ser aceites minerales o aceites de siliconas porque ofrece mejores características térmicas y eléctricas.

#### 1.3.3. Aceite dieléctrico.

Los aceites dieléctricos usados en el Transformador de Potencia Trifásico, son de tipo mineral definidos como fluidos aislantes y refrigerantes que representan componentes, pues las condiciones de ejecución y el tiempo de vida de los equipos dependen de su estado. Los aceites al entrar en fricción con el oxígeno incrementan su degradación disminuyendo el tiempo de vida de los equipos.

#### 1.3.4. Vida útil del aceite dieléctrico

“En la actualidad se puede establecer un indicador que muestra 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 mg KOH/g” (Gallo,2007, pag.11).

Este tiempo depende de algunos factores como:

- Cantidad de aire diluido en el aceite.
- Descomposición de sustancias orgánicas por acción del agua presente en el transformador.
- Descomposición de la celulosa del papel aislante.
- Temperatura de operación del convertidor.

La vida útil del aceite dependiendo de la temperatura

Cifras de Neutralización -Temperatura	
Temp. (°c)	tiempo en años.
60	20
70	10
80	5
90	2,5
100	1,25
110	7 meses

**Tabla 1:** vida útil del aceite

Fuente: Gallo, 2007, pag. 11

### **1.3.5. Las cuatro funciones del aceite dieléctrico.**

Las cuatro funciones aceite del transformador son:

1. El aceite facilita rigidez dieléctrica; se comportó como un material aislante y dieléctrico.
2. El aceite es el encargado de transportar el calor, realizándose como un medio de enfriar.
3. El aceite cubre el sólido aislamiento, donde se ejecuta como una barrera entre el papel y los efectos negativos del oxígeno y la humedad.

4. El aceite se comporta como una herramienta para la determinación del aislamiento sólido, y que además puede usarse para saber las condiciones internas del equipo.

### 1.3.6. Factores que influyen en el deterioro del sistema de aislamiento de un transformador de potencia en aceite

Introducción

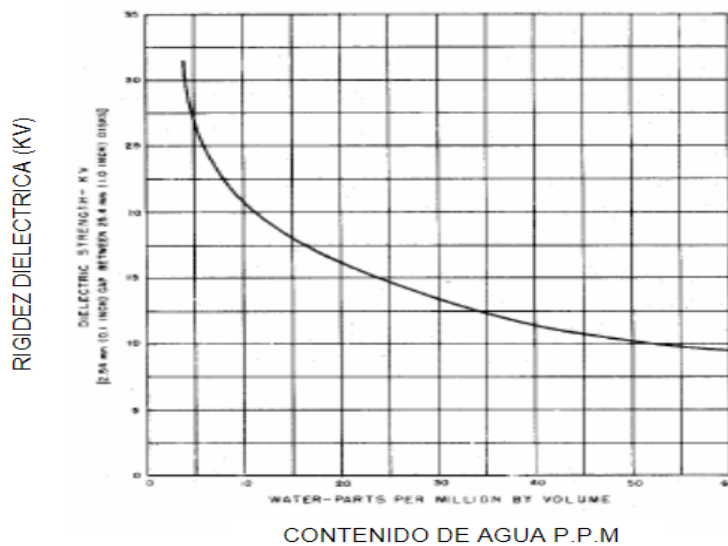
Existen 4 potenciales enemigos: humedad, calor, oxígeno y contaminación externa.

#### La humedad

La humedad en conjunto con oxígeno es peligrosa para el aislamiento.

Formas de encontrar el agua dentro del transformador:

- a) Disuelta.
- b) Emulsión agua/aceite.
- c) Libre en el fondo.
- d) En forma de hielo



**Figura 2.-** relación entre el contenido de agua en el aceite y la rigidez dieléctrica del mismo.

**Tabla 2:** concentraciones máximas de agua en ppm.

Nivel de voltaje	<69KV	Entre 69KV y 288KV	>288kV
------------------	-------	--------------------	--------



Contenido de agua (ppm) en el aceite (ASTM – D1533)	35	25	20
---	----	----	----

Tabla 2.- concentraciones máximas de agua en ppm

### El oxígeno

Es de los más potenciales enemigos del transformador, porque al contacto con el aceite forma ácidos, agua y lodo.

### El calor

Se sabe que el 90% del deterioro de la celulosa es de origen térmico. La degradación térmica del aislamiento es función del tiempo, de la temperatura y de cuan seco está el aislamiento.

### La contaminación externa

Partículas diminutas pueden desprenderse de la celulosa cuando el transformador esta en servicio.

### 1.3.7. Pruebas ASTM para aceites aislantes

- Humedad en el aceite; (Método Normalizado ASTM D 1533)

Gracias a este método podemos determinar el contenido de humedad por medio de un titulador volumétrico automático Karl Fisher; el cual se determina por los electrodos que sienten condiciones eléctricas en el recipiente de reacción. Cuando se alcanza el máximo punto, el mismo aparato para la dosificación y cuenta electrónicamente lo que contiene en la humedad del aceite partiendo del volumen del aceite introducido y la cantidad de reactivo agotado. El contenido de la humedad del aceite se halla en pequeñas partes por millón.

- Número de Neutralización; (Método Normalizado ASTM D 974, D 664 ò D 1534)

Si el aceite se oxida y se deteriora por el servicio, no muchos de los productos de descomposición que se van formando son de origen ácido, esto se traduce que reaccionaran y neutralizaran por una básica sustancia alcalina. El número de neutralización se ha usado para calificar las condiciones del aceite del transformador y derivados otros del aceite. Los métodos normales para la cantidad de acidez utilizan hidróxido de potasio, generando una reacción con los componentes ácidos del aceite.

Acceptable	Cuestionable	Inacceptable
------------	--------------	--------------

	(AC)	(CU)	(IN)
Mg KOH/g	≤ 0,05	>0,05	>0,10
En la muestra		≤0,10	

**Tabla 3:** Valores de número de neutralización.

- Tensión Interfacial(TIF); (Método Normalizado ASTM D 971 ó D 2285)

Los materiales que no se mezclan forman una superficie o interfaz cuando se ponen en contacto. Algunos ejemplos que se pueden señalar son: el agua que se vierte en un recipiente y forma una superficie al encontrarse con el aire, o a las burbujas de jabón que forman una superficie entre la solución jabonosa y el aire en su interior.

#### VALORES DE TENSIÓN INTERFACIAL (TIF)

	Aceptable (AC)	Cuestionable (CU)	Inaceptable (IN)
mN/m	> 32	<32	<28
(dina/cm)		>28	

**Tabla 4:** Valores de Tensión interfacial.

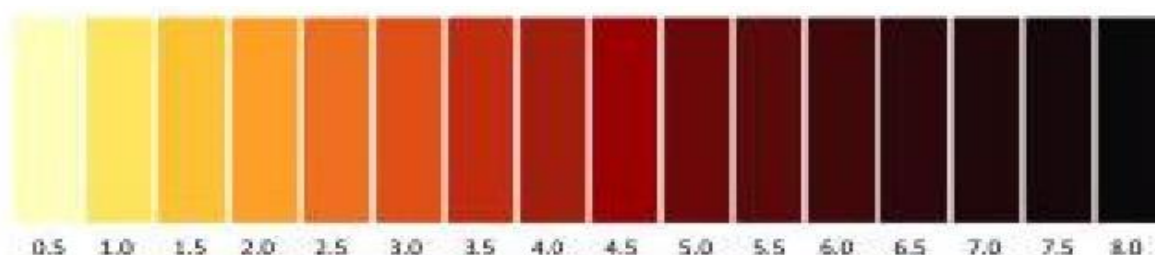
- Color; (Método Normalizado ASTM D 1500 ó D 1524)

Este método se usa para visualizar el aceite aislante eléctrico en el terreno, que contiene la estimación del color según ASTM. Los dos métodos supuestamente comparan muestra de aceite con los vidrios de colores normalizados y separados el más próximo en la escala del 0,5(el más claro) al 8,0 (el más oscuro).

#### COLOR ASTM

Aceptable (AC)	Cuestionable(CU)	Inaceptable(IN)
≤ 3,5	----	> 3,5

**Tabla 5:** Rango de color.



**Figura 3.-** escala de colores

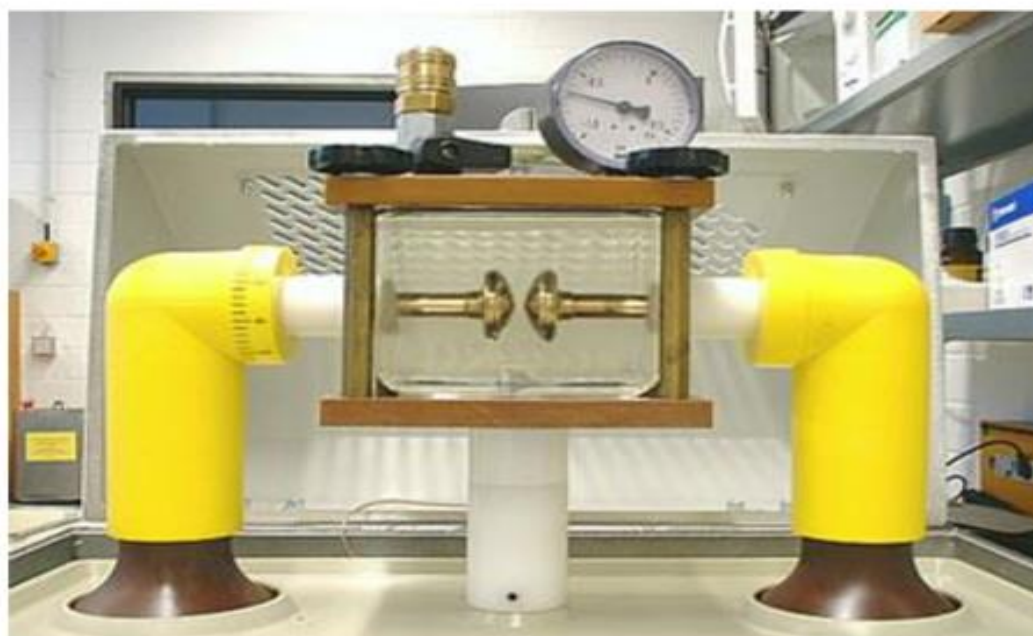
- Tensión de Ruptura Dieléctrica (Rigidez dieléctrica); (Método Normalizado ASTM D 1816)

El método se ejecuta en una de las dos separaciones establecidas, 1 mm (0,04 pulgadas) ó 2 mm (0,08 pulgadas). Este método para determinar la tensión de ruptura dieléctrica es más sensible a la humedad y a los compuestos polares, como por ejemplo los productos de la oxidación del aceite. Este método, también, brinda una consistencia mayor si se trata de sensibilidad ante partículas específicas, especialmente las fibras oriundas del sistema de aislamiento solido

Separación de 2 mm

Clase de tensión del equipo	Aceptable (AC)	Cuestionable (CU)	Inaceptable (IN)
< 69 kV	> 40 KV	< 40 kv > 35 kv	< 35 kv
> 69 kv < 230 kv	> 47 kv	< 47 kv > 42 kv	< 42 kv
> 230 kv	> 50 kv	< 50 kv > 45 kv	< 45 kv

**Tabla 6:** Valores rigidez dieléctrica.



## **Figura 4.- prueba de rigidez dieléctrica**

### **1.3.8. Secado del aceite.**

Es recomendable si su rigidez dieléctrica disminuye a un nivel similar o igual que el voltaje producido por el transformador.

Generalmente, la humedad en el aceite es la causa que con frecuencia hace que el equipo se recaliente, favoreciendo a la fijación de la humedad atmosférica del aceite, ya que la solubilidad del agua en el aceite crece con la temperatura.

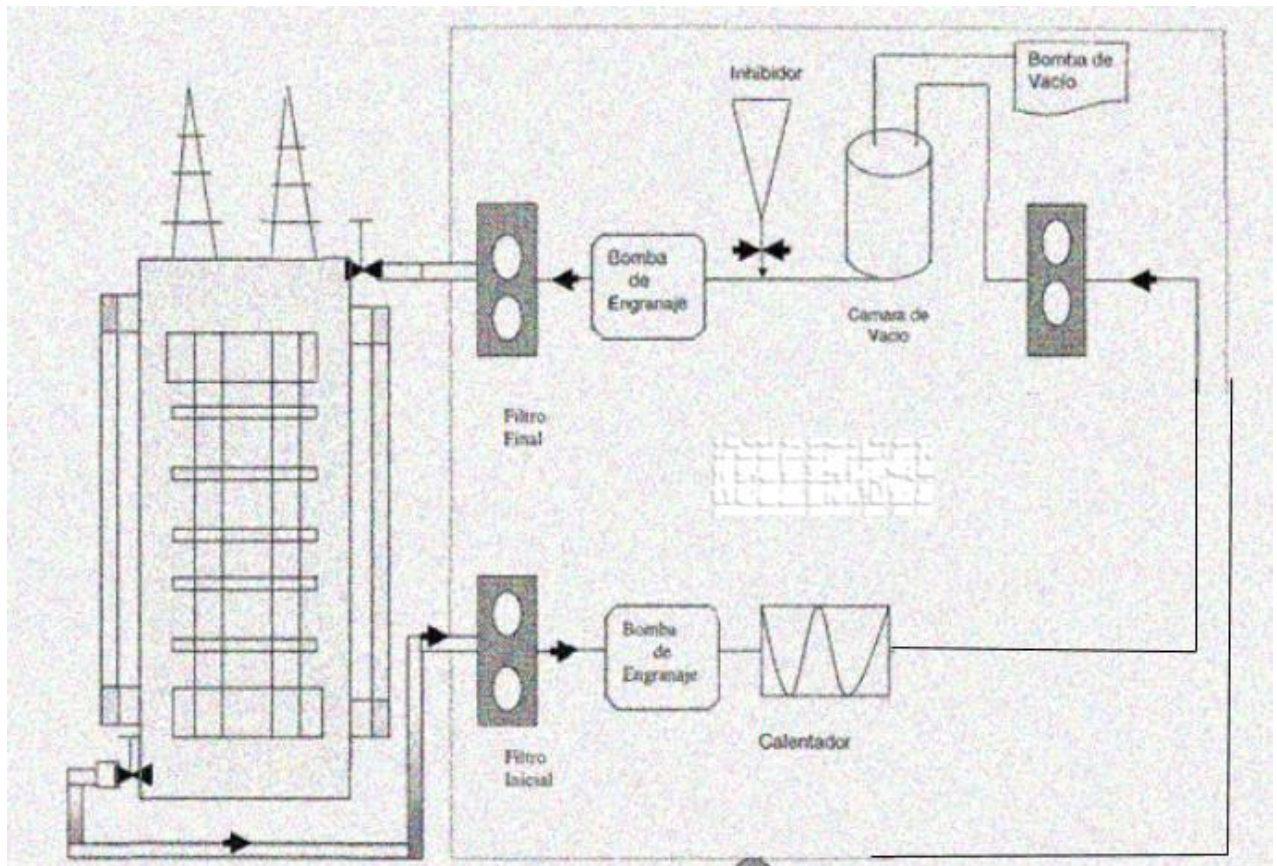
El secado del aceite se puede realizar a través de las siguientes operaciones:

- La filtración del aceite húmedo a través de un medio secante o hidrófilo.
- La evaporación al vacío del agua contenida en el aceite.
- La combinación de (a) más la evaporación al vacío del aceite filtrado

### **1.3.9. Tratamiento de aceite mediante termovacío.**

Este es un servicio que se realiza filtrando y des-gasificando el aceite del transformador con el objetivo de mantener el aceite del transformador en condiciones adecuadas para su buen funcionamiento. El procedimiento consiste en: Se bombea a presión el aceite pasando por un filtro inicial grueso para partículas, luego se calienta por medio de resistencias y a una temperatura de 60-70°C ingresa a la cámara de alto vacío para eliminar gases, burbujas y deshidratar el aceite, el circuito se le adiciona el inhibidor (antioxidante) para finalmente pasar a través de un filtro fino y finalmente al transformador. Durante éste proceso se aplica vacío (1Torr) y se obtienen bajas concentraciones de agua en el aceite, lo cual incrementa considerablemente la rigidez dieléctrica del aceite.

Este proceso se repite hasta lograr las condiciones prefijadas, pero sin las cámaras de regeneración que es para el proceso de eliminación de lodo. Con la Deshidratación y Desgasificación Bajo Vacío se logra reducir dentro de los límites normales los p.p.m. el agua disuelta o emulsionada. En el aceite, también desmasificamos el aceite. Con la Aditivación conseguimos reponer al aceite inhibidores de oxidación para que no se oxide durante su nuevo uso rápidamente.



**Figura 5:** proceso de termovacío.

*Fuente: Miguel Alonso valles.*

### 1.3.10. Mantenimiento predictivo y preventivo de transformadores.

Mayormente los convertidores de potencia hallados en operación hoy en día, trabajan con aceite mineral como un fluido aislante y refrigerante. La eficacia del aceite y del papel como productos aislantes desciende cada vez que aumenta el nivel de humedad. Por otro lado, la función refrigerante del aceite disminuye con la oxidación.

Mantenimiento Predictivo:

- Monitoreo mediante Análisis de Gases Disueltos de los equipos que presenten indicaciones de una posible falla.
- Análisis de vida residual de transformadores en operación.

Mantenimiento Preventivo:

Procesamiento de aceite en campo con transformador ENERGIZADO, dicho procesamiento puede incluir:

- Filtrado y desgasificación del aceite.
- Regeneración del aceite aislante.
- Eliminación de lodos de la parte activa y limpieza y sustitución de aceite (equipo desenergizado)
- Secado de parte activa de transformadores en campo.
- Sellado de sistemas de preservación de aceite (instalación de membranas)
- Mantenimiento de conmutadores tipo OLTC.
- Corrección de fugas de aceite.
- Cambio de empaques.
- Pintura general del transformador
- Cambio de piezas o accesorios defectuosos.

#### **1.4. Formulación del problema**

¿Es factible diseñar un equipo de procesos de termovacío para mejorar las propiedades dieléctricas del aceite en transformadores de hasta 10000 KVA?

#### **1.5. Justificación del estudio**

La creciente demanda de energía eléctrica por la sociedad moderna bajo elevados estándares de calidad en el servicio, hace que las plantas industriales y los prestadores de servicio incrementen su eficiencia en sus procesos y servicios, además que el servicio eléctrico sea garantizado.

La electricidad como energía fundamental para cualquier actividad económica en la actualidad, y el transformador como elemento fundamental en generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, se convierte en herramienta clave para satisfacer las exigencias del mercado.

Una de las principales fallas de equipos eléctricos es por aislamiento, ello es afectado por envejecimiento, humedad, polvo, condiciones ambientales y prácticas de mantenimiento o limpieza.

La mayoría de transformadores actualmente en servicio, ya sea de potencia o distribución, son del tipo sumergidos en aceite dieléctrico, este particular permite monitorear y darles mantenimiento preventivo a través de ese líquido.

Por este motivo esta tesis pretende diseñar una máquina de tratamiento de aceite dieléctrico por termovació, acorde a las necesidades de mantenimiento que requiera este líquido en transformadores y así contribuir a extender su vida útil.

## **1.6. Hipótesis**

Es factible técnica y económicamente diseñar un equipo de procesos de termovació para mejorar las propiedades dieléctricas del aceite contaminado en transformadores de hasta 10000 KVA.

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1. General**

Evaluar la factibilidad del diseño de un equipo de procesos de termovació para mejorar las propiedades dieléctricas del aceite contaminado en transformadores de hasta 10000 KVA.

### **1.7.2. Específicos**

- Evaluar el funcionamiento de equipos para termovació existentes.
- Modelar el bosquejo del equipamiento del proceso de termovació.
- Diseñar y seleccionar los elementos del proceso de termovació.
- Simular el funcionamiento del equipo de termovació.
- Evaluar el costo beneficio de la propuesta.

## **II. MÉTODO**



## 2.1 Tipo y diseño de investigación

### a) Diseño de investigación

Se realizó una investigación aplicada, ya que se aplicó los conocimientos de máquinas hidráulicas para resolver parte del problema, de acuerdo a su alcance es descriptiva.

### b) Diseño de investigación

- **No experimental:** Porque no se manipulan datos, solo se observa tal como sucedió de su forma natural.
- **Descriptiva:** Según (Hernández Sampieri, 2014, pág 92) “busca detallar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se estudie”. Por ende, la investigación es de tipo descriptivo.

## 2.2 Operacionalización de variables

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCIÓN CONCEPTUAL	DESCRIPCIÓN OPERACIONAL	INDICADOR	ESCALA DE MEDICION	VALORES
Propiedades dieléctricas del aceite.	Variable dependiente	Cantidad de productos de descomposición que se forman cuando se envejece el aceite.(MARIA BRIONES, ECUADOR 2005)	las propiedades dieléctricas del aceite se analizan mediante indicadores	Índice de acidez	Razón	mg KOH/g Aceptable (AC) $\leq$ 0.005 Cuestionable (CU) $\geq$ 0.05; $\leq$ 0.10 Inaceptable (IN) $>$ 0.10
		Propiedad del material aislante de oponerse a ser perforado por la corriente eléctrica.(JUAN LEÓN, MEXICO 2010)	de: Índice de acidez, Rigidez dieléctrica, Contenido de agua. Las normas que regulan estos indicadores son:	Rigidez dieléctrica	Razón	Separación de 2mm $\leq$ 69KV Aceptable (AC) $\geq$ 40KV Cuestionable (CU) $<$ 40; $\geq$ 35KV Inaceptable $<$ 35KV
		Puede presentarse en el interior del transformador de las siguientes formas: disuelta, mezcla líquida, libre en el fondo del cámara y como hielo.(JUAN LEÓN, MEXICO 2010)	ASTM D 974, D 664, ASTM D 1816, ASTM D 1533	Contenido de agua en el aceite	Razón	Contenido de agua (ppm) Aceptable $\geq$ 30 Cuestionable: 25-30 Inaceptable $\leq$ 25

*Fuente: Elaboración propia*

## 2.3 Población y muestra.

### 2.3.1 Población:

3 sistemas maquinas: Maquina BRIZIO BASI DOV 400, Máquina de tratamiento de aceite dieléctrico S.E. Trujillo sur y Maquina secador de vacío ABB.

### 2.3.2 Muestra:

Es igual a la población.

## 2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.

Se empleó las siguientes técnicas e instrumentos de recolección de datos las siguientes:

- Ficha documental (en anexos).
- Cuestionario (en anexos)

### TECNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS

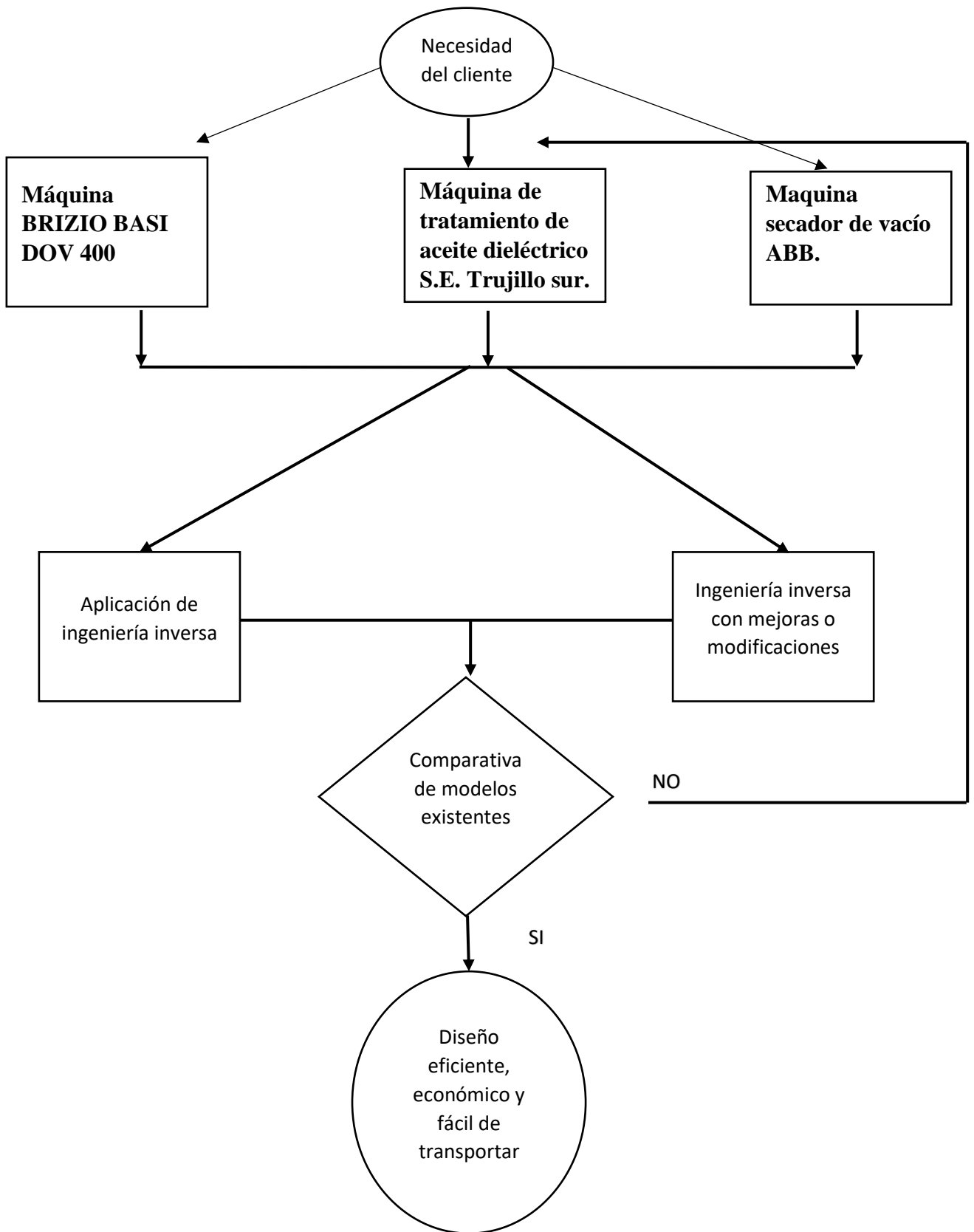
TÉCNICA	INSTRUMENTO	
Ficha documental	Guía de fichas Apa	Examinar los documentos y referenciarlos.
Cuestionario	Guía de cuestionario	Mediante un cuestionario al gerente y trabajadores de la empresa exprosilva EIRL.

**Tabla 7: Tecnicas e instrumentacion de recoleccion de datos.**

### Validez y Confiabilidad de instrumento.

Para determinar la validez de contenido de un instrumento se utilizará el juicio de un experto, por parte de la empresa EXPROSILVA EIRL, un ingeniero mecánico electricista con amplia experiencia en trabajos de mantenimientos eléctricos.

## 2.5 Procediendo.



## **2.6 Método de análisis de datos**

La interpretación se realizará en términos de los resultados de la investigación. Esta actividad consistirá en establecer inferencias sobre las relaciones entre la variable estudiada para llegar a los resultados.

## **2.7 Aspectos éticos**

La investigación realizada cumple con todo lo establecido por la universidad, normas APA, con el fin de verificar la veracidad de la información, metodología de la investigación e instrumentos de medición, también los autores mencionados fueron debidamente citados.

Se cumple con parámetros y normas, establecidas por la casa de estudios.

## **III. DESARROLLO**

### 3.1 Descripción del proceso de termovació:

Para el proceso de termovació la máxima temperatura que debe tener al aceite dieléctrico debe ser de 60°C, esto se debe a que a temperaturas mayores a 60°C el aceite dieléctrico sometido produce evaporación. (David A. e Isaac M.).

Una vez alcanzada la temperatura adecuada para el aceite dieléctrico pasara a la cámara de vacío en donde la entrada del aceite se hace por la parte superior del cámara mediante un dispersor “el aceite calentado hace su ingreso mediante tres pulverizados, estos se encargan de generar la espuma, lo cual facilita el trabajo de la bomba de vacío para una mejor desgasificación; el aceite pulverizado es depositado en una bandeja que se encarga de homogenizar el aceite tratado, durante esta etapa la bomba de vacío no es encendida, se espera que el aceite tenga una altura de 30 cm con la bomba de salida encendida.

Cuando ya se haya alcanzado la altura adecuada se activa la bomba de vacío y se da paso al proceso de desgasificación del aceite dieléctrico, procurando que el nivel superior no sobrepase un metro, esto implicaría que se cree demasiada espuma y puede ser absorbida por la bomba”. (David A. e Isaac M.).

El proceso de termovació, se alcanzan los siguientes resultados (Samuel P.)

- La humedad en el aceite se puede reducir por debajo de 1 O ppm
- La acidez se reduce a menos de 0,01 mg KOH/g
- Se puede lograr una rigidez dieléctrica mayor de 50 kV.
- Se alcanzan niveles de tensión interfacial mayores de 40 Din
- La tan  $\delta$  del aceite se puede alcanzar valores iguales o menores de 0.001
- Los lodos que se encuentran ya sean en suspensión, disueltos en el aceite o en pequeños depósitos son removidos durante la regeneración.
- La estabilidad a la oxidación en el aceite es restablecida hasta alcanzar valores iguales a los del aceite nuevo.
- Se recupera el color.
- Se mejora notablemente la rigidez dieléctrica del aislamiento.
- Se retarda la degradación del aislamiento sólido (papel)

### 3.2 Evaluación de los procesos de termovacío.

#### Proceso de termovacío.

Es el proceso más usado en la regeneración del aceite dieléctrico ya que es un mecanismo que garantiza valores bajos en humedad y permite elevar la rigidez dieléctrica. En la **Figura** se muestra la máquina de termovacío:

**Figura 6:** Máquina de termovacío ABB



*Fuente: ABB*

En este proceso encontramos varias etapas; el aceite es extraído del transformador mediante una bomba de engranajes, al salir del transformador el aceite pasa por una serie de filtros, luego pasa por una etapa de calentamiento, para luego ser sometido a vacío y luego es retornado al transformador nuevamente impulsado por una bomba de engranajes, pasando también por una serie de filtros.

Para poder desarrollar el objetivo general, “Diseñar una propuesta de máquina para el secado, filtrado y la desgasificación de aceite dieléctrico, utilizando un proceso de termo vacío.”, y cada uno de los objetivos específicos de este proyecto nos vamos a basar en el desarrollo de las fases de diseño según el ingeniero Benjamín Barriga, en su módulo “METODOLOGÍA DEL DISEÑO” de la Pontificia Universidad Católica Del Perú (2009).



Donde al tener un problema, requerimiento de una empresa, este se da solución desarrollando cada una de las fases de diseño, las cuales son:

1. Comprensión de la solicitud.
2. Concepto de la solución.
3. Elaboración del proyecto.
4. Elaboración de detalles.

Problema propuesto: ¿Es factible diseñar un equipo de procesos de termovació para mejorar las propiedades dieléctricas del aceite en transformadores de hasta 10000 KVA?

Dimensiones:

- Largo: 2 m
- Ancho: 1 m
- Alto: 1.5 m

Capacidad de la maquina: 1200 l/h de aceite dieléctrico

### Comprensión de la solicitud.

Es en esta fase en donde el cliente nos presentó su necesidad la cual fué atendida y comprendida para poder darle solución; en esta fase se hizo uso de la lista exigencias para dar solución al problema propuesto.

**Tabla 8:** Lista de exigencias para el diseño de una máquina de termovació.

Lista de exigencias		Página: 1 de 2
Proyecto:		Fecha: 20/04/19
Diseño de una máquina de termovació		Revisado: DSL
Cliente:		Elaborado: LC/CN
Exprosilva		
Fecha	Deseo / Exigencia	Descripción
	E	Función principal:

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• secado, filtrado y la desgasificación de aceite dieléctrico.</li> <li>• debe tener un caudal de 1200 l/h de aceite dieléctrico.</li> </ul>
E	Materia prima: La materia prima empleada será aceite dieléctrico.
E	Fuerza: La fuerza en la base debe ser la necesaria para soportar el peso de toda la máquina.
E	Seguridad: La máquina será diseñada de tal manera que no ponga en peligro la integridad física de los operarios.

**Fuente:** Autores

**Tabla 9:** Lista de exigencias para el diseño de una máquina de termovació.

Lista de exigencias		Página: 2 de 2
Proyecto:	Diseño de una máquina de termovació	Fecha: 20/04/19
		Revisado
Cliente:	Exprosilva	Elaborado: LC/CN
Fecha	Deseo / Exigencia	Descripción
	E	Costos: Los costos de diseño deben estar en el rango de: S/. 3000 a S/. 5000 soles y los costos de

	fabricación entre: S/ 10000 a 20000.
E	Señales: Estará provista de señales que indiquen el inicio y fin del proceso, y una parada de emergencia.
E	Fabricación: La fabricación de la máquina debe ser factible en talleres locales y con materiales accesibles.
E	Montaje: El montaje y desmontaje debe ser rápido.
D	Ergonomía: Los dispositivos de operación deben estar a una altura adecuada para el operario.
D	Mantenimiento: Las partes de mayor desgaste deben ser fácil de reemplazar.
D	Transporte: Estará provista de un remolque para facilitar su transporte.

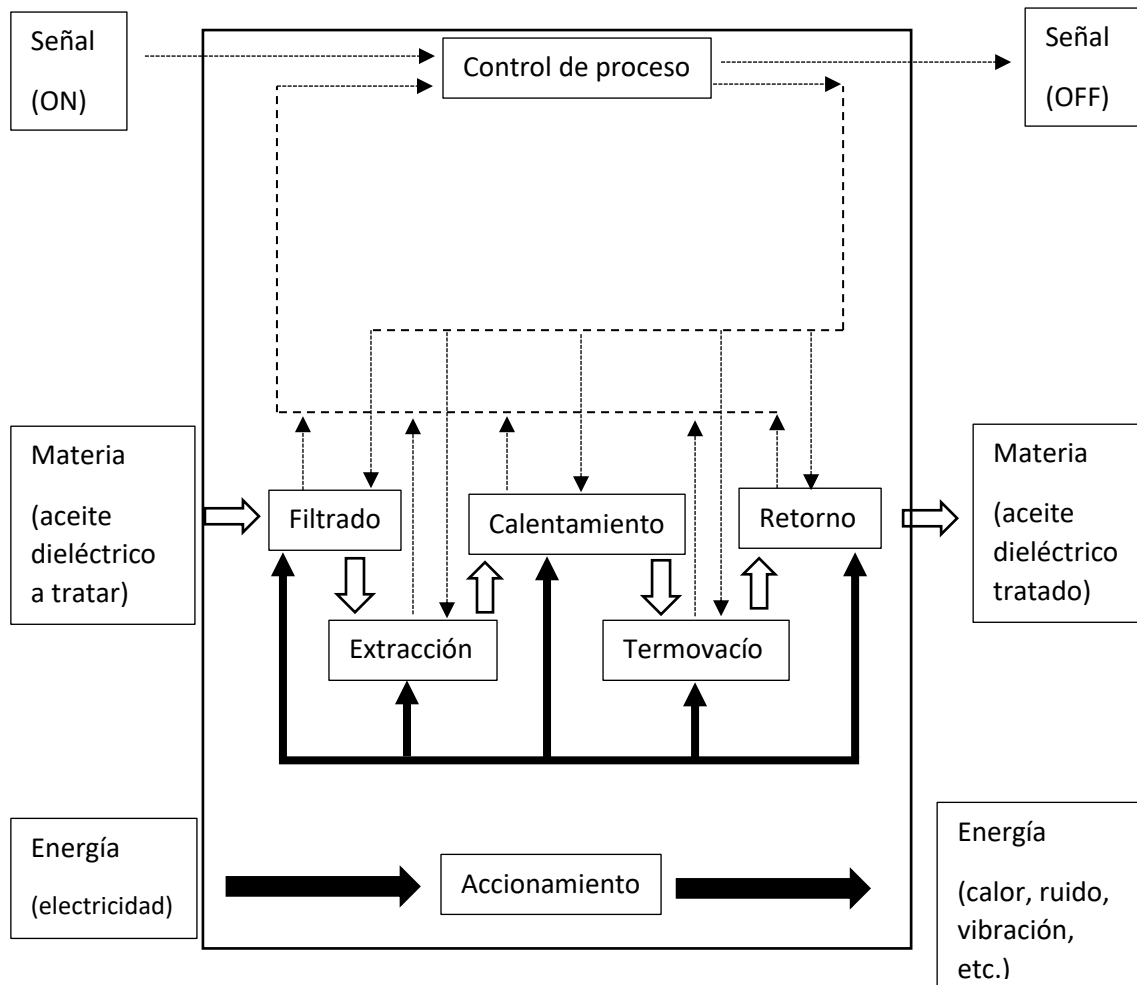
*Fuente: Autores*

### **Concepto de la solución.**

Para el concepto de solución vamos a analizar dos puntos importantes, que son la estructura de funciones, apoyados de la caja negra, en donde se va a identificar cada uno de los componentes de la máquina, y matriz morfológica en donde vamos a analizar las funciones de cada componente.

- Estructura de funciones

**Figura 7:** Caja negra de la estructura de funciones de la máquina de termovacío.



**Figura 8:** Matriz morfológica del proceso de termovació.

Proceso	Máquina BRIZIO BASI DOV 400	Máquina de tratamiento de aceite dieléctrico S.E. Trujillo sur.	Maquina secador de vacío ABB.	Diseño eficiente
Filtrado				
Extracción				
Calentamiento				
Termovació				
Retorno				

*Fuente: Autores.*

## Comparativa de las maquinas según proceso

### Filtrado.

**Tabla 10:** Comparativa del proceso de filtrado.

<b>PROCESO DE FILTRADO</b>			
<b>Máquina</b>	<b>Máquina de tratamiento</b>	<b>Maquina</b>	<b>Diseño</b>
<b>BRIZIO</b>	<b>de aceite</b>	<b>secador de vacío</b>	<b>eficiente</b>
<b>BASI DOV</b>	<b>dieléctrico</b>	<b>ABB.</b>	
<b>400</b>	<b>S.E. Trujillo sur.</b>		
Posee un primer filtro con imanes con la finalidad de retener las partículas metálicas, le sigue un segundo filtro para partículas intermedias, posee un espesor de 20 micras; por último, un tercer y último filtro con un espesor de 10 micras. (Juan A.)	Lleva dos filtros de líquido aislante al equipo, de configuración doble para operación alternativa, formados por una fina malla de alambre e imanes permanentes para retener las partículas de mayor tamaño y así evitar posibles daños a la bomba de alimentación. (Samuel P)	Posee un único filtro a la entrada, es un filtro grueso de configuración doble con una retención de partículas de hasta 10 micras. (ABB)	Vamos a tomar como referencia y guía el diseño del <b>secador de vacío ABB</b> , ya que nuestro diseño a proponer debe ser simple, eficiente y fácil de transportar.

*Fuente: Autores*

## Extracción

**Tabla 11:** Comparativa del proceso de extracción.

<b>PROCESO DE EXTRACCIÓN</b>			
<b>Máquina</b>	<b>Máquina de tratamiento de aceite dieléctrico S.E. Trujillo sur.</b>	<b>Maquina secador de vacío ABB.</b>	<b>Diseño eficiente</b>
Es una bomba rotativa de engranaje impulsada por un motor trifásico de 2.5KW con una capacidad de 0.212gal/seg. (Juan A.)	Debe ser de engranajes tipo volumétrico, con husillo de eje horizontal. Su construcción debe ser de fundición de hierro y acero, con empaquetadura mecánica. Caudal: 6000 litros/hora Potencia del motor: 5 a 6 HP (Samuel P)	Se realiza mediante configuración de dos bombas de engranajes impulsado por un motor eléctrico, independiente para cada bomba, y trabajan las dos en conjunto. (ABB)	Vamos a disponer de una bomba de engranajes, con una presión máxima de 10 BAR y un caudal de 1200 l/h y una potencia del motor de 2 hp, tal y como se mencionó en el proceso anterior el diseño propuesto debe ser fácil de transportar, por lo que debe de ser pequeño, en tamaño.

*Fuente: Autores.*

## Calentamiento

**Tabla 12:** Comparativa del proceso de calentamiento.

<b>PROCESO DE CALENTAMIENTO</b>			
<b>Máquina BRIZIO BASI DOV 400</b>	<b>Máquina de tratamiento de aceite dieléctrico S.E. Trujillo sur.</b>	<b>Maquina secador de vacío ABB.</b>	<b>Diseño eficiente</b>
Posee un sistema de calentamiento compuesta por 21 resistencias divididas en tres grupos con una potencia de 31.5KW. (Juan A.)	El sistema de calentamiento funciona en tres o cuatro etapas de calentamiento seleccionables manualmente. Las resistencias garantizan control de temperaturas del aceite entre 0 °C y 100 °C. Cuenta con un control independiente de la planta que no permite que las resistencias sean conectadas cuando no hay flujo de aceite. (Samuel P.)	Calentador de resistencias compacto, las resistencias de calentamiento son de inmersión con las características necesarias para su utilización con aceite dieléctrico, por lo cual está construido de un material antioxidante. El diseño compacto es con la finalidad de ahorrar espacio. (ABB)	Vamos a tomar como modelo a seguir el calentador de la maquina <b>secador de vacío ABB</b> , que es de tipo cilindro o de paso con 4 resistencias de 3 kw cada una, este modelo se ajusta nuestra idea y necesidad de un modelo que ocupe poco espacio y tenga un buen desempeño.

*Fuente: Autores.*



**Cámara de vacío.**

**Tabla 13:** Comparativa de la cámara de vacío.

<b>PROCESO DE TERMOVACÍO</b>			
<b>Máquina</b>	<b>Máquina de</b>	<b>Maquina</b>	<b>Diseño</b>
<b>BRIZIO</b>	<b>tratamiento</b>	<b>secador de</b>	<b>eficiente</b>
<b>BASI</b>	<b>de aceite</b>	<b>vacío</b>	
<b>DOV 400</b>	<b>dieléctrico</b>	<b>ABB.</b>	
	<b>S.E. Trujillo</b>		
	<b>sur.</b>		
Para este proceso de cámara es de 1.40m de altura, diámetro de 70cm y lamina espesor de 6mm; una presión de 1Pa, cuenta con mirillas para observar el nivel de aceite, la entrada del aceite se hace por la parte superior con un dispersor y se evacua por la parte inferior.	Es cilíndrica, construida al carbono, pintura epódica de Equipada con boquilla pulverizadora y un paquete de "Raschig". Está compuesta por: Conexión para el aceite. Conexión para la bomba de vacío. Válvula rompe vacío.	Compuesto por un cámara de forma cilíndrica. construido de acero al carbono la entrada del aceite por la parte superior y posee unas boquillas las cuales permiten pulverizar el aceite entrante, la evacuación se hace por la parte inferior soporta una presión de vacío de 10 Pa.	Para nuestro diseño vamos a seguir el modelo de los tres ya que son iguales en forma varia la capacidad, nuestro cámara debe soportar presiones de 3 bar y 10 bar de vacío, estará con recubrimiento epóxico la entrada del aceite por la parte superior y por pulverizado; la evacuación por la parte inferior.

*Fuente: Autores.*

## Bomba de vacío

**Tabla 14:** Comparativa de la bomba de vacío.

<b>PROCESO DE TERMOVACÍO</b>			
<b>Máquina BRIZIO BASI DOV 400</b>	<b>Máquina de tratamiento de aceite dieléctrico S.E. Trujillo sur.</b>	<b>Maquina secador de vacío ABB.</b>	<b>Diseño eficiente</b>
Las bombas de vacío van conectadas por la parte superior del cámara. El sistema cuenta con dos bombas de vacío movidas por motores trifásicos de 2.2KW, con una capacidad de 0.2Kg/cm <sup>2</sup> . Por el calor generado cada bomba puede estar funcionando durante dos horas y media aproximadamente de forma continua, por eso su funcionamiento es alternado. (Juan A.)	Caudal mínimo: 6000 Litros/hora. Potencia del motor: 5 a 6 HP. Bomba de alto vacío de paletas rotativas, Desplazamiento volumétrico: 200 m3/hora aprox. Vacío límite: 0.05 mbares. Potencia: 5 a 6 HP. Bomba de vacío tipo ROOTS. Desplazamiento volumétrico: 2500-3000 m3/hr. Potencia: 10 HP aprox. (Samuel P)	Compuesta además está de una bomba de vacío acoplada a un ventilador acompañado de una bomba roots y un separador. La extracción de aceite se hace con una bomba de engranaje. (ABB)	Vamos a tomar el uso de una bomba de alto vacío con paletas rotativas y el uso de un ventilador para su enfriamiento si hay trabajo por varias horas, la presión de trabajo será de 10 bar.

*Fuente: Autores.*

## Retorno

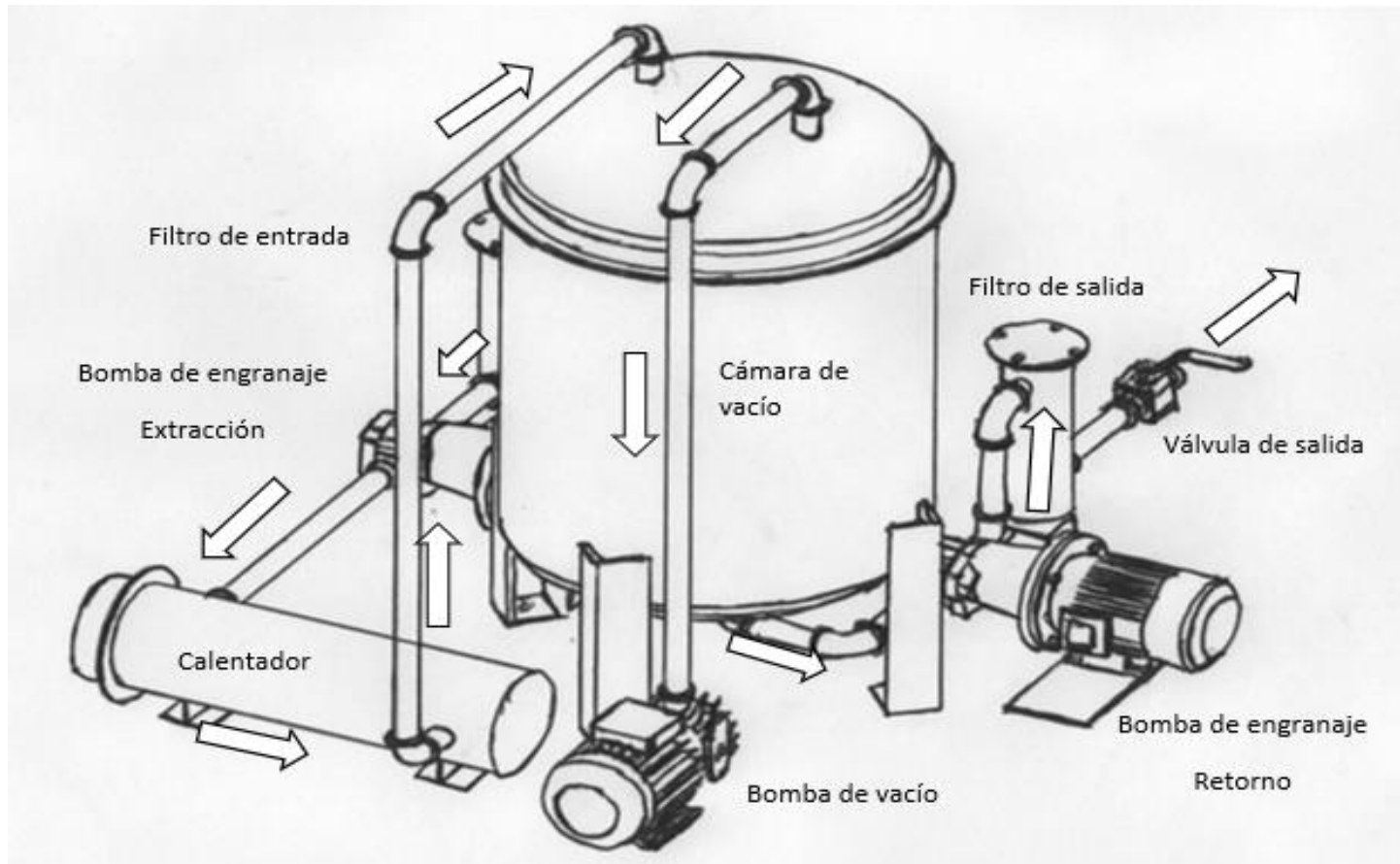
**Tabla 15:** Comparativa del proceso de retorno.

<b>PROCESO DE RETORNO</b>			
<b>Máquina de tratamiento de aceite dieléctrico S.E. Trujillo sur.</b>	<b>Máquina de BRIZIO BASI DOV 400</b>	<b>Maquina secador de vacío ABB.</b>	<b>Diseño eficiente</b>
Es una bomba rotativa de engranaje impulsada por un motor trifásico de 2.5KW con una capacidad de 0.212gal/seg. Aquí también lleva un filtro fino de salida con 10 micras de espesor su función es retener cualquier impureza que haya pasado antes de que el aceite retorne al transformador. (Juan A.)	Filtros principales, compuestos por cartuchos desechables de fácil reemplazo, quedando retenidas todas las partículas de tamaño igual o superior a 0.5 micrones nominal. (Samuel P)	El retorno se hace con una bomba de engranaje, pasando por un filtro fino de 10 micrones; la bomba de retorno es independiente de la bomba de extracción. (ABB)	Para el retorno se va a utilizar una bomba de engranajes al igual que para el proceso de extracción siendo cada una independiente, antes de llenar el aceite al transformador va a pasar por un filtro final de 5 micras.

*Fuente: Autores*

### 3.3 Bosquejo del diagrama de proceso de termovacío.

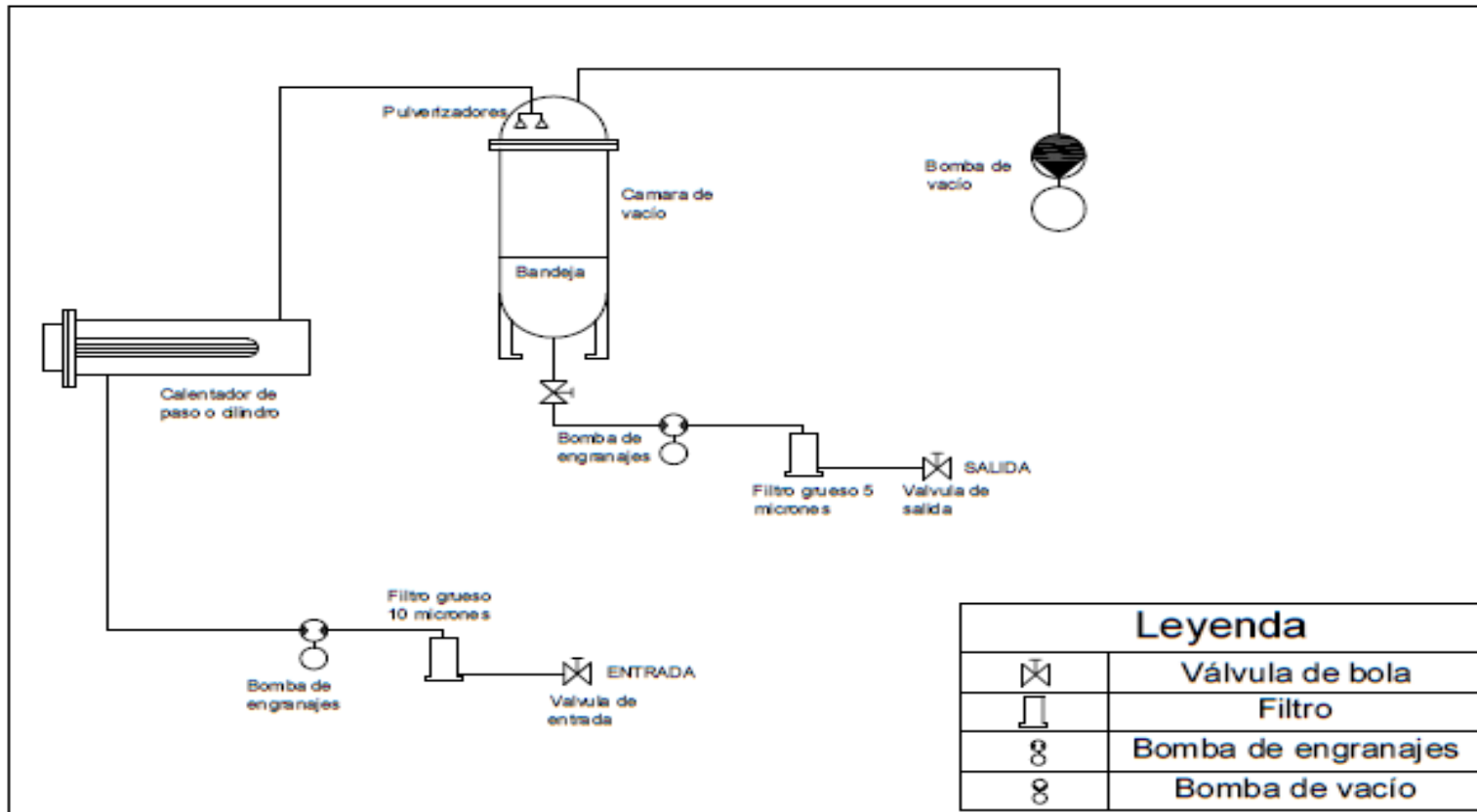
Figura 8: Bosquejo del diagrama de proceso de termovacío.



*Fuente: Autores.*

### 3.4 Diagrama de proceso del termovacío

Figura 9: Diagrama del proceso de termovacío

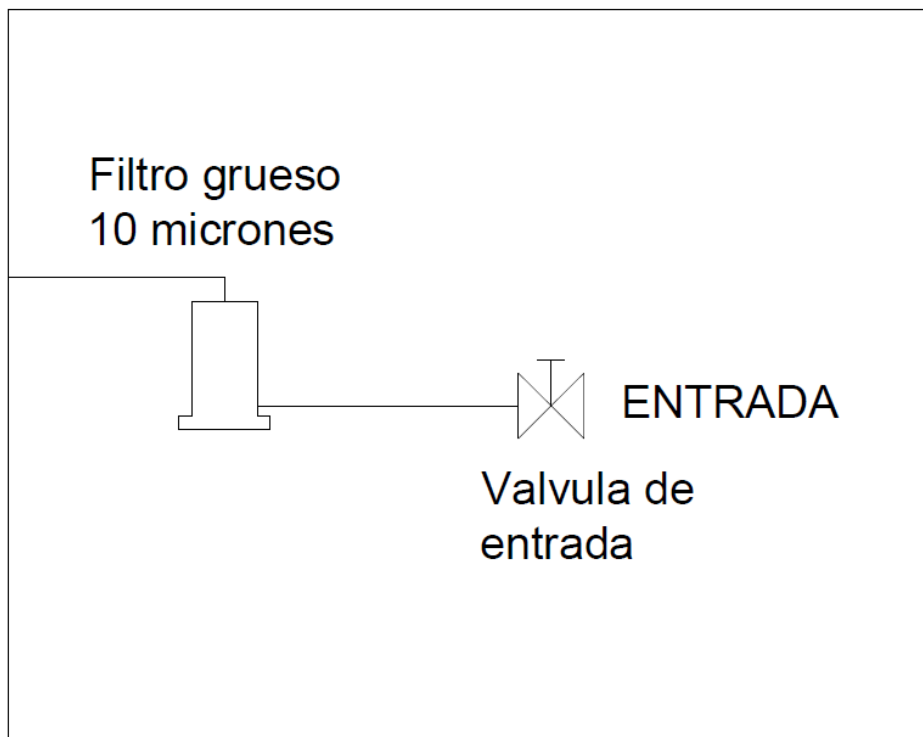


Fuente: Autores

**a) Proceso de filtrado:**

Para este proceso vamos a contar con la tecnología de filtración **Donaldson** donde podemos encontrar los cartuchos filtrantes de la serie **Donaldson Blue Series KZ5 y KZ10**, los cuales se ajustan a nuestras necesidades, poseen una altura de 250 mm y un diámetro de 90 mm; siendo así que están compuestos por una malla metálica imantada, la cual permite retener partículas metálicas de mayor tamaño, la malla retiene partículas de 10 micrones. Para estos cartuchos tenemos la carcasa **Donaldson** de 100mm de diámetro por 300mm de alto, está construido en su totalidad de acero con una empaquetadura de fluorocarbon. (Donaldson filtration solutions)

Figura 1: Proceso de filtrado.

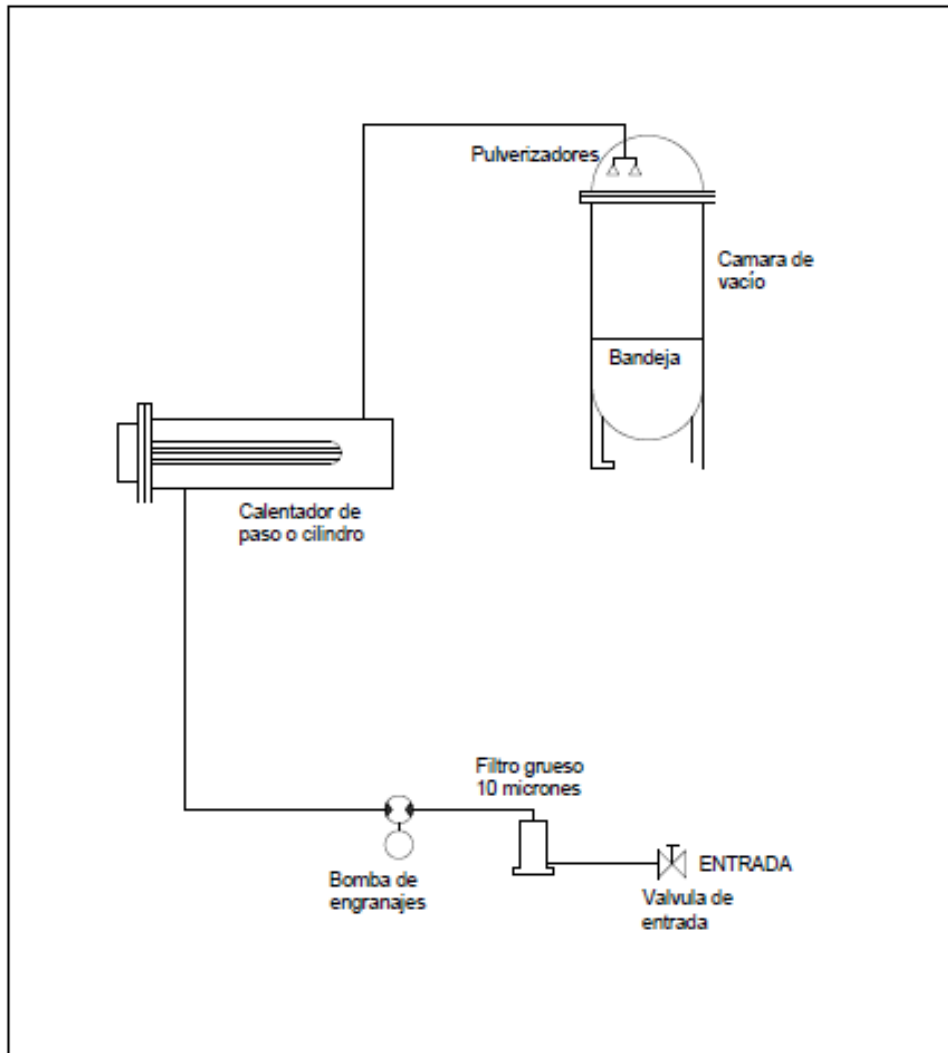


*Fuente: Autores.*

**b) Proceso de extracción:**

En este proceso se usa una bomba de engranaje con una presión máxima de 10 BAR y un caudal 1200 l/h, accionado por un motor, su función principal es extraer el aceite contenido en el transformador hacia el proceso de filtrado, luego calentar mediante las resistencias, en este proceso encontramos a la entrada una válvula de bola, luego pasa al filtro mediante tuberías de 1 ¼ , y un arreglo de cuatro codos de 90, a la salida del calentador la bomba deposita el aceite en la cámara de vacío a través de unos pulverizadores, la función principal de estos es generar la espuma del aceite dieléctrico para que la bomba de vacío pueda realizar la desgasificación del aceite.

**Figura10:** Proceso de extracción.

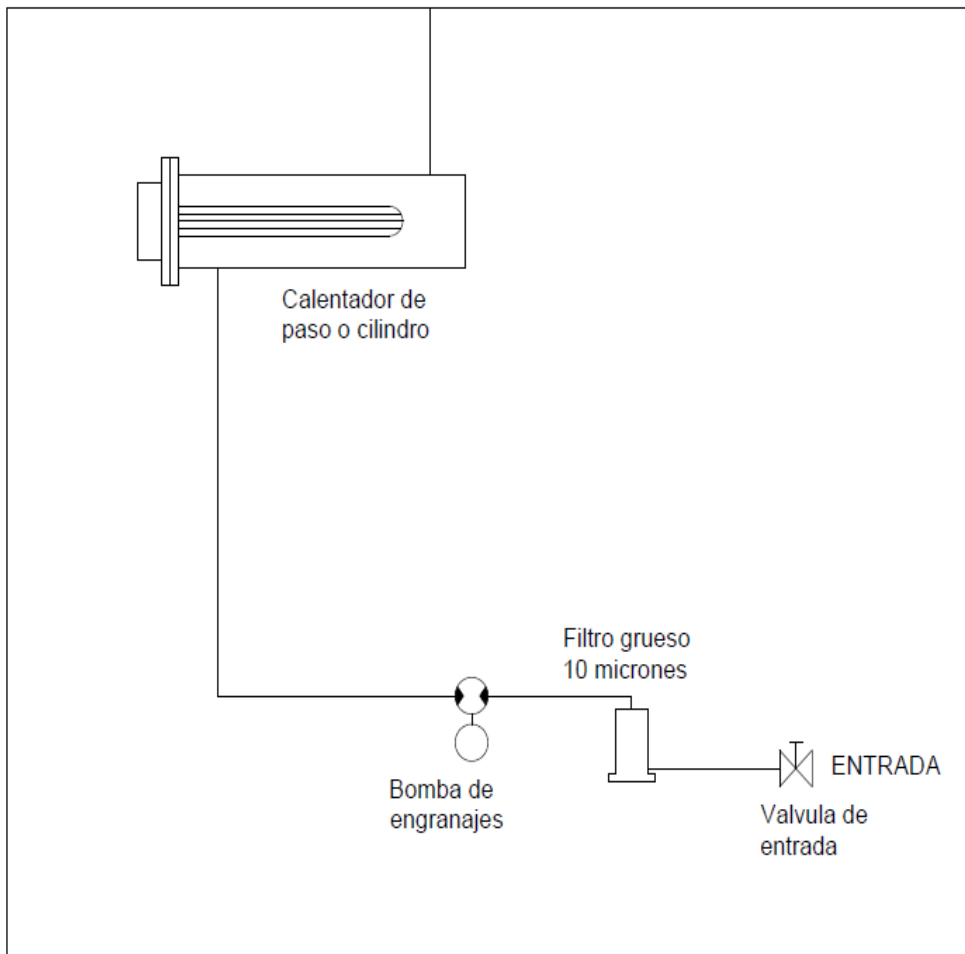


*Fuente: Autores.*

**Proceso de calentamiento:**

En este proceso vamos a elevar la temperatura del aceite mediante un calentador tipo cilindro o de paso, en este proceso se va a elevar la temperatura del aceite mediante el proceso denominado por inmersión, desde una temperatura ambiente de 25 °C hasta una temperatura de 60 °C, esta última siendo la temperatura óptima para el proceso de termovacío.

**Figura11:** Proceso de calentamiento.



*Fuente: Autores.*

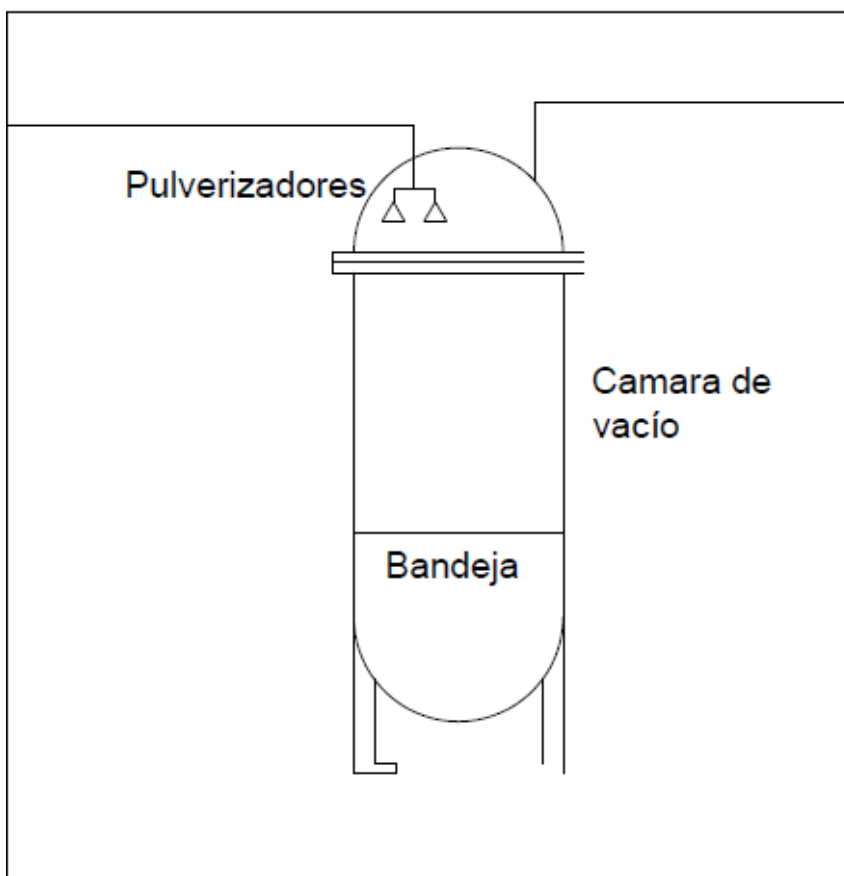


**b) Proceso de vacío:**

**Cámara de vacío:**

Para el proceso de vacío uno de los elementos principales es el cámara de vacío, el cual debe soportar presiones de 3 bar y 10 bar de vacío, estará con recubrimiento epóxico la entrada del aceite por la parte superior y por pulverizado; durante esta etapa la bomba de vacío no está encendida, se espera que el aceite tenga una altura de 30 cm con la bomba de salida encendida, la evacuación es por la parte inferior, la cámara de vacío tendrá una altura de 1.5 m por un diámetro de 600 mm.

**Figura 12:** Proceso de vacío.



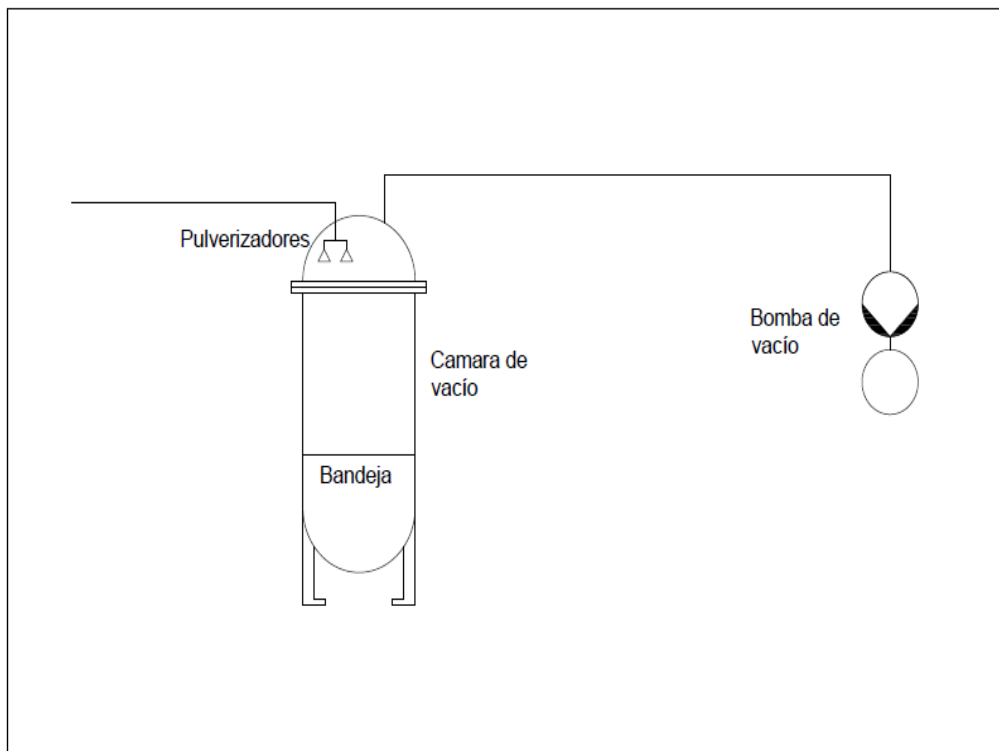
*Fuente: Autores.*

### C) Proceso de vacío:

#### Bomba de vacío:

Siguiendo con el proceso de vacío uno de los elementos indispensables es la bomba de vacío, la cual será usada de acuerdo a nuestras necesidades, siendo así que vamos a considerar una bomba de alto vacío con paletas rotativas y el uso de un ventilador para su enfriamiento si hay trabajo por varias horas, la presión de trabajo será de 10 bar. La bomba de vacío encargada de la generación de vacío el cual permitirá la extracción de los gases y el agua del aceite.

**Figura 13:** Proceso de vacío.

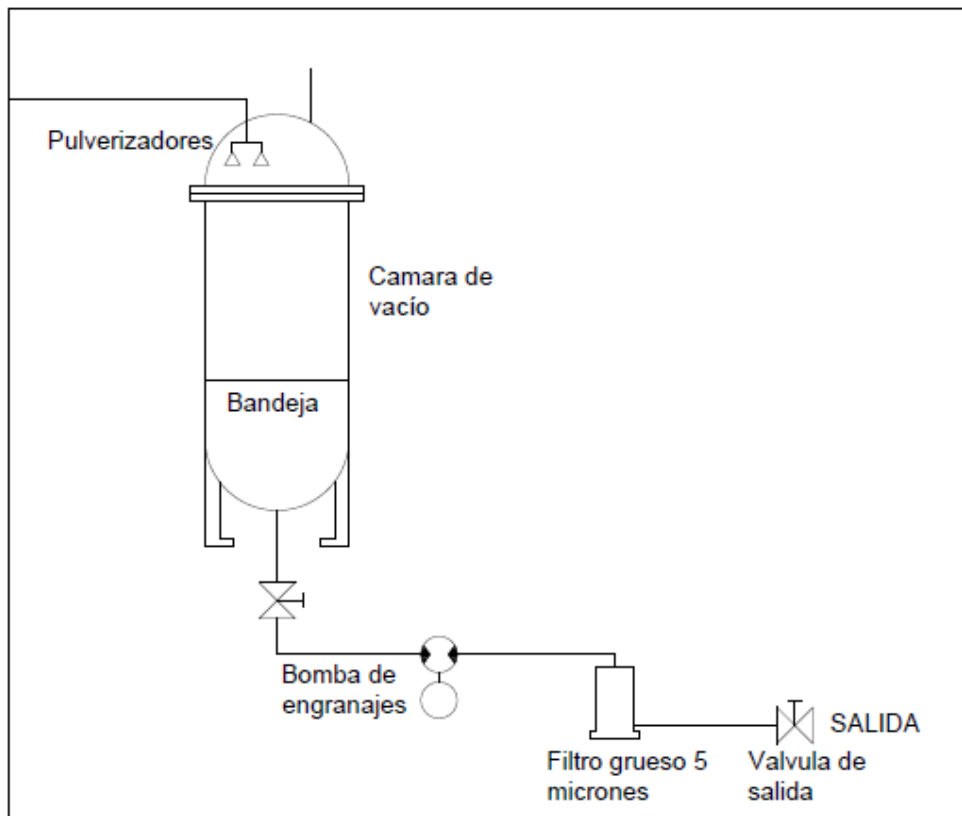


*Fuente: Autores.*

**c) Proceso de retorno:**

Este proceso consta de una bomba de engranaje accionado por un motor, de la misma capacidad que la bomba de engranajes usada para la extracción, su función principal es extraer el aceite tratado, retornar el aceite tratado al transformador y hacerlo pasar por el filtro de salida.

**Figura 24:** Proceso de retorno.



*Fuente: Autores.*

### 3.5 Características técnicas para el diseño.

**Tabla16:** Características técnicas para el diseño.

<b>Proceso</b>	<b>Descripción</b>	<b>Características</b>
<b>Filtrado</b>	Inicio del proceso donde se trata de retener la mayor cantidad de partículas presentes en el aceite, así como algunas partículas metálicas	Carcasa Donaldson, diámetro 100 mm, altura 300 mm filtro Donaldson Blue KZ10 retención de partículas de 10 micrones.
<b>Extracción</b>	Función principal es extraer el aceite contenido en el transformador y hacerlo llegar al cámara, inyectarlo por medio de unos pulverizadores.	Bomba de engranaje de caudal de 1200 l/h soportar una presión de 10 bar.
<b>Calentamiento</b>	En este proceso se va a elevar la temperatura del aceite mediante el uso de resistencias eléctricas.	Calentador de cilindro o paso. Temperatura de trabajo de desde 25 °C hasta una temperatura de 60 °C,
<b>Termovacío</b>	El cámara de vacío es donde se inicia el proceso de termovacío y desgasificación.	Medidas: altura 1 m diámetro 600 mm Presión: 3 bar y 10 bar de vacío. se espera que el aceite tenga una altura de 30 cm con la bomba de salida encendida.
	La bomba de vacío es la encargada de generar el vacío dentro del cámara.	Bomba de alto vacío de paletas rotativas.

		Presión de vacío de 10 bar.
<b>Retorno</b>	su función principal es extraer el aceite tratado, retornar el aceite tratado al transformador y hacerlo pasar por el filtro de salida.	Bomba de engranaje de caudal de 1200 l/h soportar una presión de 10 bar.

*Fuente: Autores.*

### 3.6 Diseño de los elementos de termovacío.

Siguiendo con el desarrollo de las fases de diseño según el ingeniero Benjamín Barriga, en su modulo “METODOLOGÍA DEL DISEÑO” de la Pontificia Universidad Católica Del Perú (2009).

Vamos a desarrollar las dos últimas fases del diseño, que son:

#### **Elaboración del proyecto.**

En esta fase nos permite ir definiendo el diseño final partiendo desde un bosquejo, pasando por los cálculos y finalmente un diseño en CAD.

#### **Válvula de entrada:**

Las válvulas son indispensables para el control del sistema, cada componente del sistema de tener su válvula, también en la salida y a la entrada de todo el sistema.

La válvula seleccionada es la se describe a continuación la tabla.

**Tabla 27:** Descripción de la válvula.

Componente	Descripción	Valores
	Válvula de bola de 3 cuerpos con bridadas.	Diámetro: 1 ¼
	Cuerpo en acero al carbono, internos en acero	



---

inoxidable

SS316.

Aplicables

para agua,

vapor, gases y

aceites.

Presión


150 psig

---

*Fuente: Genera vapor*

## Cartuchos de filtrado:

**Tabla 18:** Cartuchos de filtrado.

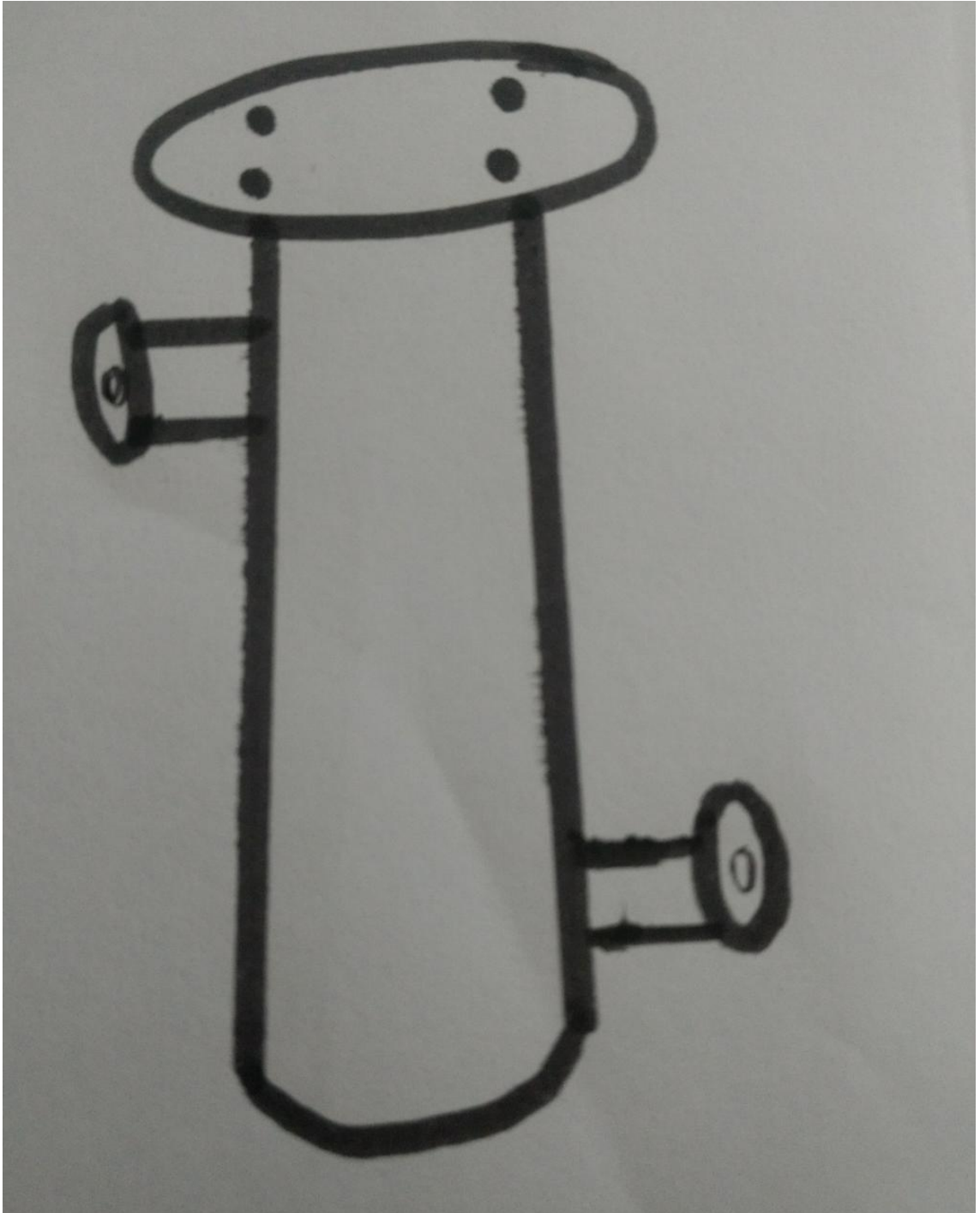
Componente	Descripción	Valores
	Los filtros hidráulicos Donaldson ayudan a proteger los equipos, a reducir los costos de mantenimiento y a aumentar el tiempo de actividad del equipo, lo cual tiene un impacto directo en su costo de operación.	Diámetro: 100 mm Altura: 250 mm Caudal: 1000 - 2000 l/h
	Filtro DBH6018, será utilizado en la salida.	5 micrones
	Filtro DBH6019, será utilizado a la entrada.	10 micrones

*Fuente: Donaldson.*

**Cuerpo del filtro:**

En este recipiente estará contenido los cartuchos de filtros intercambiables.

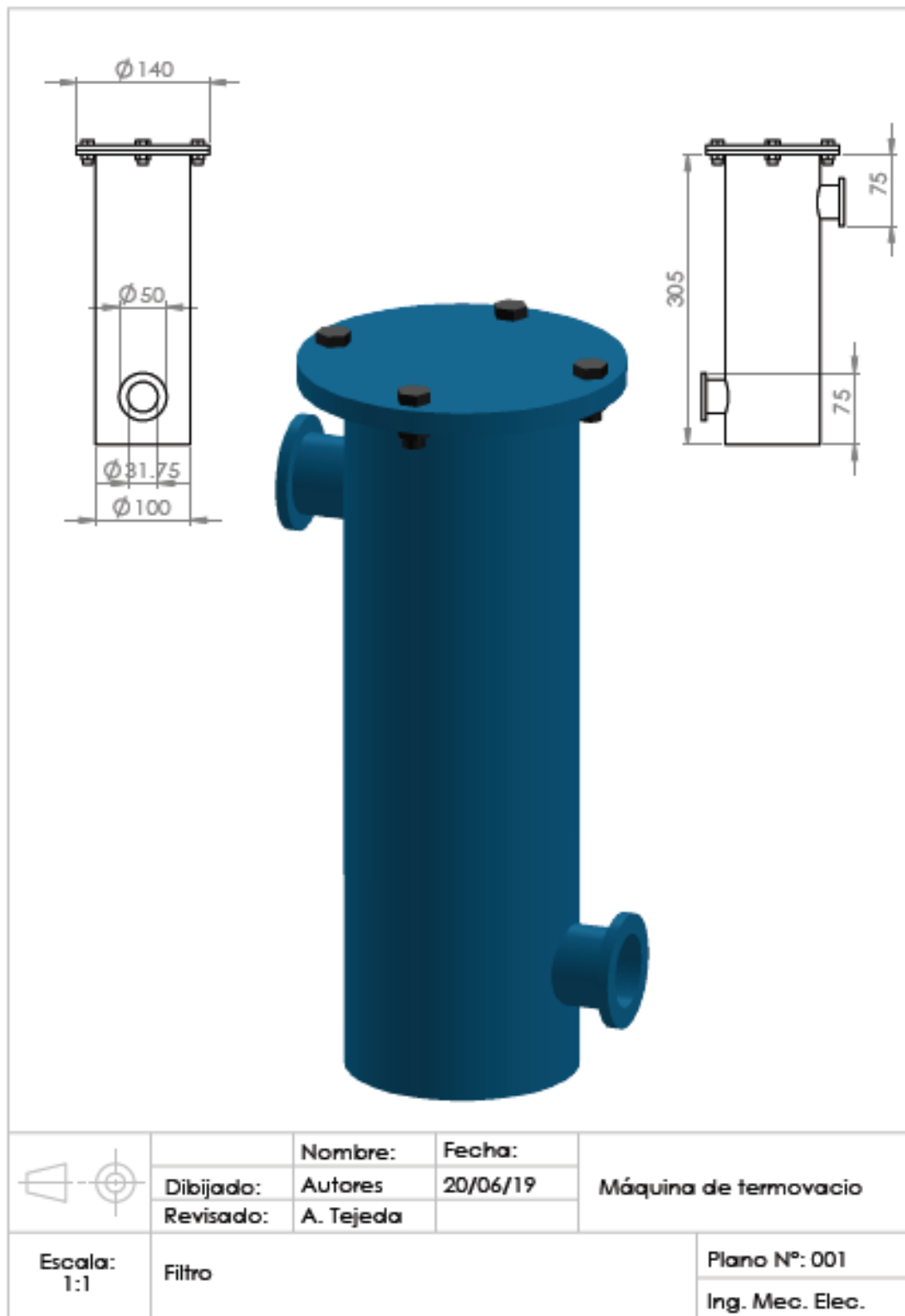
Figura 3: Bosquejo del cuerpo de filtros.



*Fuente: Autores.*



**Figura 45:** Dibujo CAD del cuerpo de filtros.



*Fuente: Autores.*

## **Cálculo de la bomba de engranaje.**

### **Bomba de succión:**

Para poder dimensionar de una manera acertada la potencia de la bomba vamos a utilizar la ecuación general de energía para sistemas en serie que incluyen una bomba en donde se tomara en cuenta las presiones principales del sistema, de donde tendremos una aproximación de la potencia que trasmite el fluido.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Donde:

$P_1$ : Presión en el punto 1 ( $N/m^2$ )

$P_2$ : Presión en el punto 2 ( $N/m^2$ )

$v_1$ : Velocidad del fluido en el punto 1 ( $m/s$ )

$v_2$ : Velocidad del fluido en el punto 2 ( $m/s$ )

$Z_1$ : Altura del fluido en el punto 1 ( $m$ )

$Z_2$ : Altura del fluido en el punto 2 ( $m$ )

$h_A$ : Energía añadida por la bomba ( $m$ )

$h_L$ : Pérdidas en el proceso ( $m$ )

$g$ : Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

$\gamma$ : Peso específico ( $N/m^3$ )

Como el fluido se encuentra en estado estacionario la velocidad 1 y 2 se anulan.

$$h_A = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + h_L$$

Donde:

$P_1$ : Presión en el punto 1 ( $N/m^2$ )

$P_2$ : Presión en el punto 2 ( $N/m^2$ )

$Z_1$ : Altura del fluido en el punto 1 ( $m$ )

$Z_2$ : Altura del fluido en el punto 2 ( $m$ )

$h_A$ : Energía añadida por la bomba ( $m$ )

$h_L$ : Pérdidas en el proceso ( $m$ )

$g$ : Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

$\gamma$ : Peso específico ( $N/m^3$ )

Hallando las pérdidas que se presentan el sistema ( $h_L$ ):

Se sabe que estas pérdidas generalmente están asociadas a la velocidad lineal del fluido, entonces:

$$Q = v * A$$
$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

Donde:

$Q$ : Caudal ( $l/h$ )

$v$ : velocidad del fluido ( $m/s$ )

$A$ : Área de la tubería ( $m^2$ )

Para el desarrollo de esta ecuación vamos a considerar un caudal nominal de la máquina de 1200 l/h.

$$Q = 1200 \frac{l}{h} * \frac{1000 cm^3}{1l} * \frac{1h}{3600s} = 333.33 \frac{cm^3}{s}$$
$$d = 1 \frac{1}{4} in = 3.175 cm$$

Hallando la velocidad:

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2}$$
$$v = \frac{4 * 333.33 \frac{cm^3}{s}}{\pi (3.175 cm)^2}$$
$$v = 42.1 \frac{cm}{s} = 0.42 \frac{m}{s}$$

Ahora vamos a determinar si el flujo es laminar o turbulento, para ello se hará uso del número de Reynolds, donde:

$$NR = \frac{v * d}{\nu}$$

Donde:

$NR$ : Número de Reynolds

$v$ : velocidad del fluido ( $m/s$ )

$d$ : Diámetro de la tubería ( $m$ )

$\nu$ : Viscosidad cinemática ( $cm^2/s$ )

Donde  $\nu$ , es la viscosidad cinemática, en donde aproximadamente a una temperatura de 50°C es 0.08cm<sup>2</sup>/s.

$$NR = \frac{v * d}{\nu}$$

$$NR = \frac{42.1 \frac{cm}{s} * 3.175cm}{0.08 \frac{cm^2}{s}}$$

$$NR = 1670.8$$

Se cumple que el flujo es laminar ya que NR<2000; entonces para estos casos según Robert Mott para sistemas en serie se deben considerar las siguientes pérdidas:

- Pérdidas de salida de cámara.
- Pérdidas por codos y Tee.
- Pérdidas por fricción en tubería.
- Pérdidas por válvula.
- Pérdidas de entrada de cámara.

**Pérdidas a la salida del cámara (entrada de la tubería):**

$$h_1 = K * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

$h_1$ : Pérdidas a la salida (m)

$v$ : velocidad del fluido (m/s)

$g$ : Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$K$ : Coeficiente de resistencia a la entrada de la tubería

Según Robert Montt,  $K$  depende de la forma en que se encuentra dispuesta la tubería dentro del cámara, en este caso el valor de  $K$  es 1 porque se trata de un conducto con proyección hacia adentro. (Robert M. sexta edición, pág. 284)

$$h_1 = 1 * \frac{(0.421 \frac{m}{s})^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_1 = 9.04 * 10^{-3}m$$

**Pérdidas por codos y Tee:**

$$h_2 = K * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

$h_2$ : Pérdidas por codos y tees ( $m$ )

$K$ : Coeficiente de resistencia en tubos y codos

$v$ : velocidad del fluido ( $m/s$ )

$g$ : Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

$K$  está dado por la siguiente ecuación, en donde, los valores de  $\frac{L_e}{D}$  y  $f_T$  se encuentran en la tabla del **anexo 1**, tabla tomadas del libro de Robert Montt, sexta edición, pág. 297.

$$K = \frac{L_e}{D} * f_T$$
$$h_2 = \frac{L_e}{D} * f_T * \frac{v^2}{2g}$$

Según el diseño de la distribución de la tubería se cuenta con 9 codos, entonces:

$$h_{2a} = 4 * 30 * 0.022 * \frac{(0.421 \frac{m}{s})^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}}$$
$$h_{2a} = 0.056m$$

En el tramo de la tubería se va a tener dos Tees una para el bypass y otra para retorno de aceite y regulación de presión, entonces se tiene:

$$h_{2b} = 1 * 20 * 0.022 * \frac{(0.421 \frac{m}{s})^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}}$$
$$h_{2b} = 4 * 10^{-3}m$$
$$h_{2c} = 1 * 60 * 0.022 * \frac{(0.421 \frac{m}{s})^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}}$$
$$h_{2c} = 0.012m$$
$$h_2 = 0.07m$$

### Pérdidas por fricción en tubería:

$$h_3 = f * \frac{L}{d} * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

$h_3$ : Pérdidas por fricción en la tubería (m)

$L$ : longitud de la tubería (m)

$d$ : diámetro de la tubería (m)

$v$ : velocidad del fluido (m/s)

$g$ : Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$f$ : Factor de fricción

El factor de fricción cuando se tiene un flujo laminar se calcula con la siguiente ecuación:

$$f = \frac{64}{NR}$$

$$f = \frac{64}{1670.8}$$

$$f = 0.038$$

$$h_3 = 0.038 * \frac{3.5m}{0.03175m} * \frac{(0.421 \frac{m}{s})^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_3 = 0.07m$$

### Pérdidas por válvula:

$$h_4 = \frac{L_e}{D} * f_T * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

$h_4$ : Pérdidas por válvulas (m)

$v$ : velocidad del fluido (m/s)

$g$ : Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Para el caso de las válvulas  $\frac{L_e}{D}$  y  $f_T$  varían dependiendo del tipo de válvula, valores que se encuentran en la tabla del **anexo 1**, tabla tomada del libro de Robert Montt, sexta edición pág. 297.

Válvulas de globo:

$$h_{4a} = \frac{L_e}{D} * f_T * \frac{v^2}{2g}$$
$$h_{4a} = 2 * 340 * 0.022 * \frac{(0.421 \frac{m}{s})^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}}$$
$$h_{4a} = 0.14m$$

Válvula check:

$$h_{4b} = \frac{L_e}{D} * f_T * \frac{v^2}{2g}$$
$$h_{4b} = 150 * 0.022 * \frac{(0.421 \frac{m}{s})^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}}$$
$$h_{4b} = 0.03m$$
$$h_4 = 0.17m$$

**Pérdidas de entrada de cámara de filtros:**

$$h_5 = K * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

$h_5$ : Pérdidas a la entrada del cámara (m)

$v$ : velocidad del fluido (m/s)

$g$ : Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$K$ : Coeficiente de resistencia a la entrada del cámara

En estos casos el autor, Robert Montt, recomienda que el valor de  $K$  se considere 1, sin importar el tipo de conexión.

$$h_5 = 1 * \frac{(0.421 \frac{m}{s})^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}}$$
$$h_5 = 9.04 * 10^{-3}m$$

**Pérdidas de salida de cámara de filtros:**

$$h_6 = K * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

$h_6$ : Pérdidas a la salida del cámara (m)

$v$ : velocidad del fluido (m/s)

$g$ : Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$K$ : Coeficiente de resistencia a la salida del cámara

El valor de  $K$  se considera igual que el de la salida del cámara principal.

$$h_6 = 1 * \frac{(0.421 \frac{m}{s})^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_6 = 9.04 * 10^{-3}m$$

Finalmente se calcula  $h_L$ :

$$h_L = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6$$

$$h_L = 0.34m$$

Se maneja unas presiones de:

$$P_1 = -533.33 \frac{N}{m^2}$$

$$P_2 = 392400 \frac{N}{m^2}$$

Con el valor aproximado de la densidad vamos a calcular el peso específico:

$$\delta = 0.86 \frac{g}{cm^3} * \frac{1kg}{1000g} * (\frac{100cm}{1m})^3$$

$$\delta = 860 \frac{kg}{m^3}$$

$$\gamma = \delta * g$$

$$\gamma = 860 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$\gamma = 8436.6 \frac{N}{m^3}$$

Finalmente calculamos ( $h_A$ )

$$h_A = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + h_L$$



$$h_A = \frac{392400 \frac{N}{m^2} - (-533.33 \frac{N}{m^2})}{8436.6 \frac{N}{m^3}} + 0.5m + 0.34$$

$$h_A = 47.3m$$

Ahora calculamos la potencia de la bomba:

$$Pot = h_A * \gamma * Q$$

$$Pot = 47.3m * 8436.6 \frac{N}{m^3} * 3.33 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$Pot = 1330W$$

### **Bomba de descarga:**

Para poder dimensionar de una manera acertada la potencia de la bomba vamos a utilizar la ecuación general de energía para sistemas en serie que incluyen una bomba en donde se tomara en cuenta las presiones principales del sistema, de donde tendremos una aproximación de la potencia que trasmite el fluido.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Donde:

$P_1$ : Presión en el punto 1 ( $N/m^2$ )

$P_2$ : Presión en el punto 2 ( $N/m^2$ )

$v_1$ : Velocidad del fluido en el punto 1 ( $m/s$ )

$v_2$ : Velocidad del fluido en el punto 2 ( $m/s$ )

$Z_1$ : Altura del fluido en el punto 1( $m$ )

$Z_2$ : Altura del fluido en el punto 2( $m$ )

$h_A$ : Energía añadida por la bomba ( $m$ )

$h_L$ : Pérdidas en el proceso ( $m$ )

$g$ : Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

$\gamma$ : Peso específico ( $N/m^3$ )

Como el fluido se encuentra en estado estacionario la velocidad 1 y 2 se anulan.

$$h_A = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + h_L$$

Donde:

$P_1$ : Presión en el punto 1 ( $N/m^2$ )

$P_2$ : Presión en el punto 2 ( $N/m^2$ )

$Z_1$ : Altura del fluido en el punto 1 ( $m$ )

$Z_2$ : Altura del fluido en el punto 2 ( $m$ )

$h_A$ : Energía añadida por la bomba ( $m$ )

$h_L$ : Pérdidas en el proceso ( $m$ )

$g$ : Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

$\gamma$ : Peso específico ( $N/m^3$ )

Hallando las pérdidas que se presentan en el sistema ( $h_L$ ):

Se sabe que estas pérdidas generalmente están asociadas a la velocidad lineal del fluido, entonces:

$$Q = v * A$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

Donde:

$Q$ : Caudal ( $l/h$ )

$v$ : velocidad del fluido ( $m/s$ )

$A$ : Área de la tubería ( $m^2$ )

Para el desarrollo de esta ecuación vamos a considerar un caudal nominal de la máquina de 1200 l/h.

$$Q = 1200 \frac{l}{h} * \frac{1000 cm^3}{1l} * \frac{1h}{3600s} = 333.33 \frac{cm^3}{s}$$

$$d = 1 \frac{1}{4} in = 3.175 cm$$

Hallando la velocidad:

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

$$v = \frac{4 * 333.33 \frac{cm^3}{s}}{\pi (3.175 cm)^2}$$

$$v = 42.1 \frac{cm}{s} = 0.42 \frac{m}{s}$$

Ahora vamos a determinar si el flujo es laminar o turbulento, para ello se hará uso del número de Reynolds, donde:

$$NR = \frac{v * d}{\nu}$$

Donde:

$NR$ : Número de Reynolds

$v$ : velocidad del fluido ( $m/s$ )

$d$ : Diámetro de la tubería ( $m$ )

$\nu$ : Viscosidad cinemática ( $cm^2/s$ )

Donde  $\nu$ , es la viscosidad cinemática, en donde aproximadamente a una temperatura de 50°C es 0.08cm<sup>2</sup>/s.

$$NR = \frac{v * d}{\nu}$$

$$NR = \frac{42.1 \frac{cm}{s} * 3.175cm}{0.08 \frac{cm^2}{s}}$$

$$NR = 1670.8$$

Se cumple que el flujo es laminar ya que  $NR < 2000$ ; entonces para estos casos según Robert Mott para sistemas en serie se deben considerar las siguientes pérdidas:

- Pérdidas de salida de cámara.
- Pérdidas por codos y Tee.
- Pérdidas por fricción en tubería.
- Pérdidas por válvula.
- Pérdidas de entrada de cámara.

**Pérdidas a la salida del cámara (entrada de la tubería):**

$$h_1 = K * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

$h_1$ : Pérdidas a la salida ( $m$ )

$v$ : velocidad del fluido ( $m/s$ )

$g$ : Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

$K$ : Coeficiente de resistencia a la entrada de la tubería

Según Robert Montt,  $K$  depende de la forma en que se encuentra dispuesta la tubería dentro del cámara, en este caso el valor de  $K$  es 1 porque se trata de un conducto con proyección hacia adentro. (Robert M. sexta edición, pág. 284)

$$h_1 = 1 * \frac{(0.421 \frac{m}{s})^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_1 = 9.04 * 10^{-3} m$$

### **Pérdidas por codos y Tee:**

$$h_2 = K * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

$h_2$ : Pérdidas por codos y tees ( $m$ )

$K$ : Coeficiente de resistencia en tubos y codos

$v$ : velocidad del fluido ( $m/s$ )

$g$ : Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

$K$  está dado por la siguiente ecuación, en donde, los valores de  $\frac{L_e}{D}$  y  $f_T$  se encuentran en la tabla del **anexo 1**, tabla tomadas del libro de Robert Montt, sexta edición, pág. 297.

$$K = \frac{L_e}{D} * f_T$$

$$h_2 = \frac{L_e}{D} * f_T * \frac{v^2}{2g}$$

Según el diseño de la distribución de la tubería se cuenta con 9 codos, entonces:

$$h_{2a} = 4 * 30 * 0.022 * \frac{(0.421 \frac{m}{s})^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_{2a} = 0.056 m$$

En el tramo de la tubería se va a tener dos Tees una para el bypass y otra para retorno de aceite y regulación de presión, entonces se tiene:

$$h_{2b} = 1 * 20 * 0.022 * \frac{(0.421 \frac{m}{s})^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_{2b} = 4 * 10^{-3}m$$

$$h_{2c} = 1 * 60 * 0.022 * \frac{(0.421 \frac{m}{s})^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_{2c} = 0.012m$$

$$h_2 = 0.07m$$

### **Pérdidas por fricción en tubería:**

$$h_3 = f * \frac{L}{d} * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

$h_3$ : Pérdidas por fricción en la tubería ( $m$ )

$L$ : longitud de la tubería ( $m$ )

$d$ : diámetro de la tubería ( $m$ )

$v$ : velocidad del fluido ( $m/s$ )

$g$ : Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

$f$ : Factor de fricción

El factor de fricción cuando se tiene un flujo laminar se calcula con la siguiente ecuación:

$$f = \frac{64}{NR}$$

$$f = \frac{64}{1670.8}$$

$$f = 0.038$$

$$h_3 = 0.038 * \frac{2.5m}{0.03175m} * \frac{(0.421 \frac{m}{s})^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_3 = 0.07m$$

### Pérdidas por válvula:

$$h_4 = \frac{L_e}{D} * f_T * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

$h_4$ : Pérdidas por válvulas (m)

$v$ : velocidad del fluido (m/s)

$g$ : Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Para el caso de las válvulas  $\frac{L_e}{D}$  y  $f_T$  varían dependiendo del tipo de válvula, valores que se encuentran en la tabla del **anexo 1**, tabla tomada del libro de Robert Montt, sexta edición pág. 297.

Válvulas de globo:

$$h_{4a} = \frac{L_e}{D} * f_T * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{4a} = 2 * 340 * 0.022 * \frac{(0.421 \frac{m}{s})^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_{4a} = 0.14m$$

Válvula check:

$$h_{4b} = \frac{L_e}{D} * f_T * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{4b} = 150 * 0.022 * \frac{(0.421 \frac{m}{s})^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_{4b} = 0.03m$$

$$h_4 = 0.17m$$

### Pérdidas de entrada de cámara de filtros:

$$h_5 = K * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

$h_5$ : Pérdidas a la entrada del cámara (m)

$v$ : velocidad del fluido (m/s)

$g$ : Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$K$ : Coeficiente de resistencia a la entrada del cámara

En estos casos el autor, Robert Montt, recomienda que el valor de  $K$  se considere 1, sin importar el tipo de conexión.

$$h_5 = 1 * \frac{(0.421 \frac{m}{s})^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_5 = 9.04 * 10^{-3}m$$

**Pérdidas de salida de cámara de filtros:**

$$h_6 = K * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

$h_6$ : Pérdidas a la salida del cámara ( $m$ )

$v$ : velocidad del fluido ( $m/s$ )

$g$ : Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

$K$ : Coeficiente de resistencia a la salida del cámara

El valor de  $K$  se considera igual que el de la salida del cámara principal.

$$h_6 = 1 * \frac{(0.421 \frac{m}{s})^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_6 = 9.04 * 10^{-3}m$$

Finalmente se calcula  $h_L$ :

$$h_L = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6$$

$$h_L = 0.34m$$

Se maneja unas presiones de:

$$P_1 = -533.33 \frac{N}{m^2}$$

$$P_2 = 392400 \frac{N}{m^2}$$

Con el valor aproximado de la densidad vamos a calcular el peso específico:

$$\delta = 0.86 \frac{g}{cm^3} * \frac{1kg}{1000g} * \left(\frac{100cm}{1m}\right)^3$$

$$\delta = 860 \frac{kg}{m^3}$$

$$\gamma = \delta * g$$

$$\gamma = 860 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$\gamma = 8436.6 \frac{N}{m^3}$$

Finalmente calculamos ( $h_A$ )

$$h_A = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + h_L$$

$$h_A = \frac{392400 \frac{N}{m^2} - (-533.33 \frac{N}{m^2})}{8436.6 \frac{N}{m^3}} + 0.5m + 0.34$$

$$h_A = 47.3m$$

Ahora calculamos la potencia de la bomba:

$$Pot = h_A * \gamma * Q$$

$$Pot = 47.3m * 8436.6 \frac{N}{m^3} * 3.33 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$Pot = 1150W$$



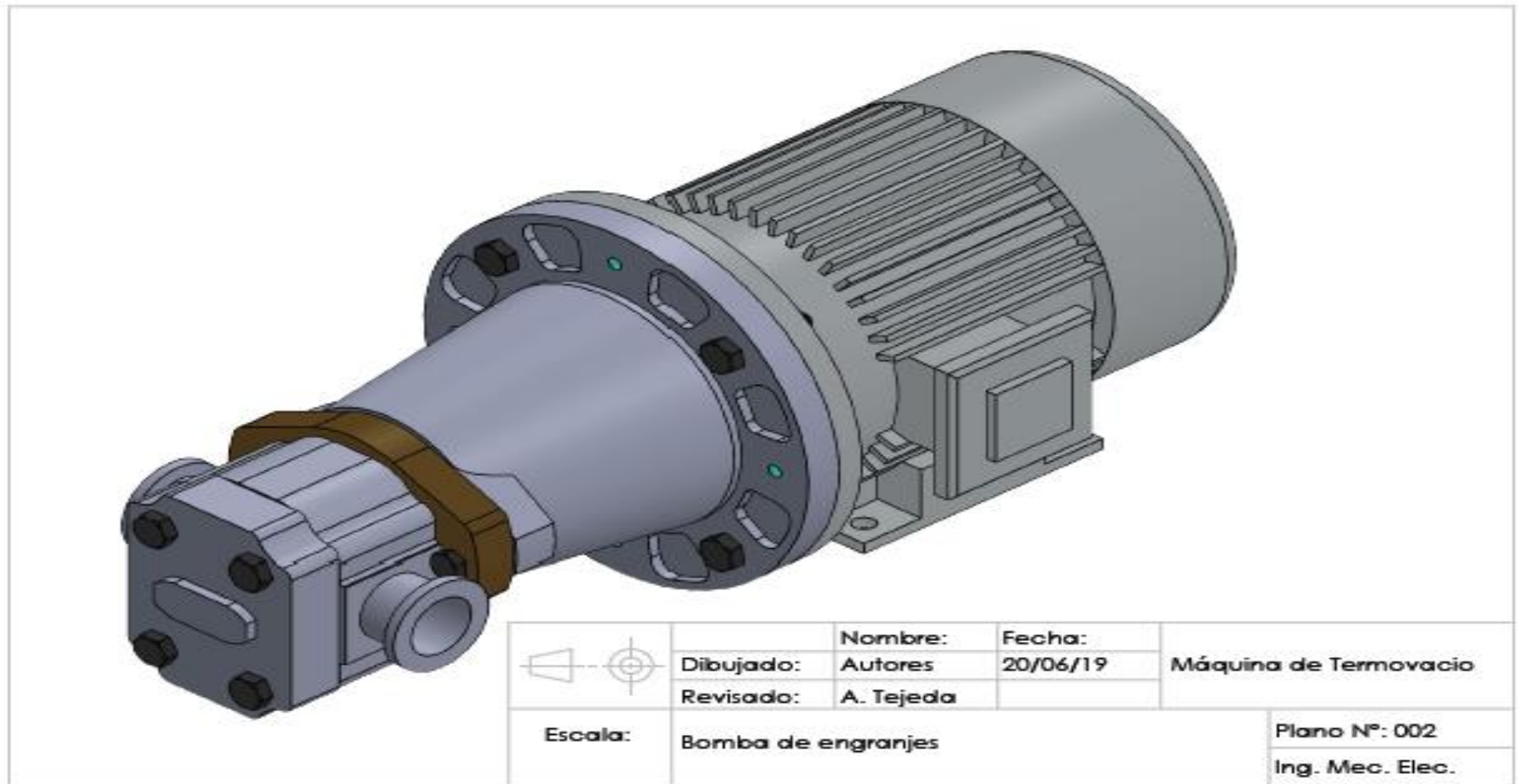
## Bombas de carga y descarga:

**Tabla 19:** Bombas de carga y descarga.

Componente	Descripción	Valores
	Se eligió la bomba de engranes externos <b>Serie A</b> , ya que sus características y dimensiones se ajustan al diseño propuesto ya que este tipo de bombas están diseñadas para trabajar a velocidades altas y manejan productos viscosos para el manejo de tintas, aceites, resinas y gasolinas entre otros.	Caudal: 800 – 2500 l/h Potencia: 2 Hp Revoluciones: 1800 rpm Conexiones: 1 ¼ NPT

*Fuente: BocoFlusa (Roper pumps)*

**Figura 56:** Representación CAD de la bomba de engranajes.



*Fuente: Autores.*

## Calentador

Para el diseño del calentador se tomó como referencia el calentador de paso o bidón, según la máquina de termovació ABB, para cual van los cálculos como sigue a continuación.

Datos obtenidos:

$P$ : Potencia del calentador

$m$ : 640kg

$C_p$ :  $1800 \frac{J}{kg \cdot K}$

$T_i$ : 273.15 K

$T_f$ : 333.15 K

$\Delta t$ : 3600s

$$P = \frac{m * C_p * (T_f - T_i)}{\Delta t}$$

Donde:

$P$ : Potencia del calentador (w)

$m$ : Masa del aceite (kg)

$C_p$ : Calor específico del aceite ( $J/kg * K$ )

$T_i$ : Temperatura inicial (K)

$T_f$ : Temperatura final (K)


$\Delta t$ : Variación del tiempo (s)

$$P = \frac{640kg * 1800 \frac{J}{kg * K} * (333.15 - 300.15)K}{3600s}$$

$$P = 11200w$$

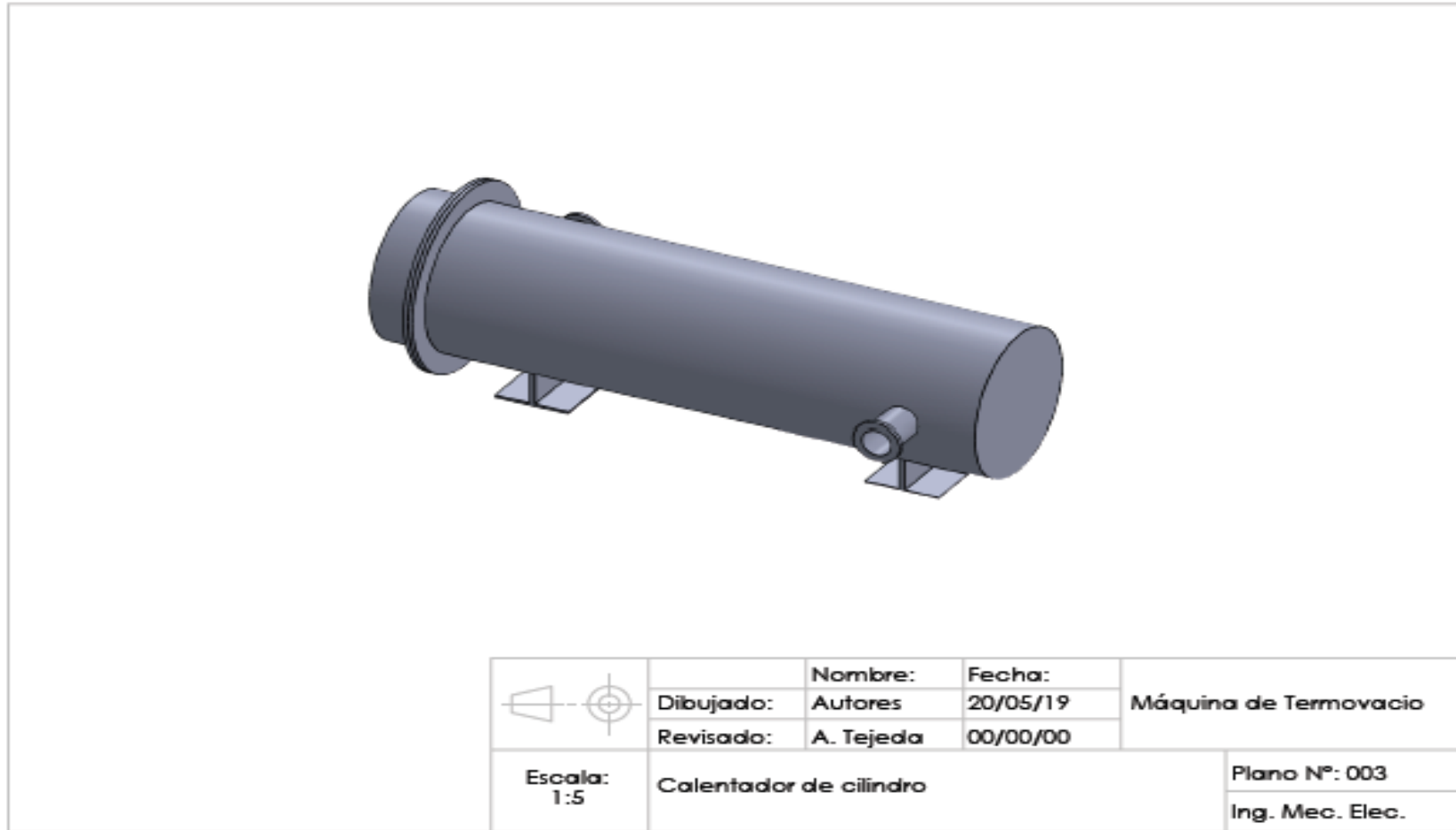
## Calentador de cilindro o de paso:

**Tabla 20:** Calentador de paso o cilindro

Componentes	Descripción	Valores
	<p>Se eligió el calentador de resistencias de la marca Tope ya que se encargan de fabricar a medida grupos calentadores de grandes potencias con bridas DIN o ANSI. La longitud útil de las resistencias varía según la potencia y los requerimientos técnicos.</p> <p>Otra de las ventajas es que su departamento técnico proporciona asesoramiento sobre la aplicación que más se ajuste a nuestras necesidades.</p> <p>Aplicaciones: Para circuitos de agua sobrecalentada, calefacción central, aceites, fuel-oil, etc..</p>	<p>Potencia: 12 kW</p> <p>Longitud: 600 mm</p> <p>Diámetro: 180 mm</p> <p>Altura: 210 mm</p>

*Fuente: Resistencias TOPE*

*Figura 67: Representación CAD del calentador*



*Fuente: Autores.*

*Figura 78: Detalle interior del calentador.*



*Fuente: Autores.*

### **Cámara de vacío**

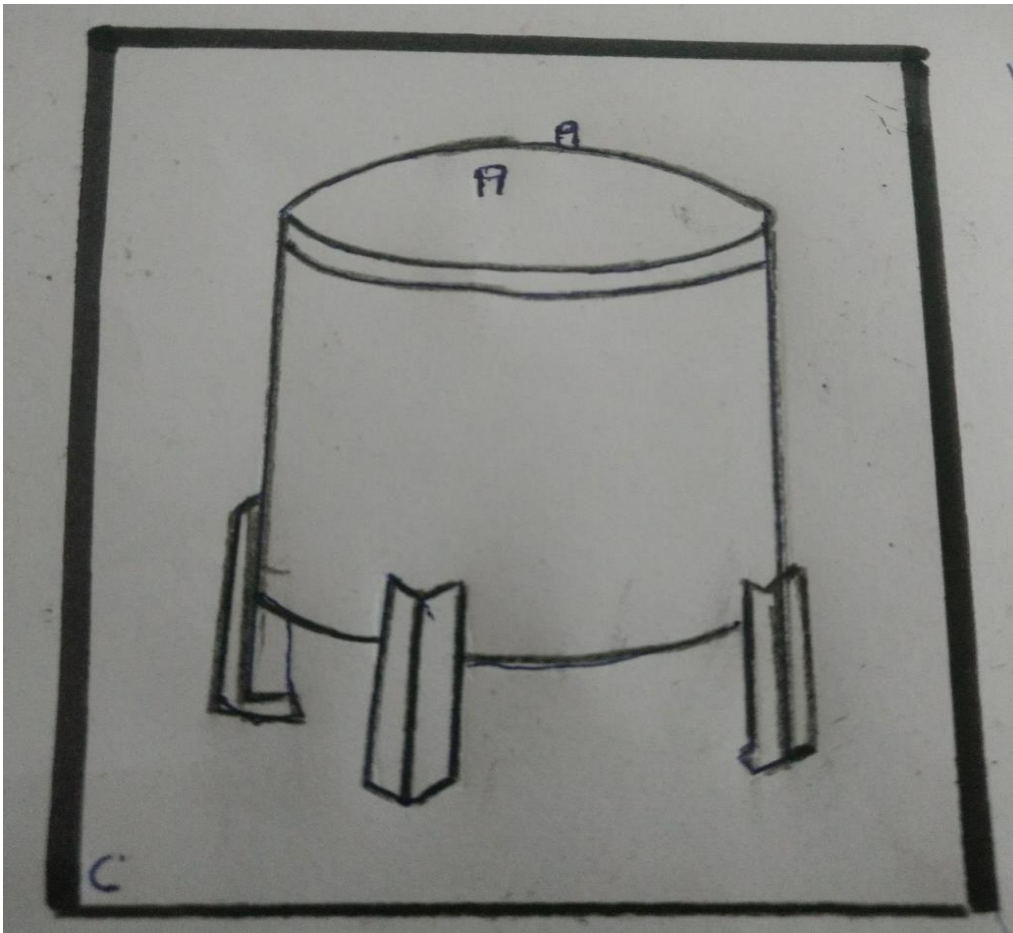
Vamos a diseñar el cámara de vacío según la norma ASME VIII, Div. I; En el cámara de vacío se va a realizar la desgasificación del aceite y la extracción del agua en donde se va a tener una presión constante.

La presión de vacío de trabajo será de 3 bar y la de diseño será 10 bar.

Se considera usar el acero AISI 1010, ya que presta las características necesarias y es un material muy usado en el diseño de recipientes a presión, ya que posee las propiedades mecánicas adecuadas una gran resistencia a la corrosión.

La cámara de se ha bosquejado de forma cilíndrica con una altura de 1.5 metros y se ha considerado un diámetro de 60 centímetros.

**Figura 89:** Bosquejo del cámara de vacío.



*Fuente: Autores.*

## Diseño de las tapas del cámara

Para el cálculo se hizo uso del código ASME sección VIII que se encarga del diseño de recipientes a presión, donde se empieza calculando la tapa de forma toriesférica; donde el cálculo de la tapa para presiones de vacío o exteriores es la misma que se utiliza para presiones interiores, la diferencia existente es que la presión tomada será 1,67 veces la presión de vacío.

$$t = \frac{PR}{SE + 0.8P} + C_1 + C_2$$

Donde:

$t$ : Espesor de la tapa (*pulg*)

$P$ : Presión de diseño (*psi*)

$R$ : Radio de la tapa (*pulg*)

$S$ : Tensión máxima admisible (*psi*)

$E$ : Factor de soldadura

$C_1$ : Sobreepesor de corrosión 1mm

$C_2$ : Tolerancia de fabricación 1mm

Según la norma ASME “S” se considera en un rango de 18800 a 20000, y “E” tomar 1.

$$t = \frac{43.51 * 11.81}{20000 * 1 + 0.8P}$$

$$t = 0.025\text{pulg}$$

$$t = 0.635\text{mm}$$

$$t = 2.635\text{mm}$$

Según el cálculo tenemos un espesor de 2.635mm, pero como un factor de seguridad vamos tomar una plancha de 5mm.

Según los cálculos anteriores y teniendo definido la altura del cámara y su diámetro se considera la misma plancha que para las tapas.

Se diseño la cámara de vacío dispuesta sobre cuatro soportes para una mejor estabilidad. Los soportes de la cámara de vacío son de ángulos de 3x3x3/8 de pulgada y placas de 1/2 pulgada, esto permitirá sostener y fijar la cámara de vacío.



### Calculo mecánico de la de vacío.

La construcción del cámara se realizó con acero AISI 1010 (lámina), las propiedades básicas de este material se encuentran en la siguiente tabla:

**Tabla 21:** Propiedades básicas del acero AISI 1010.

<b>Propiedades eléctricas</b>		
Resistividad eléctrica	70 – 72	[ $\mu\text{Ohmcm}$ ]
<b>Propiedades físicas</b>		
Densidad	$(7.7 - 8.03) * 10^3$	[ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
Temperatura de fusión	2600	[°F]
<b>Propiedades mecánicas</b>		
Módulo de elasticidad	$(190 - 210) * 10^6$	[ $\text{N}/\text{m}^2$ ]
Razón de Poisson	0.2 – 0.3	
Esfuerzo de tracción	$365 * 10^3$	[ $\text{N}/\text{m}^2$ ]
Esfuerzo fluencia	$365 * 10^3$	[ $\text{N}/\text{m}^2$ ]
Alargamiento	20	[%]
Dureza Brinell	105	[ $\text{HB}$ ]
<b>Propiedades térmicas</b>		
Coefficiente de expansión térmica	15	[ $\text{cm}/\text{cm} * ^\circ\text{C}$ ]
Conductividad térmica	65.2	[ $\text{w}/\text{m} * \text{K}$ ]
Calor específico	450	[ $\text{J}/\text{kg} * \text{K}$ ]

*Fuente: Aceros Boehler.*

### Determinación del tipo de cilindro

Para poder determinar o verificar si el espesor de un cilindro es el óptimo se relaciona el espesor (t) del cilindro con el diámetro (d) del mismo. Es así que tenemos:

- Cilindros de pared delgada

$$\frac{t}{d} < \frac{1}{20}$$

- Cilindros de pared gruesa

$$\frac{t}{d} > \frac{1}{20}$$

Entonces:

$$\frac{5}{600} < \frac{1}{20}$$

$$0.008 (<) 0.05$$

Por lo tanto, se considera como un cilindro de pared delgada para el diseño.

Cuando los cilindros de pared delgada, como los cámaras al vacío, están sujetos a presión externa, el aplastamiento es el modo de falla y, por lo tanto:

- El material obedece a la ley de Hooke.
- El esfuerzo radial es cero.

### **Esfuerzos.**

Los esfuerzos presentes en el caso de cilindros de pared delgada son:

- Esfuerzo tangencial

$$\sigma_t = \frac{P * r}{t}$$

Donde:

$\sigma_t$ : Esfuerzo tangencial ( $N/mm^2$ )

$P$ : Presión en el cilindro ( $N/mm^2$ )

$r$ : radio interno del cilindro ( $mm$ )

$t$ : espesor de la pared ( $mm$ )

- Esfuerzo radial.

$$\sigma_r = \frac{P * r}{2t}$$

Donde:

$\sigma_r$ : Esfuerzo tangencial ( $N/mm^2$ )

$P$ : Presión en el cilindro ( $N/mm^2$ )

$r$ : radio interno del cilindro ( $mm$ )

$t$ : espesor de la pared ( $mm$ )

La presión atmosférica que tenemos es de:

$$P_{atm} = 102910 \text{ Pa}$$

$$P_{atm} = 0.102910 \text{ N/mm}^2$$

La presión manométrica es de:

$$P_{man} = -20 \text{ inHg}$$

$$P_{man} = 67727.76 \text{ Pa}$$

$$P_{man} = 0,06772 \text{ N/mm}^2$$

De las presiones anteriores se obtiene la presión total:

$$P_T = P_{atm} + P_{man}$$

$$P_T = 0.102910 + 0,06772$$

$$P_T = 0,17063 \text{ N/mm}^2$$

Por lo tanto:

$$\sigma_t = \frac{0,17063 * 300}{5}$$

$$\sigma_t = 10.24 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_r = \frac{0,17063 * 300}{2 * 5}$$

$$\sigma_r = 5.12 \text{ N/mm}^2$$

### **Deformaciones.**

- **Deformaciones unitarias**

Puesto que el esfuerzo radial en los cilindros de pared delgada es cero, por lo tanto, la deformación radial también es cero y se tienen únicamente deformaciones unitarias tangenciales y longitudinales, vienen dadas por las siguientes expresiones respectivamente:

$$\varepsilon_t = \frac{\sigma_t}{\epsilon} - \mu * \frac{\sigma_r}{\epsilon}$$

$$\varepsilon_l = \frac{\sigma_t}{\epsilon} - \mu * \frac{\sigma_r}{\epsilon}$$

Donde:

$\varepsilon_t$ : Deformación unitaria tangencial

$\varepsilon_l$ : Deformación unitaria longitudinal

$\epsilon$ : Módulo de elasticidad del material

$\mu$ : Coeficiente de Poisson

Tomando datos de la tabla tenemos:

$$\epsilon = 190000 \frac{N}{mm^2}$$

$$\mu = 0.3$$

Por lo tanto:

$$\epsilon_t = \frac{10.24}{190000} - 0.3 * \frac{5.12}{190000}$$

$$\epsilon_t = 4.58 * 10^{-5}$$

$$\epsilon_t = \frac{5.12}{190000} - 0.3 * \frac{10.24}{190000}$$

$$\epsilon_t = 1.08 * 10^{-5}$$

- **Deformaciones totales**

Las deformaciones totales tangenciales y longitudinales vienen dadas por las siguientes expresiones respectivamente.

$$\delta_t = \epsilon_t * l$$

$$\delta_l = \epsilon_l * l$$

Donde:

$\delta_t$ : Deformación total tangencial

$\delta_l$ : Deformación total longitudinal

$l$ : Longitud del cilindro ( $mm$ )

Por lo tanto:

$$\delta_t = 4.58 * 10^{-5} * 1000$$

$$\delta_t = 4.58 * 10^{-2} mm$$

$$\delta_l = 1.08 * 10^{-5} * 1000$$

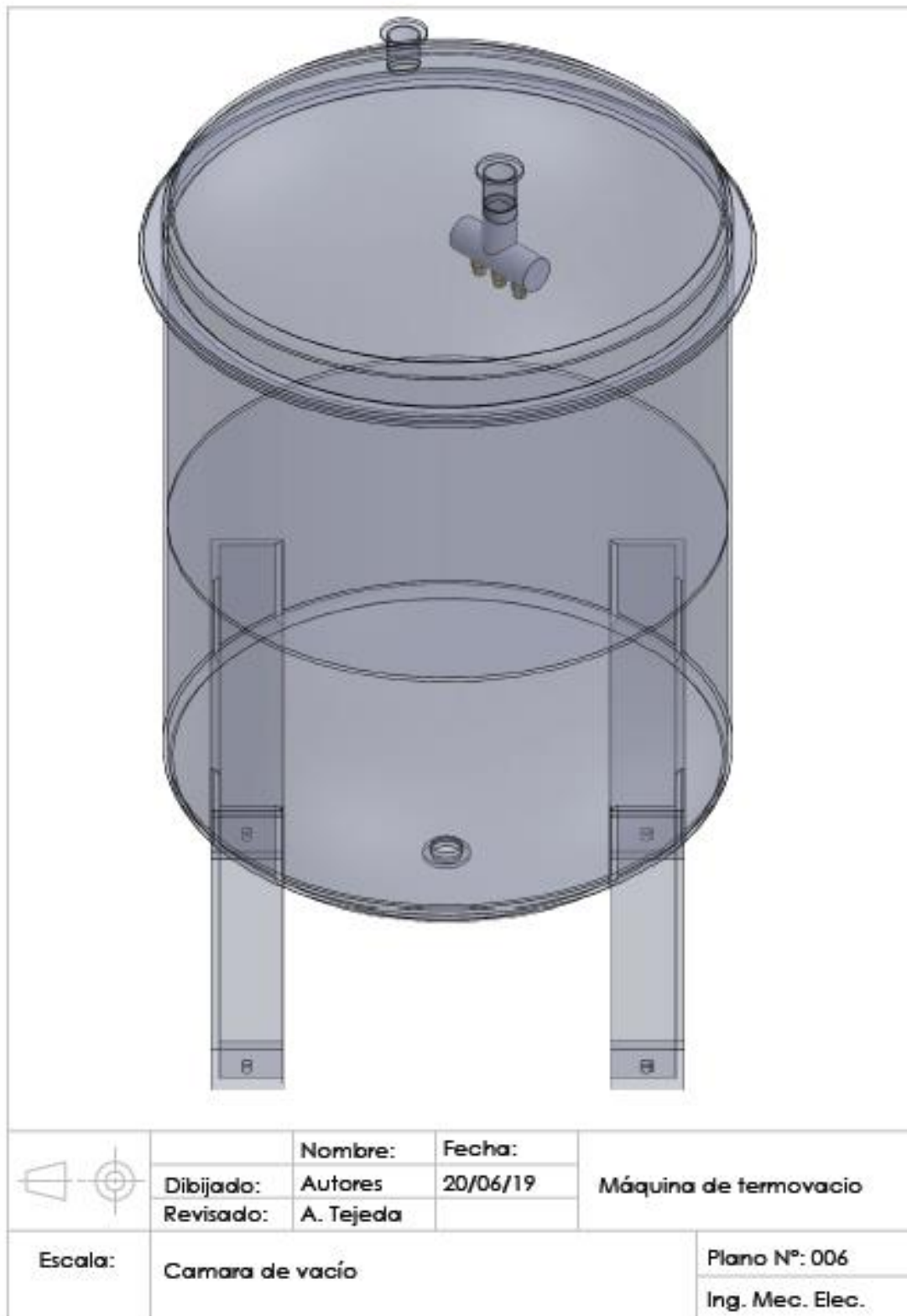
$$\delta_l = 1.08 * 10^{-2} mm$$

**Figura 20:** Representación CAD del cámara de vacío.



*Fuente: Autores.*

**Figura 21:** Detalle interior del cámara de vacío.



*Fuente: Autores.*

### Bomba de vacío

Se determino la capacidad de la bomba de vacío que será usada máquina de termovacío, para lo cual se tuvo en cuenta información siguiente:

- $V = 5654,867\text{cm}^3$
- N° de válvulas: 2
- $P_{min} = 3 \text{ bar}$
- $P_{max} = 10 \text{ bar}$

Para este cálculo es necesario que  $P_{min}$  y  $P_{max}$  sean convertidos a columna de mercurio por pulgada. (*pulgHg*) (ver Anexo 6.)

$$P_{min} = (-29.93 + 88,59)\text{pulgHg} * \left(\frac{760 \text{ Torr}}{29,93 \text{ pulgHg}}\right)$$

$$P_2 = 1489,52 \text{ pulgHg}$$

$$P_{max} = (-29.93 + 295,3)\text{pulgHg} * \left(\frac{760 \text{ Torr}}{29,93 \text{ pulgHg}}\right)$$

$$P_1 = 6738,43 \text{ pulgHg}$$

Se asumió una presión constante cada 0,0334 min, de esta manera se pudo calcular la capacidad de la bomba, valiéndonos de la ecuación siguiente:

$$Cap. bomba = \frac{V}{T} * \ln\left(\frac{P_{max}}{P_{min}}\right)$$

Donde:

*Cap. bomba*: Capacidad de la bomba (*CFM*)

*V*= Volumen de desplazamiento (*pies*<sup>3</sup>)

*P<sub>max</sub>*= Presión máxima de vacío (*pulg. Hg*)

*P<sub>min</sub>*= Presión mínima de vacío (*pulg. Hg*)

*T* = Tiempo de vacío constante (*min*)

$$Cap bomba = \frac{0,199}{0,0334} * \ln\left(\frac{6738,43}{1489,52}\right)$$

$$Cap bomba = 9,024 \text{ CFM}$$


Como tenemos dos válvulas conectadas a la cámara, se tiene:

$$Cap bomba = 18,049 \text{ CFM}$$

$$Cap bomba = 30 \text{ m}^3/\text{h}$$

## Bomba de vacío.

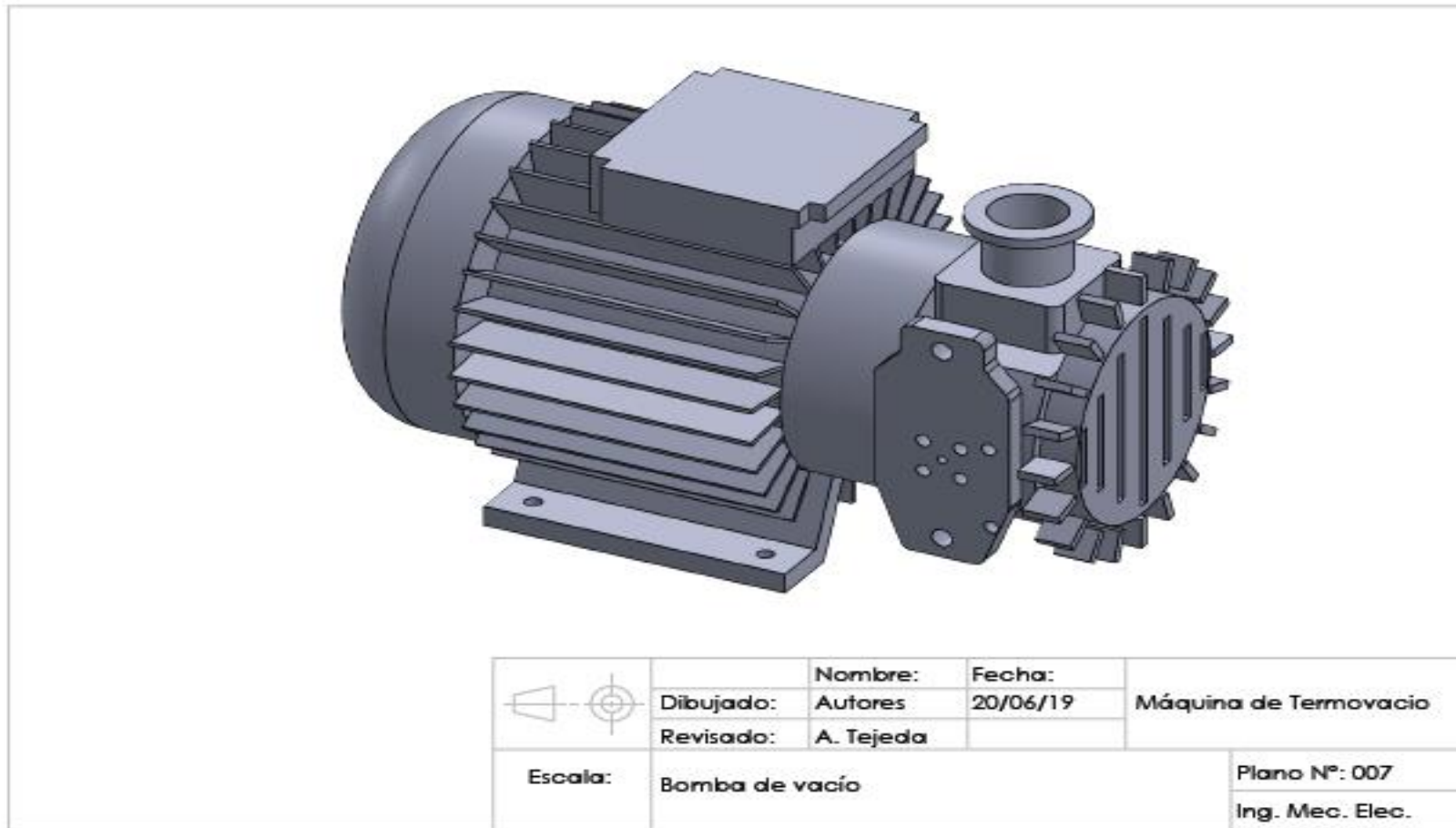
**Tabla 22:** Bomba de vacío DuoSeal.

Componente	Descripción	Valores
	En este proyecto se va a utilizar una bomba DuoSeal 1397 de la marca WELCH.	
	Velocidad de giro	500 rpm
	Caudal desplazamiento	30 m <sup>3</sup> /h
	Potencia del motor	1.5 hp
	Presión máxima	10 bar

*Fuente: VWR part of avantor.*



**Figura 22:** Representación CAD de la bomba de vacío.

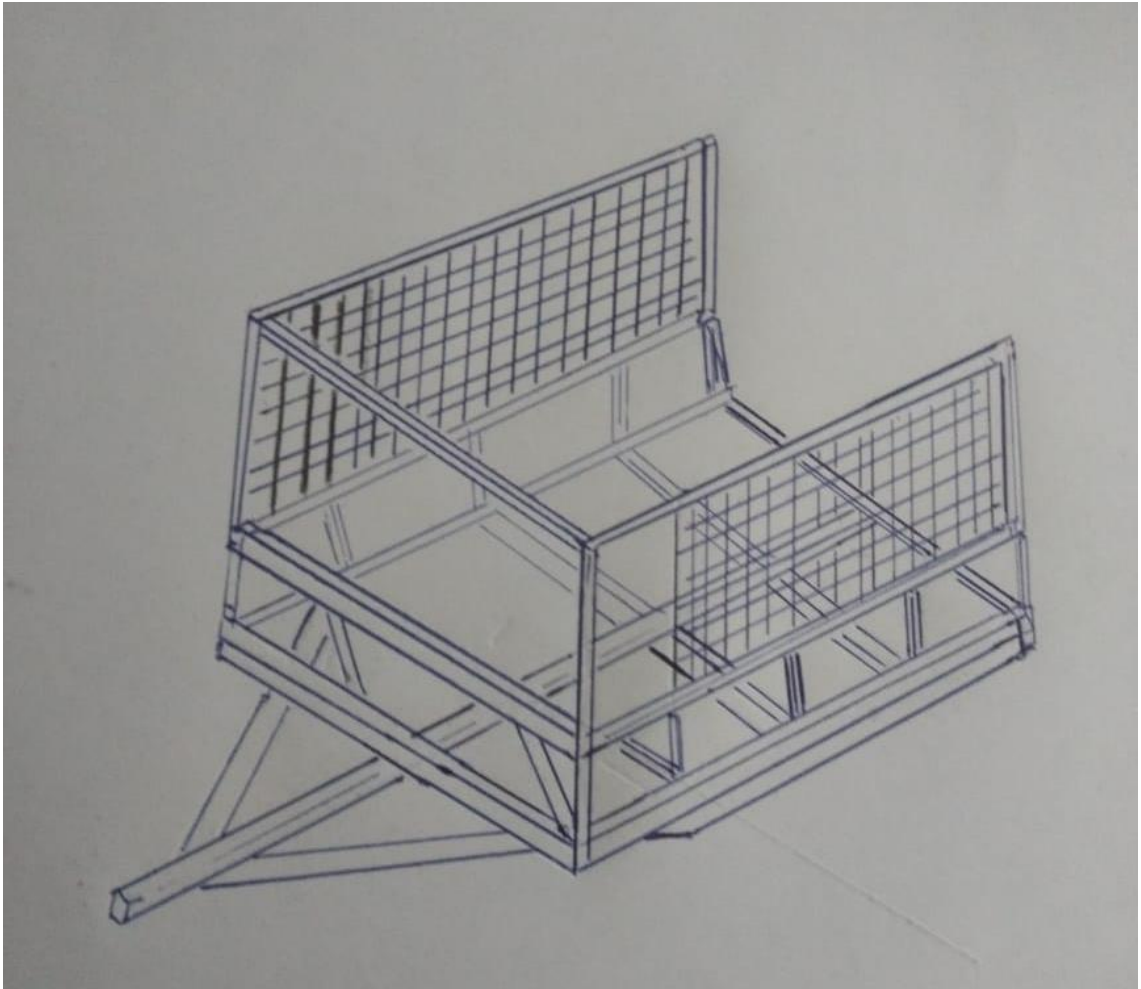


*Fuente: Autores.*

**Remolque:**

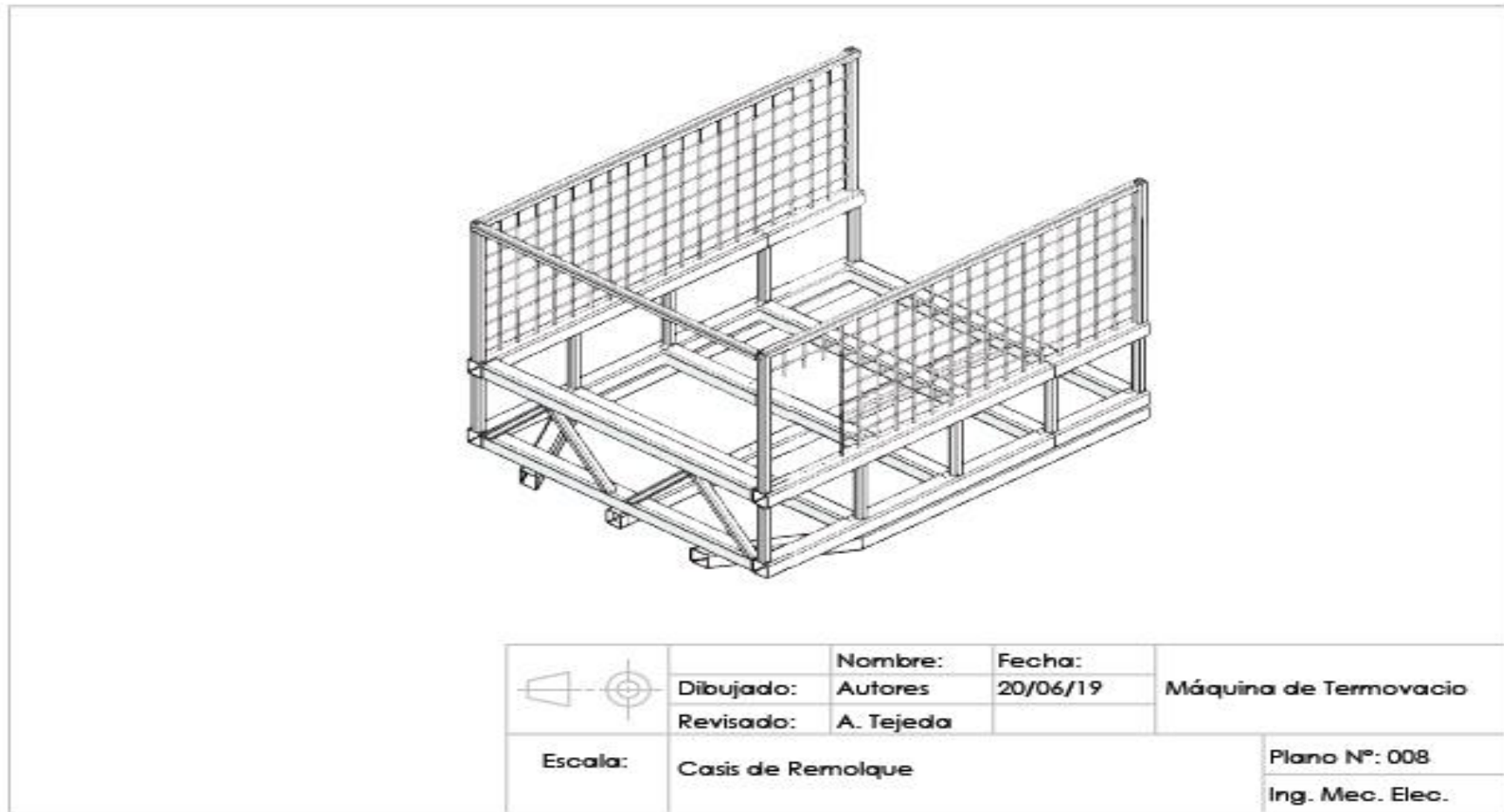
Con el fin de que se fácil de transportar la maquina será montada un chasis remolque el cual podrá ser enganchado sin ningún tipo de problemas en cualquier vehículo.

**Figura 93:** Bosquejo del chasis.



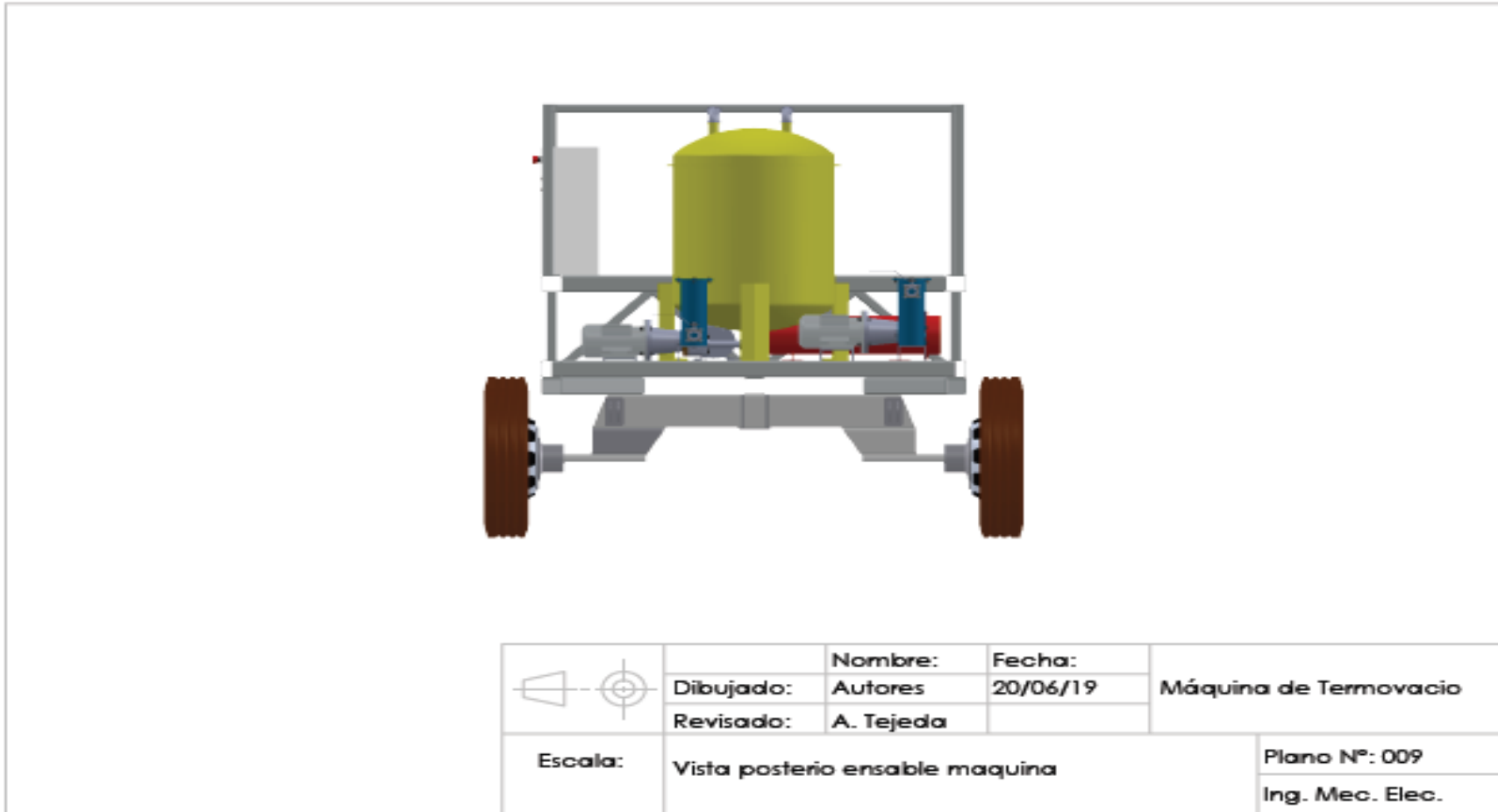
*Fuente: Autores.*

**Figura 104:** Diseño CAD del remolque.



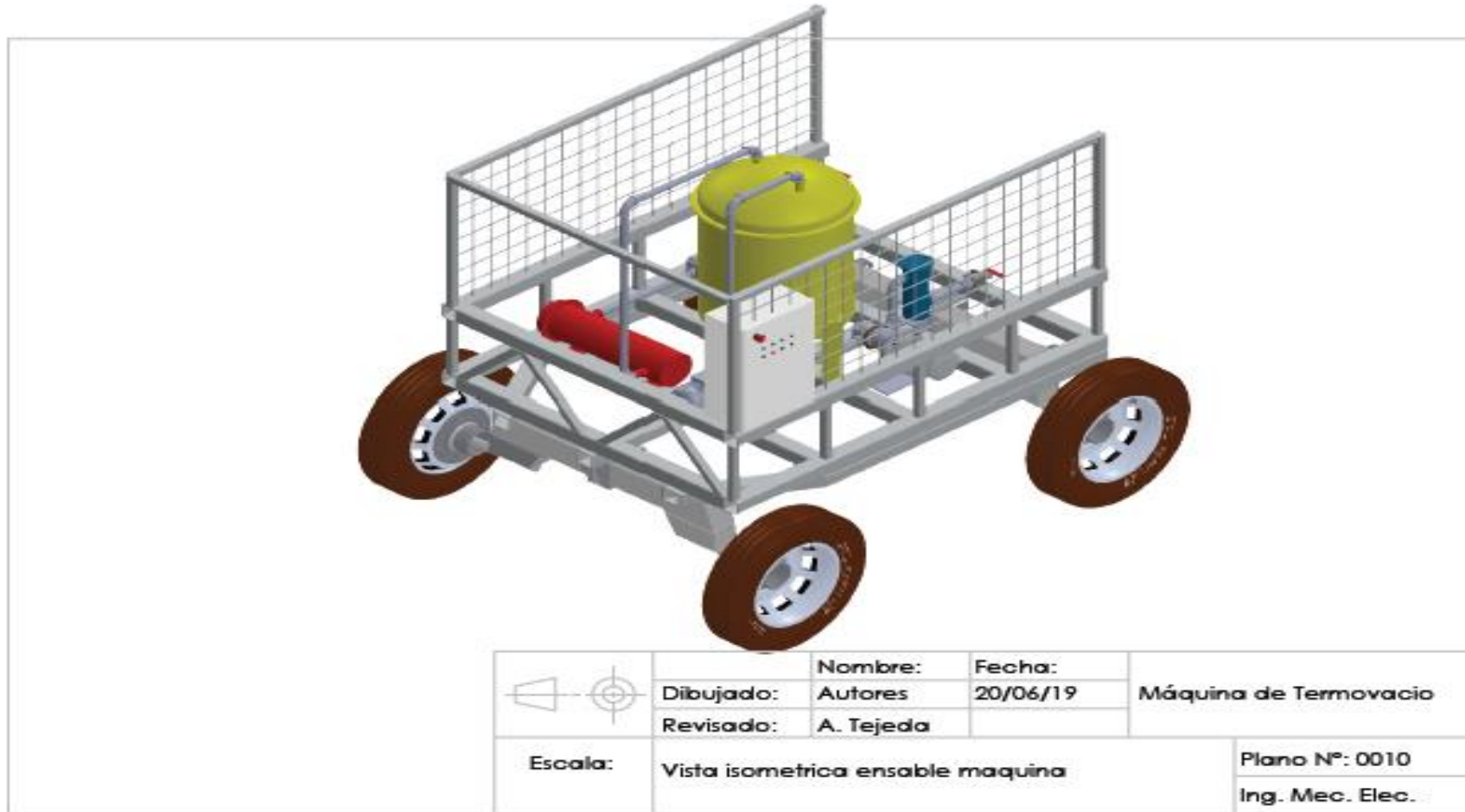
*Fuente: Autores.*

**Figura 115:** Vista posterior de la máquina de termovacío.



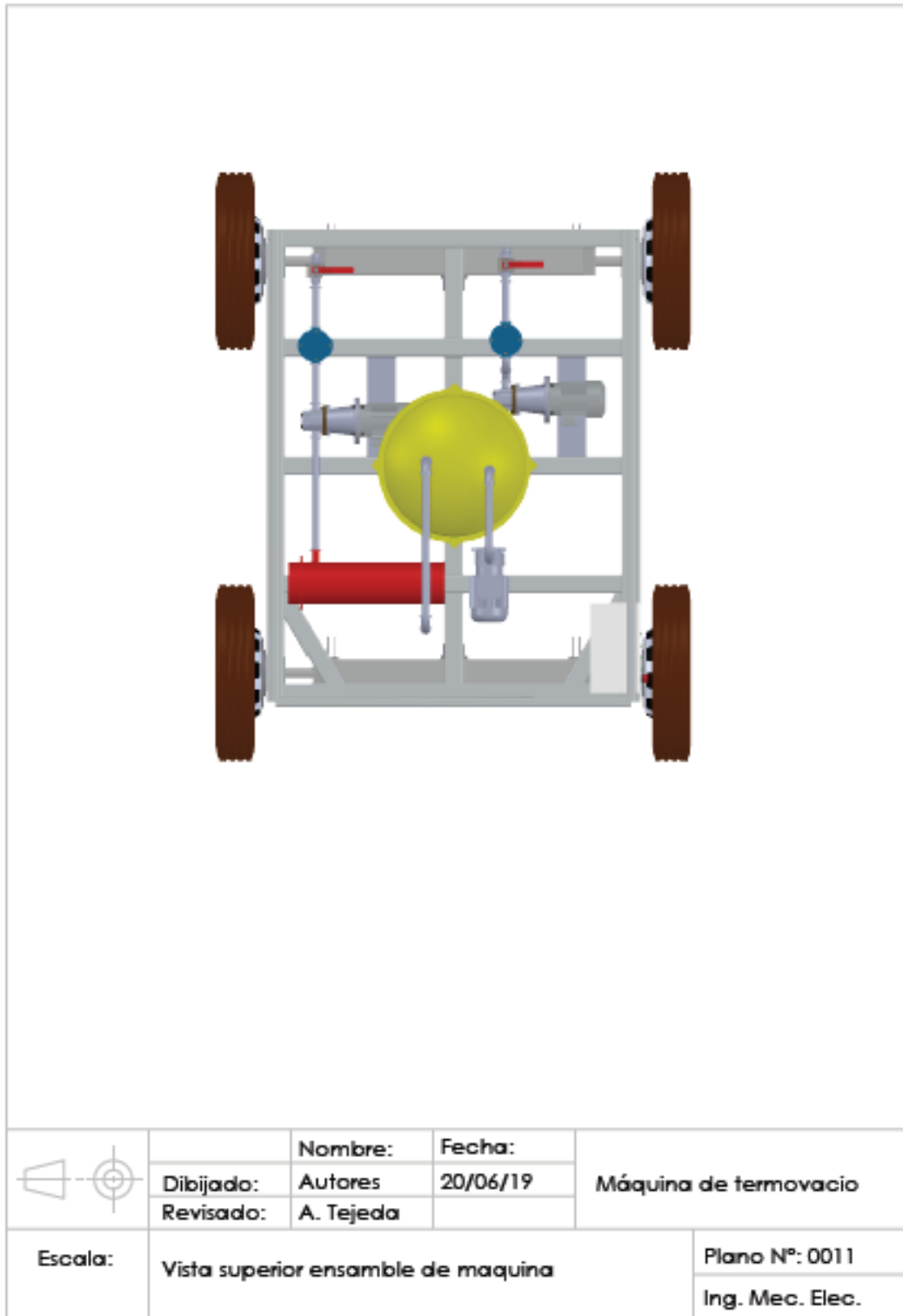
*Fuente: Autores*

**Figura 126:** Vista isométrica de la máquina de termo vacío.



*Fuente: Autores.*

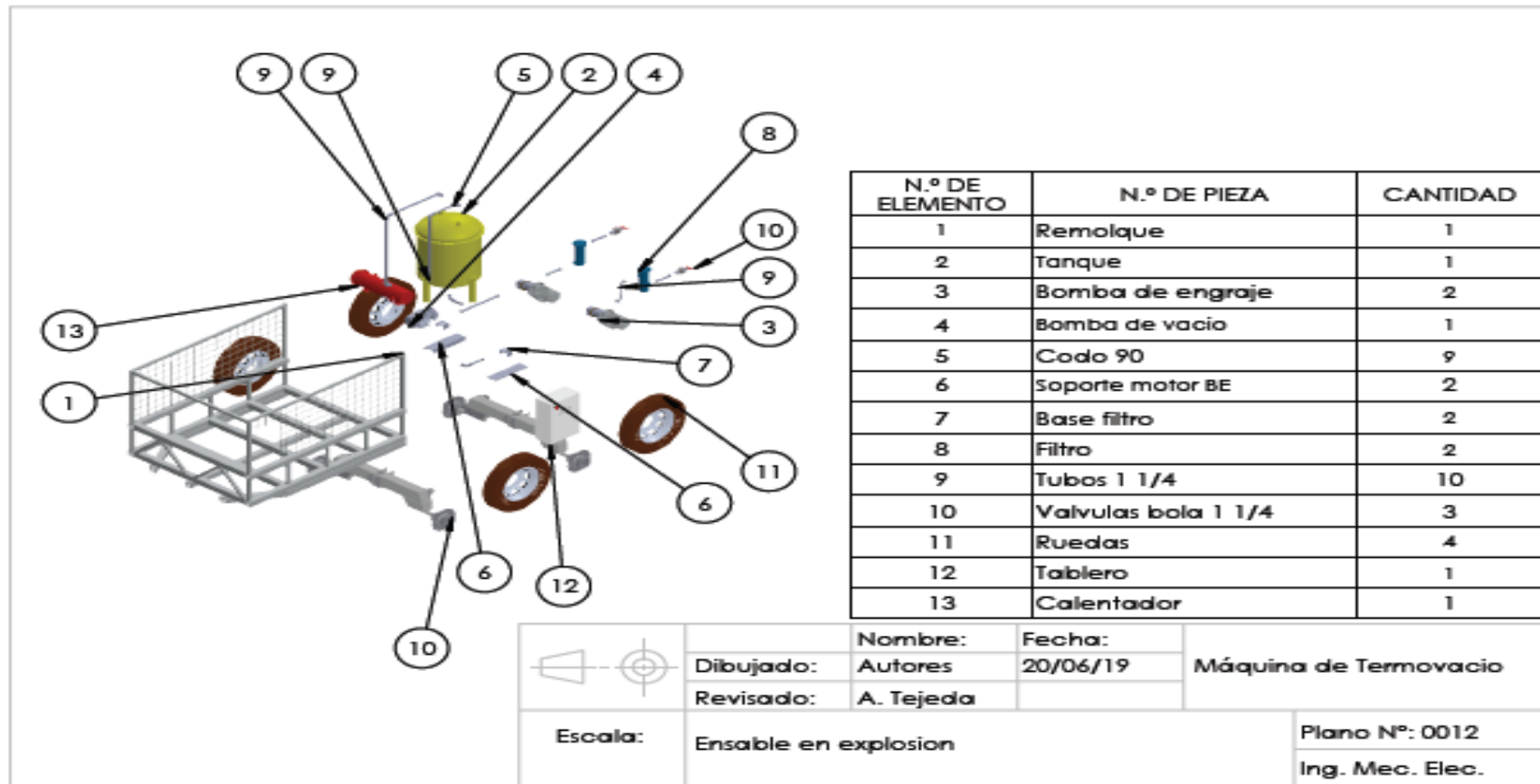
**Figura 27:** Vista superior de la máquina de termovacío.



Fuente: Autores.

**Vista explosionada de la máquina.**

**Figura 138:** Vista explosionada de la máquina.



*Fuente: Autores.*

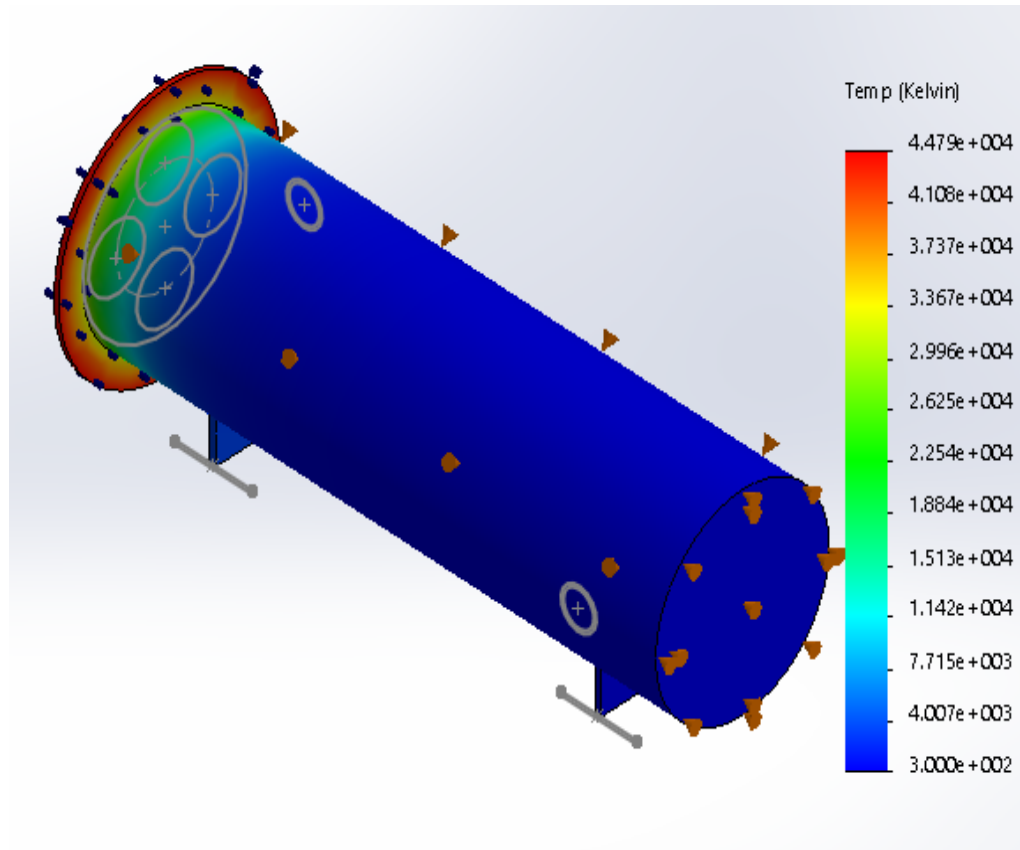
### Simulación del equipo de termovacío.

Se hizo una simulación en cada uno de los componentes de la máquina, lo cual no va a permitir verificar el real funcionamiento de cada uno de los elementos que va a componer la máquina de termovacío.

#### Calentador:

#### Simulación térmica

**Figura 149:** Simulación térmica del calentador.

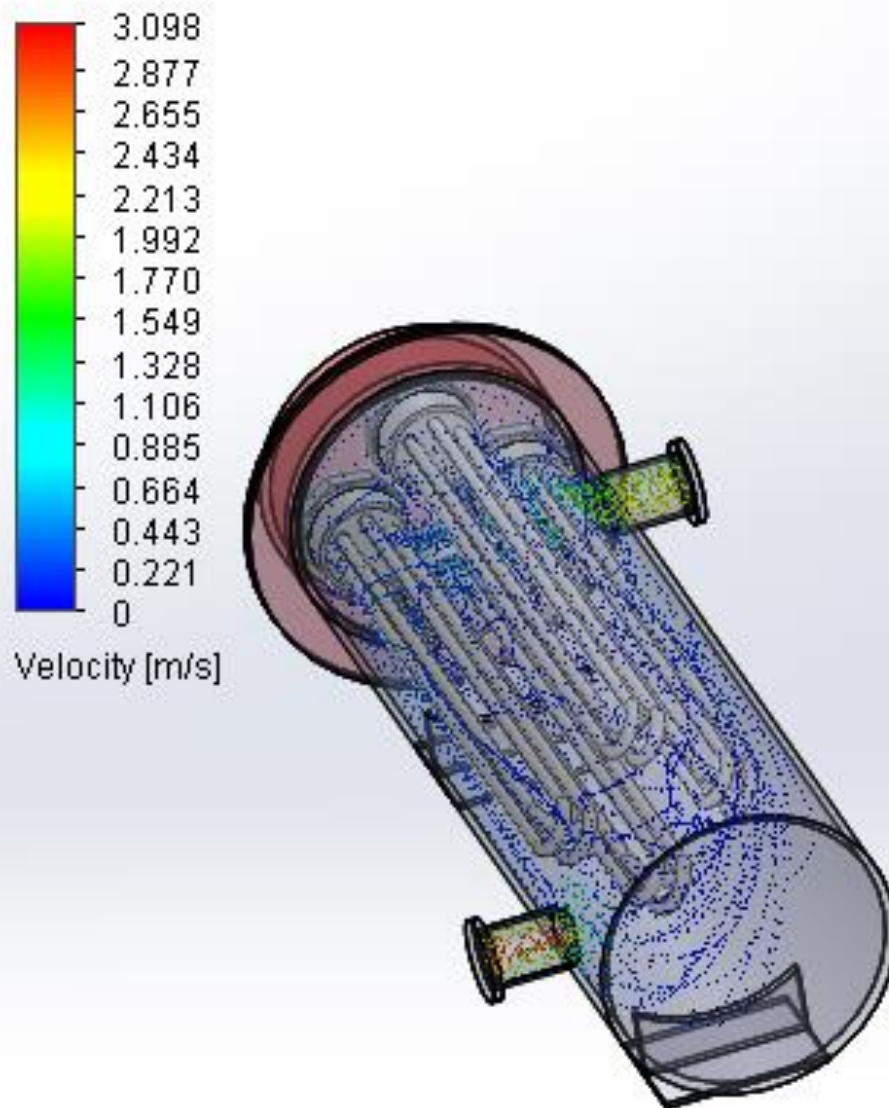


*Fuente: SolidWorks.*



## Simulación de fluidos

**Figura 30:** Simulación del fluido en el calentador.



*Fuente: SolidWorks.*

## Resultados obtenidos de SolidWorks.

### Informe de SOLIDWORKS FloXpress

#### Modelo

Nombre del modelo: Calentador.SLDASM

#### Fluido

Oil

#### Presión del ambiente 1

Tipo	Presión del ambiente
Faces	Cara<3>@cuerpo-1
Valor	Presión de entrada: 10000.00 Pa Temperatura: 300.15 K

#### Presión del ambiente 1

Tipo	Presión del ambiente
Faces	Cara<4>@cuerpo-1
Valor	Presión de salida: 3000.00 Pa Temperatura: 333.15 K

#### Resultados

Nombre	Unit	Valor
Velocidad máxima	m/s	3.049

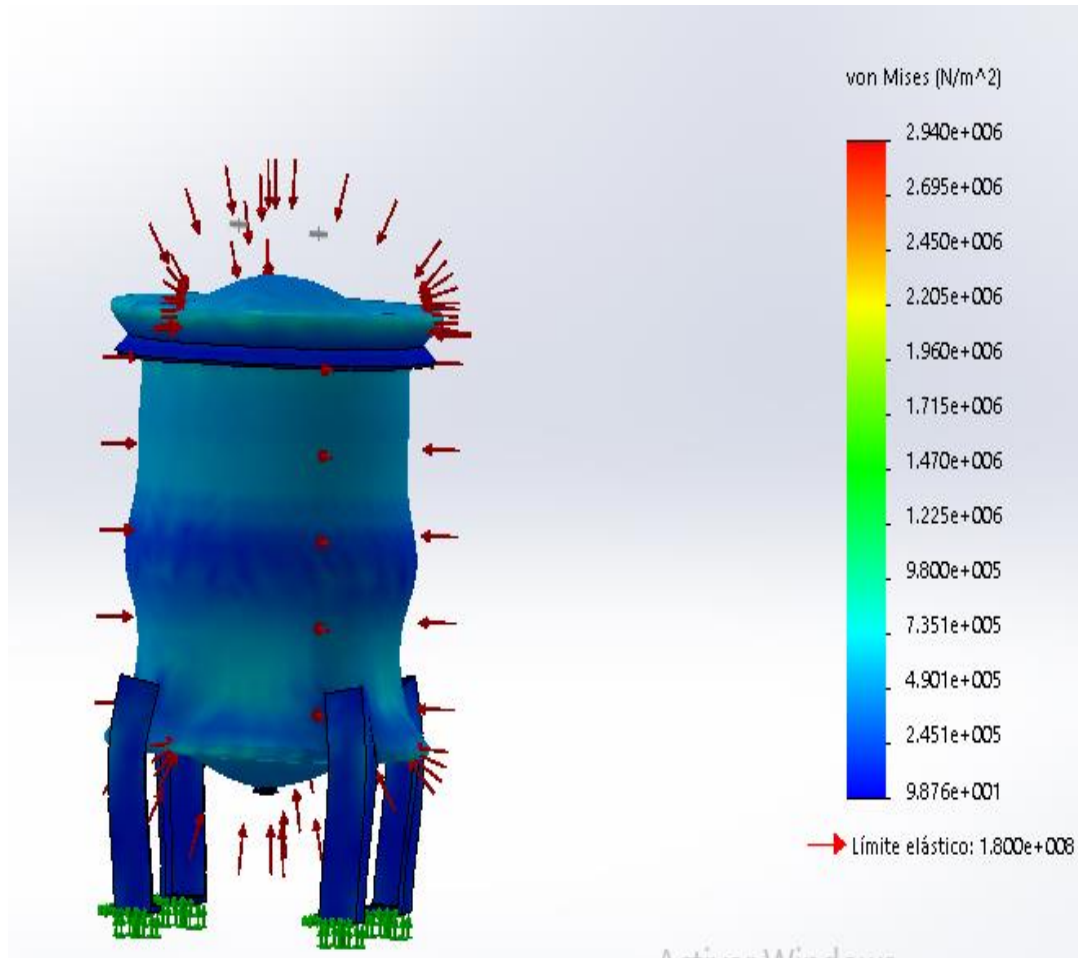
## Cámara de vacío:

### Simulación de esfuerzos

Se realizó una simulación estática de esfuerzos en donde se puede observar las deformaciones que se presentan al aplicarse la presión de succión realizada por la bomba de vacío que una presión de 10 bar. Teniendo los siguientes resultados:

### Esfuerzos (vonMises)

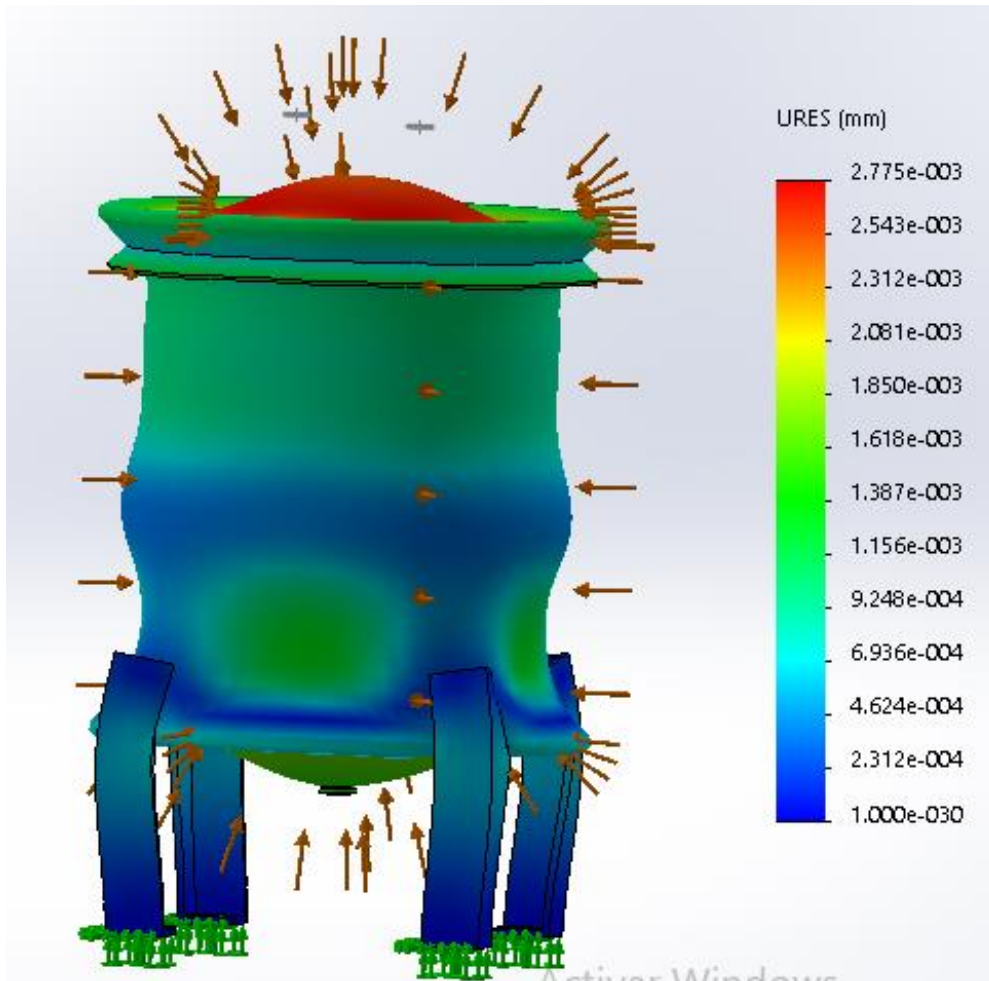
**Figura 31:** Simulación de esfuerzos del cámara de vacío.



*Fuente: SolidWorks.*

## Desplazamiento

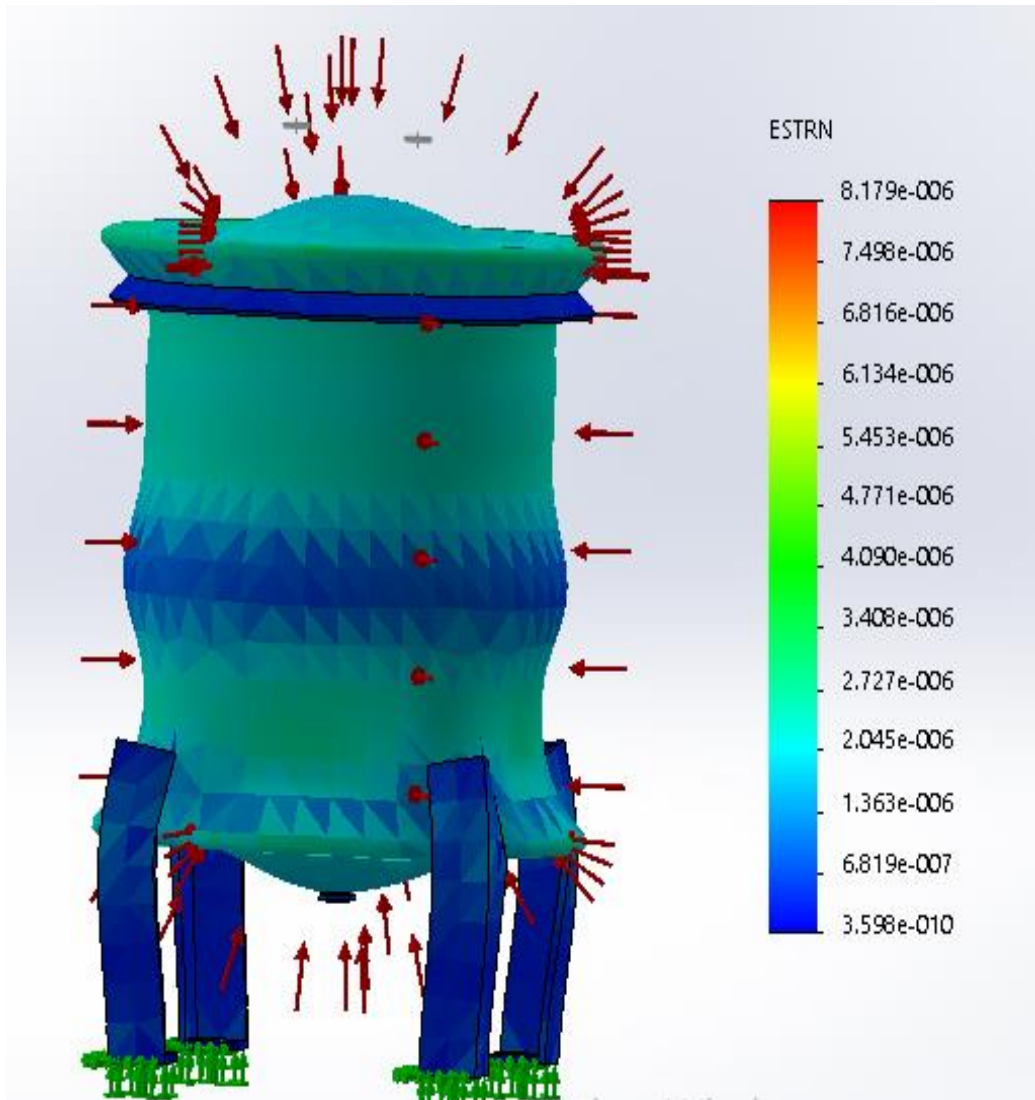
**Figura 32:** Simulación de desplazamiento el cámara de vacío.



*Fuente: SolidWorks.*

### Deformaciones unitarias.

**Figura 33:** Simulación de deformaciones unitarias del cámara de vacío.

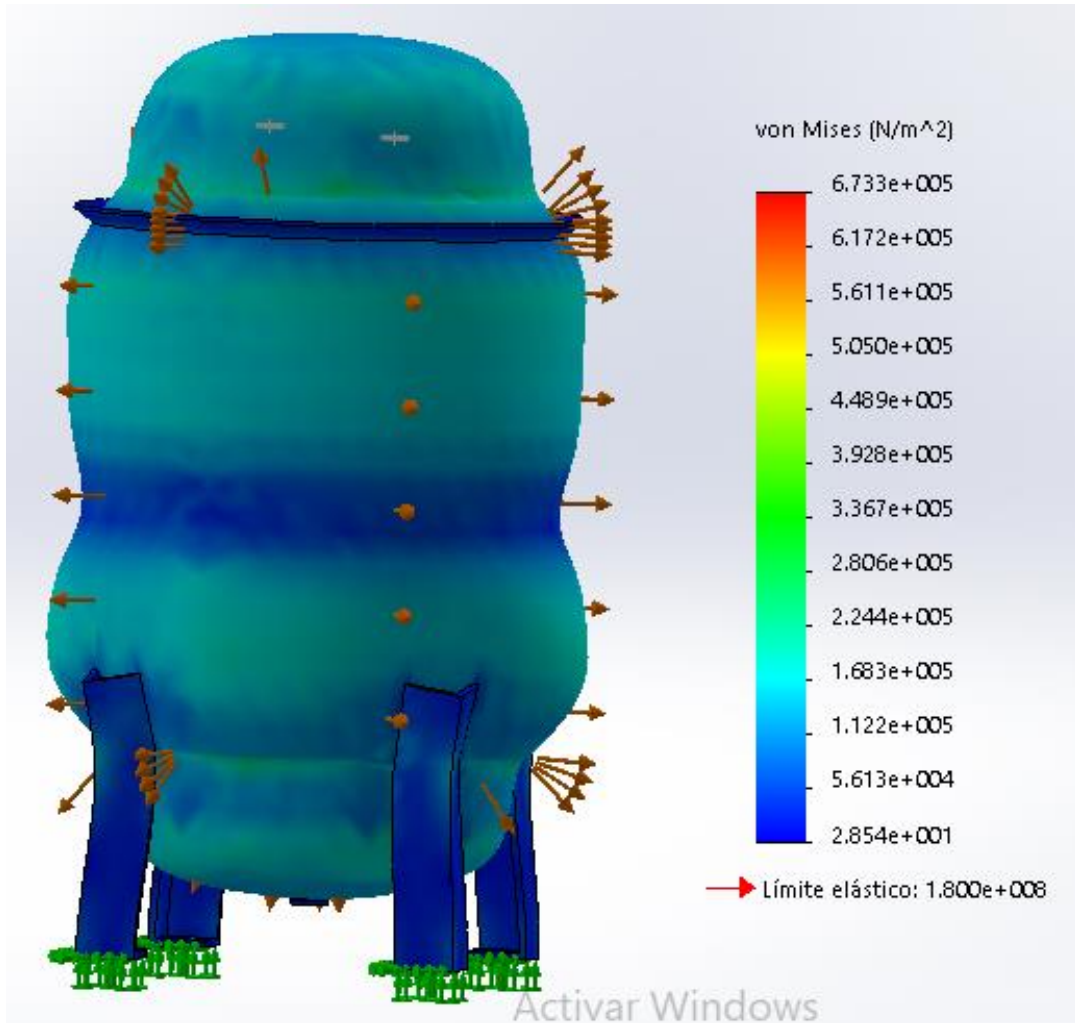


*Fuente: SolidWorks.*

Se realizó una simulación estática de esfuerzos en donde se puede observar las deformaciones que se presentan al aplicarse la presión de entrada realizada por la bomba de engranajes que una presión de 3 bar. Teniendo los siguientes resultados:

### Esfuerzos (vonMises)

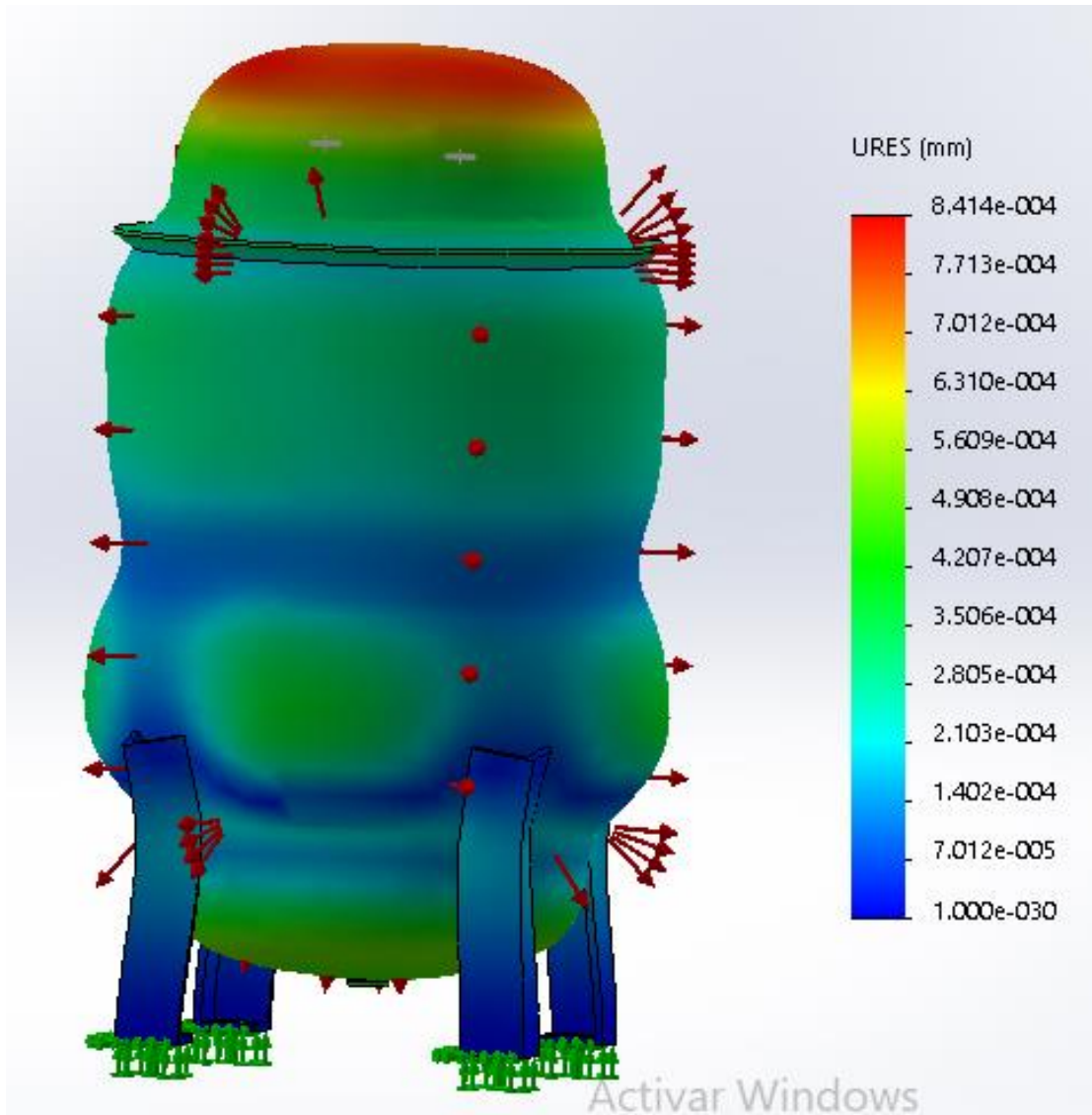
**Figura 154:** Simulación de esfuerzos del cámara de vacío.



*Fuente: SolidWorks.*

## Desplazamiento

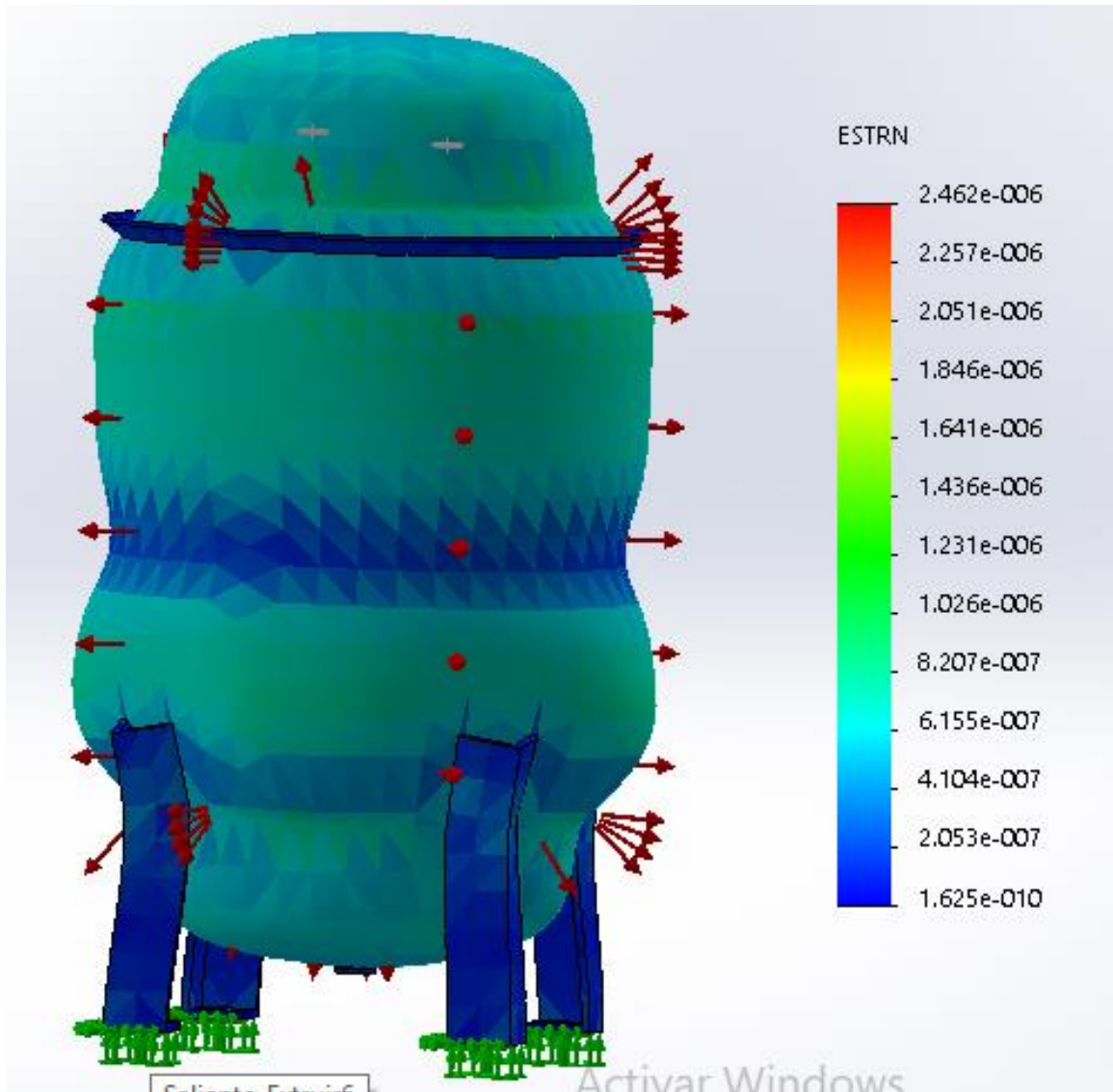
**Figura 165:** Simulación de desplazamiento el cámara de vacío.



*Fuente: SolidWorks.*

## Deformaciones unitarias

**Figura 176:** Simulación de deformaciones unitarias del cámara de vacío.

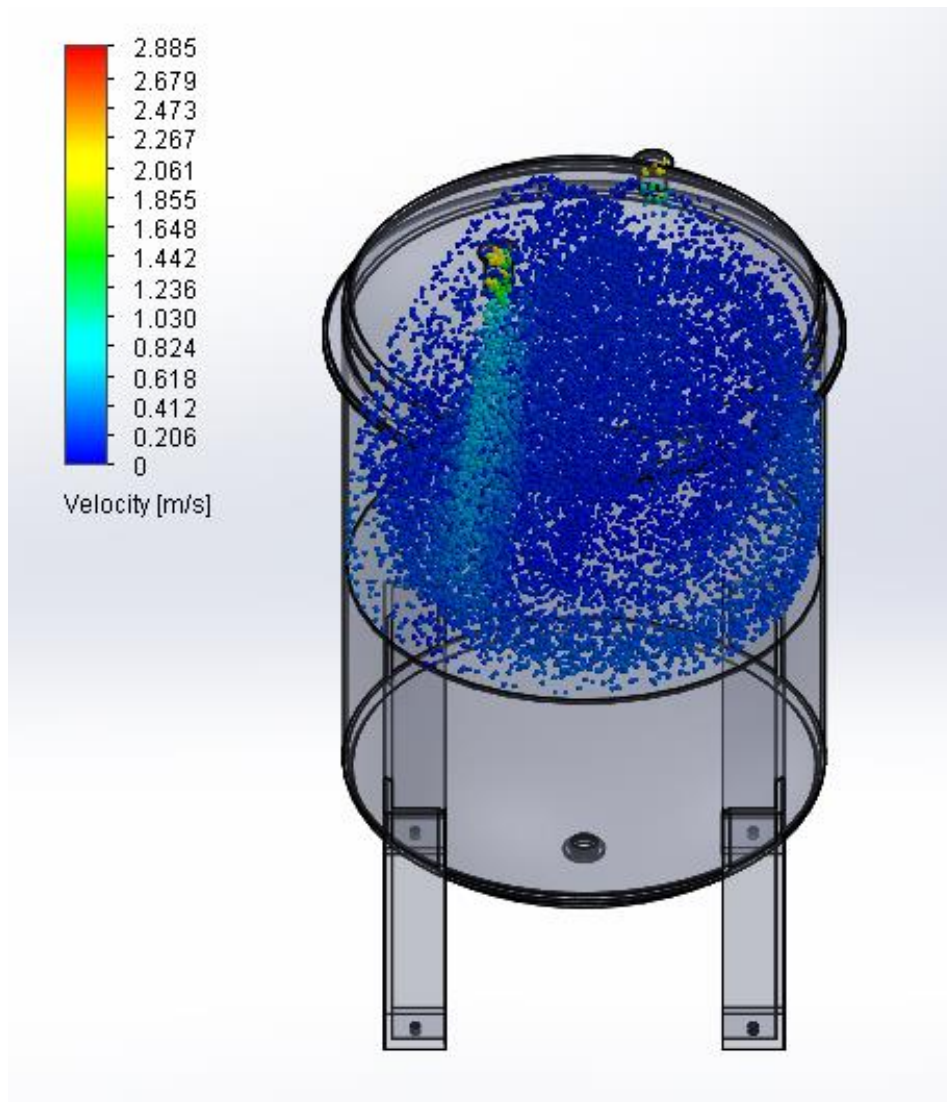


*Fuente: SolidWorks.*



## Simulación de fluidos

**Figura 187:** Simulación del fluido en el cámara de vacío.



*Fuente: SolidWorks.*

## Resultados obtenidos de SolidWorks.

### Informe de SOLIDWORKS FloXpress

#### Modelo

Nombre del modelo: Cámara de vacío. SLDASM

#### Fluido

Oil

#### Presión del ambiente 1

Tipo	Presión del ambiente
Faces	Cara<1>@Tapa-1
Valor	Presión de entrada: 3000.00 Pa Temperatura: 333.15 K

#### Presión del ambiente 1

Tipo	Presión del ambiente
Faces	Cara<2>@Tapa-1
Valor	Presión de salida: 10000.00 Pa Temperatura: 333.15 K

#### Resultados

Nombre	Unit	Valor
Velocidad máxima	m/s	2.812

## Análisis estático del remolque.

### Tensiones

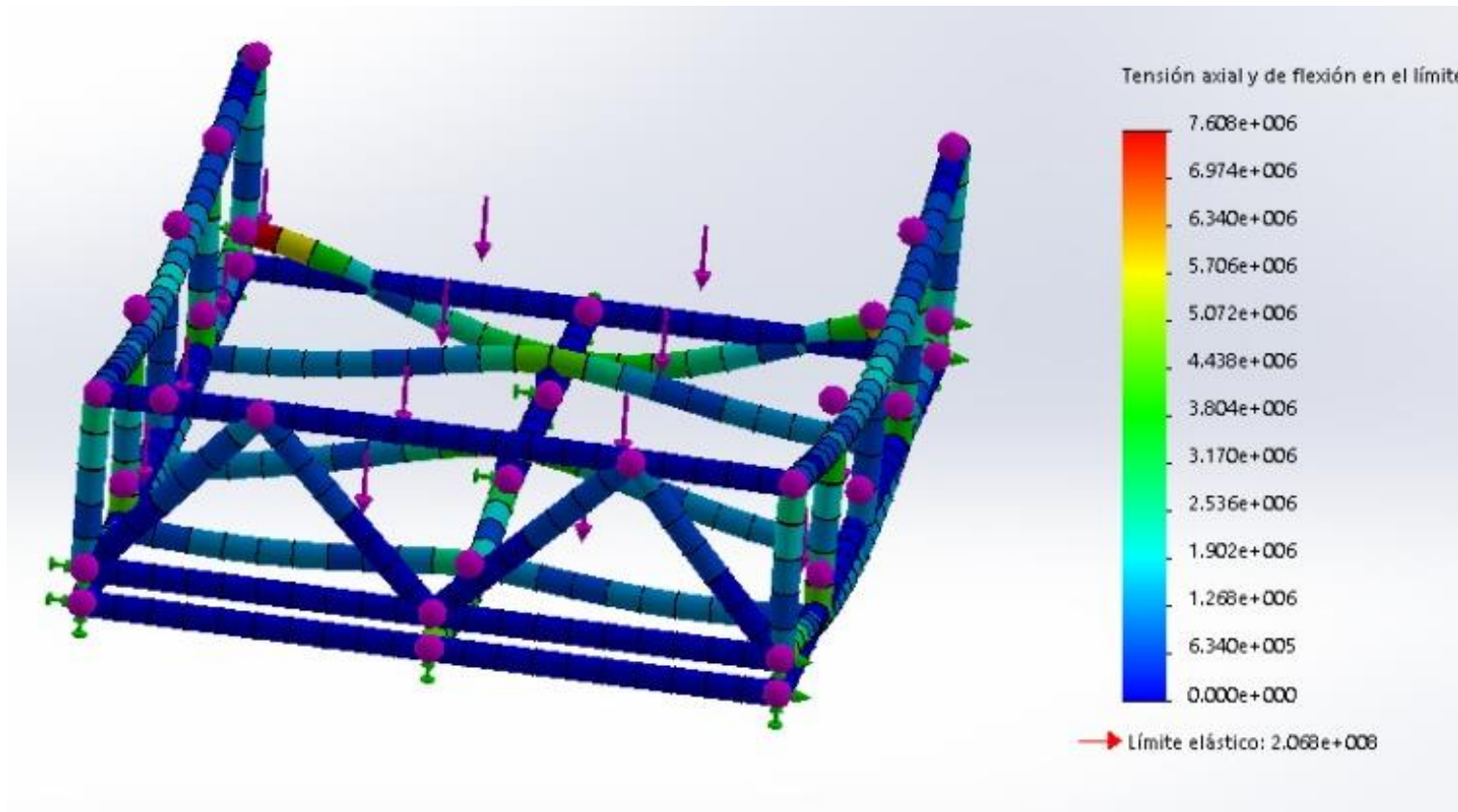
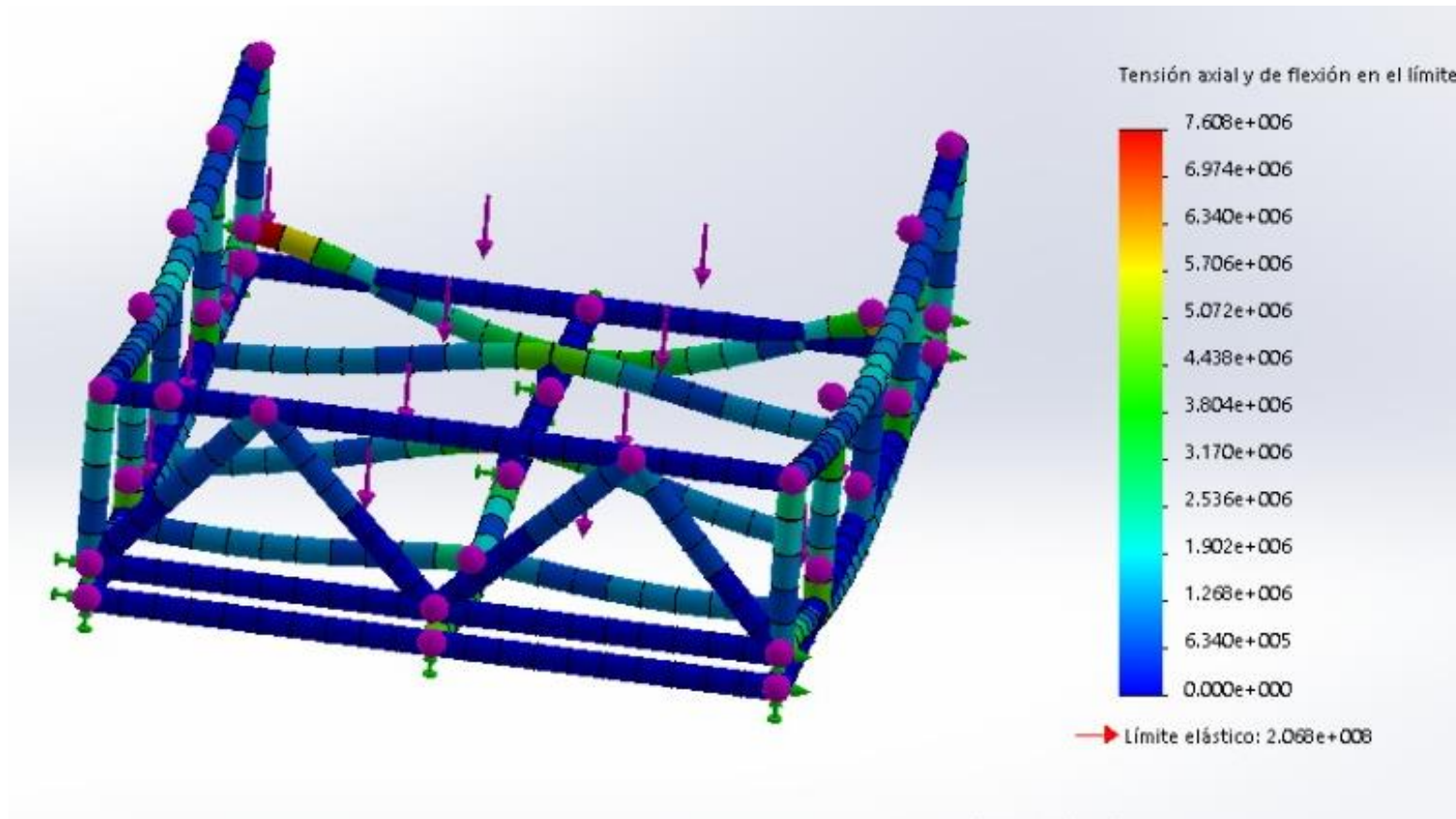


Figura 198: Análisis de tensiones del remolque.

Fuente: SolidWorks.

## Desplazamiento

Figura 209: Análisis de desplazamiento del remolque.



*Fuente: SolidWorks.*

## Evaluación del costo beneficio de la propuesta.

**Tabla 23:** Costo de elementos.

ITEM	Descripción	und	Cantidad	Cost unit. S/.	Costo parcial S/.	Costo total
1	Cámara de vacío					
1.1	Tapa (PL. 940x940x3,5mm)	Kg	22	20	440	
1.2	Cuerpo (PL. 4'x8'x5mm)	Kg	75	20	1500	
1.3	Patas (ángulo 3"x3"x1/2")	kg	45	20	900	
	Base patas (PL. 260x260x12,7mm)	kg	5	20	100	
1.5	Pernos Hex (3/8"x1 1/4")		15	0.8	12	
1.6	Tuercas (Hex 3/8")		15	0.5	7.5	
1.7	Arandelas planas		15	0.2	3	
1.8	Arandelas de presión		15	0.2	3	
1.9	Soldadura ER 308L	kg	4	60	240	
1.10	Discos de desbaste 4 1/2"		4	5	20	
1.11	Soldador	hh	50	10	500	
1.12	Ayudante	hh	50	5	250	
1.13	Bombeado	hm	1	150	150	
1.14	Rolado cilindro	hm	1	50	50	
						4175.5
2	tuberías					
2.1	llaves de bola Ø1 1/4"		8	40	320	
2.2	codos Ø1 1/4"		10	30	300	
2.3	tee Ø1 1/4"		3	20	60	
						680
3	Estructura					
3.1	Tubo cuadrado 3"x1/16"	m	10	80	800	
3.2	Tubo cuadrado 2"x1/16"	m	6	50	300	
	Tubo rectangular 2"x1"x					
3.3	1/16	m	12	35	420	
3.4	Soldadura ER 308L	kg	8	60	480	
3.5	Discos de desbaste Ø4 1/2"		4	5	20	
	Discos de corte Ø4 1/2"x					
3.6	1/16"		40	4	160	
3.7	Soldador	hh	120	10	1200	
3.8	Ayudante	hh	120	5	600	
3.9	Taladro de mano	hm	80	4	320	
						4300

Fuente: Autores.

**Tabla 24:** Costo de equipos.

<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COST UNIT. S/.</b>	<b>COSTO PARCIAL S/.</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
1	Filtro	2	100	200	
2	Bomba de engranajes	2	1800	3600	
3	Bomba de vacío	1	2500	2500	
4	Calentador	1	2800	2800	
					9100

*Fuente:* Autores

**Tabla 25:** Costo total.

<b>RUBRO</b>	<b>COSTO</b>
Cámara de vacío	4175.5
Tuberías	680
Estructura	4300
Equipos	9100
<b>Costo total</b>	<b>18255.5</b>

*Fuente:* Autores

De los datos documentarios de la empresa se pudo obtener que al año en el alquiler de máquina para el tratamiento de aceite dieléctrico se gastan entre 40000 y 50000 soles.

Con este dato vamos a calcular el retorno de la inversión (ROI) que tendrá si en caso la máquina fuera fabricada.

$$ROI = \frac{\text{Beneficio} - \text{inversion}}{\text{inversion}}$$

Donde:

$$\text{Beneficio} = 45000 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

$$\text{inversion} = 18255.5 \text{ soles}$$

Por lo tanto:

$$ROI = \frac{45000 - 18255.5}{18255.5}$$

$$ROI = 1.46 \text{ años}$$

Es así que obtenemos que la inversión será recuperada en un año y medio.

Análisis de resultados.

**Tabla 26:** Análisis de resultados.

<b>OBJETIVO</b>	<b>RESULTADO</b>
Evaluar el funcionamiento de equipos para termovació existentes.	Se hizo la evaluación de tres equipos los cuales fueron descritos en tesis previamente desarrolladas, equipos que ya están en funcionamiento, los equipos analizados fueron: la máquina BRIZIO BASI DOV 400, la máquina de tratamiento de aceite dieléctrico S.E. Trujillo sur y la maquina secador de vacío ABB; de donde pudimos analizar cada proceso y elegir los elementos que mejor se ajustaron a nuestro diseño.
Modelar el equipamiento del proceso de termovació.	Se empezó por hacer bosquejos de cada uno de los elementos del proceso, esto nos permitió ir seleccionando cada uno de los equipos que consta nuestro diseño propuesto.
Diseñar y seleccionar los elementos del proceso de termovació.	Con la ayuda del software de SolidWorks se hizo un modelamiento de cada uno de los equipos y elementos del diseño propuesto llegando a un ensamble final.
Simular el funcionamiento del equipo de termovació.	Mediante SolidWorks simulation. se realizó el funcionamiento de los componentes más críticos, haciendo un análisis de fluidos y esfuerzos; teniendo resultados aceptables para nuestro diseño.
Evaluar el costo beneficio de la propuesta.	Al hacer un análisis costo beneficio se obtuvo que el costo de fabricación del equipo esta muy por debajo del costo de equipos importados y un ROI aceptable.

*Fuente: Autores.*

## **IV. DISCUSIONES**



El objetivo principal de esta investigación fue diseñar una propuesta de máquina para el secado, filtrado y la desgasificación de aceite dieléctrico, utilizando un proceso de termo vacío, se analizó distintos modelos existentes en el mercado y se eligió un modelo eficiente que se adapta a las necesidades de la empresa, para un mejor funcionamiento del sistema y velar por la salud y seguridad ocupacional de los trabajadores.

En esta investigación se hizo el análisis de los tres modelos tomados como referencia, comparando cada uno de ellos, se tuvo algunas discrepancias respecto a cada uno de los procesos de cómo estos lo realizan; siendo así por ejemplo, la máquina Brizio Base DOV 400 en el sistema de filtrado hace el uso de tres tipos de filtros; mientras en nuestro modelo lleva un filtro el cual va a cumplir lo hecho por los tres filtros de dicha maquina; en la máquina de tratamiento de aceite dieléctrico el problema más resaltante es la disposición de sus resistencias por el espacio que utilizan, para nuestro diseño eficiente se implementó el calentador de tipo cilindro o de paso; finalmente el secador de vacío ABB que para la extracción usa dos bombas, nuestro diseño eficiente está compuesta con de una sola bomba, que cumppla la misma función lo cual nos permite ahorrar espacio.

Apolinario y Miguez (2015) en su informe de proyecto innovador “DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA DE REGENERACIÓN, FILTRACIÓN Y DESGASIFICACIÓN DE ACEITE DIELECTRICO UTILIZADO EN TRANSFORMADORES MEDIANTE EL MÉTODO DE PERCOLACIÓN DE TIERRA FULLER Y TERMOVACÍO”, concluyen que “El modo de funcionamiento manual facilita el manejo de la planta, ya que al proveer información de cada parte del proceso y permitir la manipulación de los elementos de accionamiento desde un solo punto, se puede realizar un mejor seguimiento del funcionamiento de la máquina”.

En esta investigación el diseño tomado fue para una para operación manual de la máquina en cada uno de los procesos, es así que nos amparamos en lo concluido por Apolinario y Miguez.

En la simulación del calentador se pudo observar que al momento de al fluido una temperatura de 70°C nos arrojó como resultado que la carcasa del calentador es lo

suficiente resistente para aguantar esta  $T^\circ$ . Es por ende basándonos en los resultados del solidworks elegimos el material de acero inoxidable de 1.5 mm de espesor.

En la simulación de la cámara de vacío en solidworks se izó 3 simulaciones; una de ellas es la etapa de entrada, etapa de vacío, etapa de salida.

Se pudo observar que en las simulaciones realizadas no encontramos ningún resultado negativo por eso se deduce que el material elegido es el correcto. Sin embargo, no debemos alarmarnos al momento de verificar el dibujo que nos arroja solidworks debido a que el programa exagera en las simulaciones, pero debemos tomar decisiones con los resultados basándonos en los colores establecidos por el programa.

En la simulación del remolque se aplicó un análisis de tensiones donde se puede observar que las cargas están bien distribuidas basándonos en los resultados concluidos que el material establecido es el correcto.

Pongo (2009) en su informe de competencia profesional “REGENERACIÓN DE ACEITE DIELECTRICO DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE 30MVA 138/10.7 kV DE LA SUBESTACIÓN TRUJILLO SUR EN SERVICIO” concluye que “Se consigue un ahorro significativo en divisas (U.S.\$ 35,000.00) para el estado, al dejar de importar el Aceite dieléctrico, compuesto a base de hidrocarburos, al reutilizar el mismo aceite del Transformador”.

En esta investigación se llevó a cabo la construcción del diseño propuesto esperando generar un ahorro considerable a las empresas que se le preste servicio de tratamiento de aceite dieléctrico.

## **V. CONCLUSIONES**

- Al hacer una evaluación del sistema de termovacío, con la ayuda de la matriz morfológica, la cual fue aplicada a tres máquinas ya existentes, se pudo tener una idea sobre nuestro diseño el cual debe ser compacto, sencillo, fácil de transportar y sobre todo eficiente, con dicha idea se pudo obtener un diseño a mano alzada.
- Durante el modelamiento de cada uno de los elementos de la máquina se fue encontrado nuevas ideas, las cuales modificaban a las inicialmente propuestas en un primer diseño, o se cambiaban en su totalidad, lo cual nos permitió el desarrollo de un diseño eficiente, compacto y fácil de transportar tal y como se propuso en un principio.
- Se fue diseñando uno a uno cada elemento de la máquina de termovacío, obteniendo así que el sistema de filtrado va a constar de dos filtros en donde el primer filtro será de 10 micras y el segundo de 5; por otra parte, el sistema de carga y descarga será mediante dos bombas de engranajes de 2 hp el calentador, el sistema de calentamiento se hará mediante un calentador de cilindro de 12 kw, el proceso de vacío se va a realizar con una bomba de paletas con un rango de 10 micrones, el retorno se hará con una bomba de engranajes pasando por un filtro de 5 micras.
- Al hacer la simulación de fluidos en SolidWorks se puede observar que tanto la presión como la temperatura están dentro de los rangos considerados.
- Al hacer un análisis económico de la posible fabricación de la máquina de termovacío se observa que el costo de fabricación está muy por debajo de del costo ofrecido por empresas que exportan este tipo de máquinas y se tiene un ROI de un año y medio lo cual es factible.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Se recomienda hacer un estudio de factibilidad técnica y económica de la posible automatización del diseño propuesto.

Se recomienda buscar un material ideal y diseñarlo de tal manera que recubra totalmente el intercambiador del calor y la cámara de vacío y así evitar pérdidas de  $T^\circ$ , debido a que está en contacto con el medio ambiente.

Se recomienda la fabricación de la máquina utilizando los planos diseñados.

Se recomienda después de fabricar la máquina se debe hacer un análisis del aceite con la finalidad de verificar los indicadores propuestos en la operacionalización de variables.

Se recomienda hacer un seguimiento diario del comportamiento del proceso para tener unos cálculos más exactos y eficientes del proceso de termovacío.

## **VII. REFERENCIAS**

- Acore (2018), *Planta De Tratamiento De Purificación De Aceite De Transformador Móvil Mtp Montada En Remolque*. Recuperado de: [https://es.acoreoilpurifier.com/mtp-mobile-transformer-oil-purification-treatment-plant-mounted-on-trailer\\_p11.html](https://es.acoreoilpurifier.com/mtp-mobile-transformer-oil-purification-treatment-plant-mounted-on-trailer_p11.html)
- Apolinario, D. y Miguez, I. (2015). *Diseño y automatización de una máquina de regeneración, filtración y desgasificación de aceite dieléctrico utilizado en transformadores mediante el método de percolación de tierra fuller y termovació*. Escuela superior politécnica del litoral, Guayaquil – Ecuador.
- Avilés, J. (2011). *Diseño y construcción de un sistema de control automatico para optimizar el uso de una maquina tipo brizio basi dov 4000, para tratamiento de aceite dieléctrico de transformador, para la empresa tecniesat*. Universidad Politecnica Salesiana, Cuenca – Ecuador.
- Correa (1999) *Auditoria de gestión*. Recuperado de <http://www.fedecop.org/Carta%20Fedecop%203%20Auditoria%20de%20Gestion.pdf>
- García. E. (2010). *Diagnóstico y mantenimiento de Transformadores de Gran potencia en Aceite (Aplicado a un transformador de 160 MVA, 13,8 kV/138 kV de la central térmica trinitaria)*. Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil – Ecuador
- Gallo, E. (2005). *Diagnóstico y mantenimiento de transformadores en campo*. ACIEM, Bogotá – Colombia.
- Horning, M. y J. Kelly, S. Myers, R. Stenbins. 2005. *Guía para el mantenimiento del transformador*.
- León, J. (2010). *Regeneración de aceite dieléctrico, empleado en equipo eléctrico (trabajo terminal para obtener título)*. Instituto Politécnico Nacional, Mexico Df.
- Marco, J. y Pantoja, G. (2008). *Diseño y construcción de un baco de pruebas para control de vacío*. Escuela superior politécnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador.
- Navas (2015), *Aplicación del aceite dieléctrico de origen vegetal en transformadores eléctricos*. Recuperado de : <http://www.redalyc.org/pdf/477/47723297012.pdf>
- Peón (2014), *Fluidos dieléctricos diseñados expresamente para su utilización como medio aislante en equipos eléctricos tales como transformadores de potencia y de distribución*. Recuperado de : <https://www.repsol.com/es/productos-y-servicios/lubricantes/industria/gama-dielectricos/index.cshtml>
- Shell. (2011). *Aceite para transformadores*. El tutor de lubricación Shell, 1-40. Obtenido de <http://www.shell.com>



- Rivera, L. y Sucozhañay, A. (2016). *Diagnóstico del estado de los transformadores de potencia de las centrales molino y mazar basado en análisis de aceite*. Universidad de Cuenca, Cuenca – Ecuador.
- Saguay, M. y Torres, R. (2011). *Análisis de comportamiento de medios eléctricos ante la saltas tensiones eléctricas*. Universidad de Cuenca, Cuenca – Ecuador.
- Tapia, C. (2007). *Repotenciación y automatización de la purificadora de aceite dieléctrico marca kato utilizada en la central termoeléctrica de la empresa termopichincha*. Universidad de las fuerzas armadas, Sangolqui - Ecuador.
- Tello, F. (2017). *Tratamiento en aceite dieléctrico a través del sistema de termovaciación aplicable a transformadores de distribución en las oficinas de la sunat*. Universidad nacional tecnológica de lima sur, Villa el Salvador – Peru.
- Valles, M. (2007). *procedimiento de supervisión y mantenimiento de transformadores de alta tensión 138 a 230 kv* (trabajo terminal para obtener título). Universidad nacional de ingeniería, lima- Perú.

# **ANEXOS**

## Anexo 1: Coeficiente de resistencia para válvulas y acoplamientos.

**TABLA 10.4** Resistencia de válvulas y acoplamientos, expresada como longitud equivalente en diámetros de tubería  $L_e/D$ .

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería $L_e/D$
Válvula de globo—abierta por completo	340
Válvula de ángulo—abierta por completo	150
Válvula de compuerta—abierta por completo	8
— $3/4$ abierta	35
— $1/2$ abierta	160
— $1/4$ abierta	900
Válvula de verificación—tipo giratorio	100
Válvula de verificación—tipo bola	150
Válvula de mariposa—abierta por completo, 2 a 8 pulg	45
—10 a 14 pulg	35
—16 a 24 pulg	25
Válvula de pie—tipo disco de vástago	420
Válvula de pie—tipo disco de bisagra	75
Codo estándar a $90^\circ$	30
Codo a $90^\circ$ de radio largo	20
Codo roscado a $90^\circ$	50
Codo estándar a $45^\circ$	16
Codo roscado a $45^\circ$	26
Vuelta cerrada en retorno	50
Te estándar—con flujo directo	20
—con flujo en el ramal	60

Fuente: Crane Valves, Signal Hill, CA.

## Anexo 2: Carcasas Donaldson

LOW PRESSURE FILTERS



### HRK10

Max Flow: 300 gpm (1135 lpm)



### HRK10 In-Line Cartridge Filters

**Working Pressures to:**  
150 psi / 1035 kPa / 10.3 bar

**Rated Static Burst to:**  
500 psi / 3450 kPa / 34.5 bar

**Flow Range To:**  
300 gpm / 1135 lpm

#### Applications

- Fluid Conditioning Systems
- In-Plant Systems
- Lube Oil Systems
- Side Loop Systems



#### Features

The HRK10 high flow filter combines the best features of its predecessor, the HEK11: ANSI inlet port options, top cover filter servicing for ease of maintenance, and a selection of service indicators. The HRK10 all-steel housing design provides a strong, durable, and dependable unit. It offers standard features like deep pleat filters for higher dirt holding capacity and standard Donaldson DT 4-layer media filter construction. This technology, combined with many other standard features, is ideal for today's applications in pulp and paper, power generation and steel mill applications. A port for an electrical indicator is incorporated into the differential indicator block.

- Robust "Twist & Lift" cover for simplified servicing
- Multiple bypass valve design assures proper operation
- Wide variety of bypass valve ratings
- Reverse flow (inside to outside) filters for positive contamination containment
- Fluorocarbon seals standard
- Housing & cover material: steel
- Drain plug in bottom
- Bleed valve in cover
- Fill plug in cover

#### Beta Rating (per ISO 16889)

- Performance to  $\beta_{L10} > 1000$

#### Porting Size Options

- 4" ANSI Flange, 8-bolt 150#

#### Replacement Filter Lengths

- 21.99" / 558mm

#### Standard Bypass Ratings

- 5 psi / 34.5 kPa / 0.34 bar
- 25 psi / 172 kPa / 1.7 bar
- 50 psi / 345 kPa / 3.4 bar
- No Bypass

#### Assembly Weight

- 140 lbs / 64 kg

#### Operating Temperatures

- -20°F to 250°F (-29° to 121°C)

#### Filter Collapse Ratings

- 100 psid / 689 kPa / 6.9 bar

## Anexo 3: Filtros Donaldson.

### Cartuchos hidráulicos Donaldson Blue®

Estamos expandiendo nuestra línea de productos **Donaldson Blue** con los primeros **filtros hidráulicos Donaldson Blue**.

Como el resto de la línea de filtros de aire, de lubricante, de combustible y filtración a granel **Donaldson Blue**, estos nuevos filtros hidráulicos ofrecen un rendimiento superior. **Los filtros hidráulicos Donaldson Blue** proporcionan ventajas significativas frente a los filtros de la competencia.

- **Eficiencia superior:** para *fluidos más limpios y menos contaminantes dañinos* en sus sistemas hidráulicos.
- **Mayor duración del filtro:** para *mayores intervalos de servicio*, lo cual reduce el tiempo y el gasto de las tareas de mantenimiento de los equipos.
- **Restricción del flujo reducida:** para *minimizar la pérdida de energía y el tiempo en modo bypass del filtro*, incluso durante los arranques en frío.

En pocas palabras: **los filtros hidráulicos Donaldson Blue** proporcionan una protección del sistema y un desempeño mejores si se los compara con los filtros Schroeder K25 y K210.



### Las cifras

¿Cómo proporcionan los filtros hidráulicos Donaldson Blue un aumento en la protección del sistema y una reducción en los costos de operación? Proporcionan un equilibrio óptimo entre eficiencia, capacidad y restricción al flujo. La prueba está en el desempeño.

#### Eficiencia

- DBH6018 – filtros de 5 micrones que eliminan 1,5 veces más contaminantes que el Schroeder K25
- DBH6019 – filtros de 10 micrones que eliminan 14 veces más contaminantes que Schroeder K210

#### Capacidad

- DBH6018 proporciona un 18 % más de capacidad de retención de contaminantes (mayor vida útil del filtro) que el Schroeder K25
- DBH6019 proporciona un 34 % más de capacidad de retención de contaminantes que el Schroeder K210

#### Restricción al flujo

- Los filtros hidráulicos Donaldson Blue proporcionan hasta un 37 % menos de restricción que los filtros Schroeder K2

*Los filtros hidráulicos Donaldson ayudan a proteger los equipos, a reducir los costos de mantenimiento y a aumentar el tiempo de actividad del equipo, lo cual tiene un impacto directo en su costo de operación.*

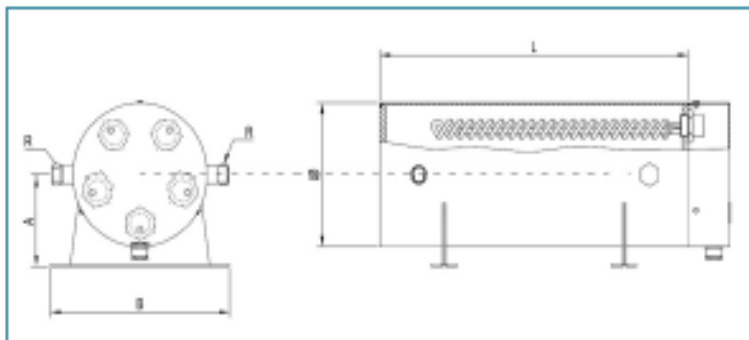
## Anexo 4: Calentador de resistencia tope.

### 2. Calentadores de paso para agua o fuel-oil

Estos calentadores están compuestos principalmente por un cuerpo-depósito, soportes de sujeción y resistencias con control de temperatura regulable tipo ZGR, por lo que hace innecesaria la conexión mediante contactores.

Aplicaciones: Para circuitos de agua sobrecalentada, calefacción central, aceites, fuel-oil, etc..

Materiales: Según requerimientos técnicos y normativas vigentes para cada aplicación.



#### Calentador de paso CP-1

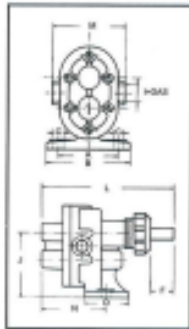
Ref.	Kw	n.º res.	A	B	R	∅ mm	L mm	Cap(l)
D-1863A	6	2	120	270	1/2"	180	600	15
D-1863B	9	3	120	270	1/2"	180	600	15
D-1863C	12	4	120	270	1/2"	180	600	15
D-1863D	15	5	160	350	3/4"	260	600	30
D-1863E	18	6	160	350	3/4"	260	600	30
D-1863F	21	7	160	350	3/4"	260	600	30

#### Calentador de paso a 230V/400V CP-2

Ref.	Kw	n.º res.	A	B	R	∅ mm	L mm	Cap(l)
D-1868A	27	9	160	350	3/4"	260	1100	55
D-1868B	37	11	160	350	3/4"	260	1100	55
D-1868C	39	13	160	350	3/4"	260	1100	55
D-1868D	42	14	160	350	3/4"	260	1100	55
D-1868E	54	18	240	420	1"	390	1100	125
D-1868F	60	20	240	420	1"	390	1100	125
D-1868G	72	24	240	420	1"	390	1100	125

\* Se fabrica a medida y bajo pedido con las especificaciones técnicas concretas para cada aplicación.

## Anexo 5: Bomba de engranajes tipo A



### Revoluciones máx. según viscosidad

VISCOSIDAD ENGLER	BOMBA N°						
	0	1	2	3 y 4	5 y 5,5	6 y 7	10
20° C	800	800	800	800	500	500	500
50° C	800	800	800	635	500	400	300
100° C	650	600	500	400	350	250	200
150° C	415	380	320	250	225	160	130
200° C	325	300	250	200	175	125	100

### Dimensiones Tipo A

N°	Tubería de	Eje		Anclaje				Bomba			
		E Ø	F	A	B	C	D	J	K	L	M
00	1/4"	12	25	45	68	11	30	52	65	130	57
0	1/4"	13	34	52	80	11	40	60	70	146	62
1	3/8"	14	30	65	95	11	60	75	80	160	80
2	1/2"	16	40	72	100	11	60	86	85	175	95
3	3/4"	19	40	80	105	11	65	95	105	220	88
4	1"	19	40	80	105	11	65	95	130	240	105
5	1 1/4"	21	50	80	110	11	80	115	140	270	120
5,5	1" - 1 1/4"	24	53	80	110	11	80	115	170	312	126
5,5 R	1" - 1 1/4"	25	53	80	140	11	80	127	167	312	140
6	1 1/2"	25	60	140	170	11	110	150	150	340	165
7	2 1/2"	25	60	140	170	11	110	150	170	360	168
10	3"	30	70	180	220	13	180	190	190	470	220

### Tabla de Rendimientos

N°	CAUDAL SIN PRESIÓN LIT. MIN.			
	250 r.p.m.	350 r.p.m.	500 r.p.m.	800 r.p.m.
00	1,8	2,5	3,6	5,6
0	3,5	5	7	10
1	5	7	10	15
2	8	11	16	24
3	15	21	30	48
4	22	32	45	72
5	34	49	68	110
5,5	48	67	96	-
5,5 R	65	90	130	-
6	75	105	150	-
7	84	117	168	-
10	185	260	370	-

N°	POTENCIA DE MOTOR EN CV a 500 RPM		
	Hasta 10m.	Agua a 40m.	Aceite 25° E a 5 Bar
00	0,1	0,5	0,2
0	0,12	0,2	0,3
1	0,15	0,25	0,4
2	0,2	0,4	0,75
3	0,25	0,6	0,8
4	0,3	0,9	1,5
5	0,6	1,5	3
5,5	1	2	3
5,5 R	1,25	3	4
6	1,25	3	4
7	1,5	4	5,5
10	4	10	15

Disponemos de un extenso surtido de bombas de engranajes. Rogamos consultar.

Anexo 6: Unidades de medida del vacío



## Unidades de medida del vacío

	Pa-N/m <sup>2</sup>	bar	<i>mbar</i>	Torr mm Hg	Micron μm.Torr	atm	Psi lbf/inch <sup>2</sup>
Pa	1	1.10 <sup>-5</sup>	<i>1.10<sup>2</sup></i>	7.5 10 <sup>-3</sup>	7.5	9.87 10 <sup>-6</sup>	1.45 10 <sup>-4</sup>
bar	1 10 <sup>-5</sup>	1	<i>1 10<sup>2</sup></i>	750	7.5 10 <sup>5</sup>	0.987	14.5
<i>mbar</i>	<i>100</i>	<i>1 10<sup>2</sup></i>	<i>1</i>	<i>0.75</i>	<i>750</i>	<i>9.87 10<sup>-4</sup></i>	<i>1.45 10<sup>-2</sup></i>
Torr	1.33 10 <sup>2</sup>	1.33 10 <sup>-3</sup>	<i>1.33</i>	1	1000	1.32 10 <sup>-3</sup>	1.93 10 <sup>-2</sup>
Micron	0.133	1.33 10 <sup>-6</sup>	<i>1.33 10<sup>3</sup></i>	1 10 <sup>-3</sup>	1	1.32 10 <sup>-6</sup>	1.93 10 <sup>-5</sup>
Atm	1.01 10 <sup>5</sup>	1013	<i>1013</i>	760	7.6 10 <sup>5</sup>	1	14.7
Psi	6.89 10 <sup>3</sup>	6.89 10 <sup>-2</sup>	<i>68.9</i>	51.71	5.17 10 <sup>4</sup>	6.8 10 <sup>-2</sup>	1





## Anexo 7: Bomba de vacío.

### Bombas de Paleta Rotativa de Operación en Seco



#### Desempeño

- Flujo de aire: 5 cfm a 177 cfm
- Vacío: de 25.5" HgV
- Presión: de 21.8 psig

#### Características

- Sin aceite
- Fácil de instalar
- Bajo nivel de ruido
- Aeroenfriadores
- Operación continua

### Sistemas de Vacío Centralizado



Los sistemas centrales de Republic ofrecen configuraciones estándar y personalizadas. Nuestros sistemas utilizan amplia gama de productos diseñados para satisfacer su solicitud. Los sistemas son construidos en conformidad con las normas aplicables, como: NFPA, NEMA, ASME, UL y paneles de control.

#### APLICACIONES

##### Alimenticia o Envasado

- Empacado de vacío
- Moldeo de plásticos
- Formación de vacío
- Foil handling
- Etiquetado
- Ereción de cartón
- Manipulación/Sujeción

##### Industrial

- Autoclaves
- Materiales compuestos
- Robotics
- Vacuum hold down
- Mesas de corte CNC
- Formando/Prensado/Laminado
- Transporte neumático
- Desgasificación
- Secado

##### Ambiental

- Aireación
- Extracción de vapor de suelo
- Burbujeo

##### Sistemas de Vacío Centralizado

- Laboratorios
- Vacío médico

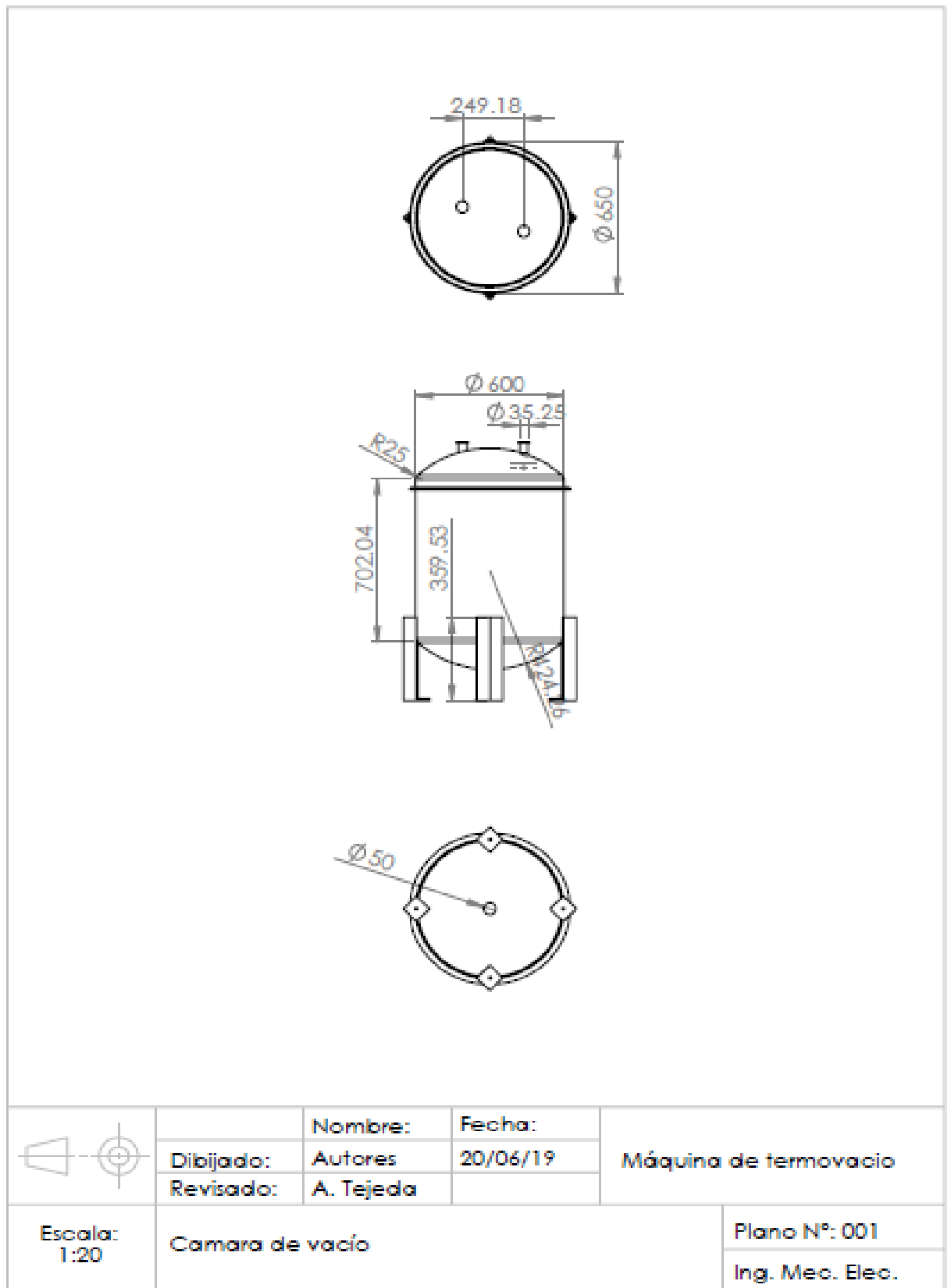
##### Dental

- Process

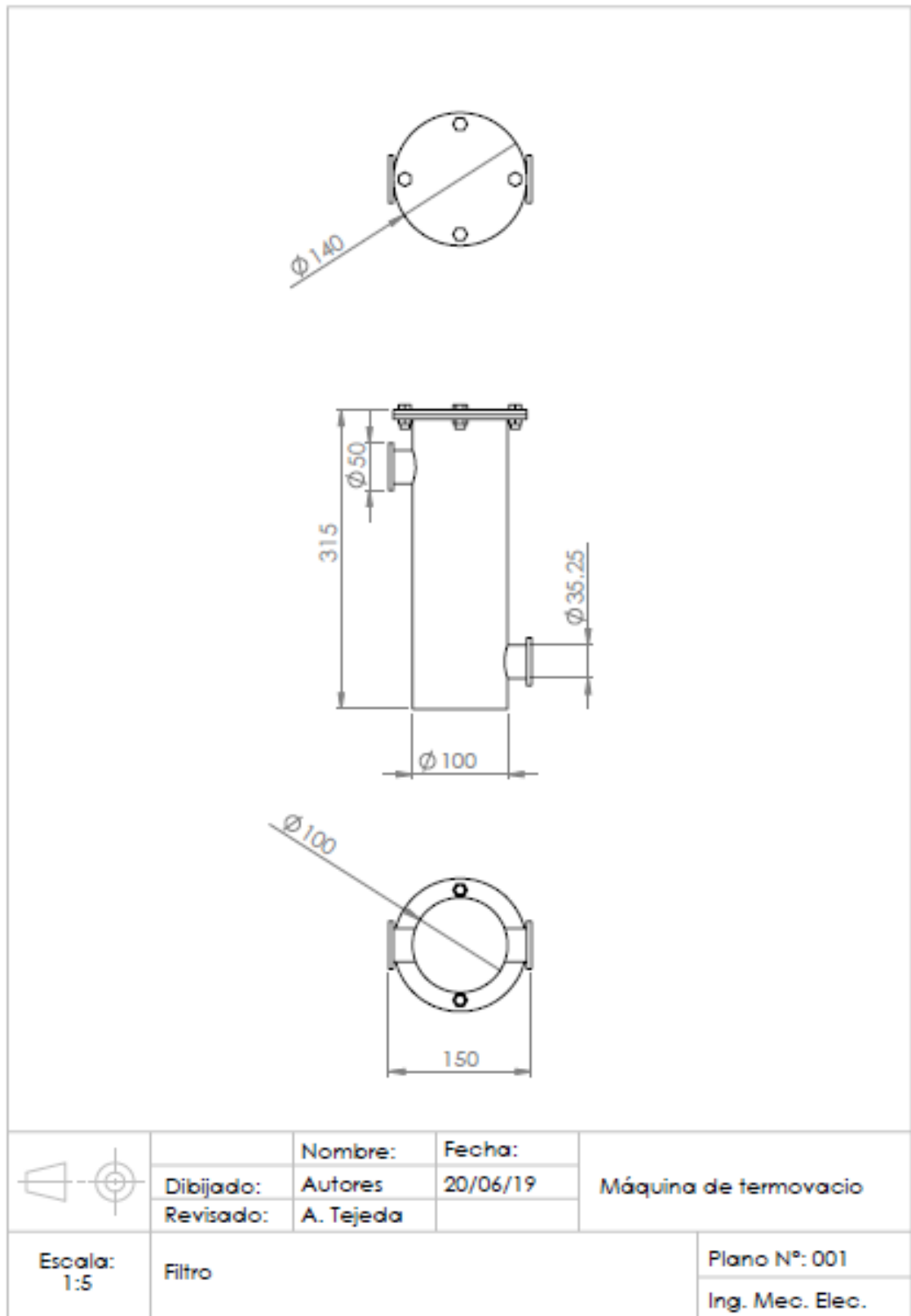
##### Impresión

- Alimentación de papel en impresoras y convertidores de papel
- Encuadernación

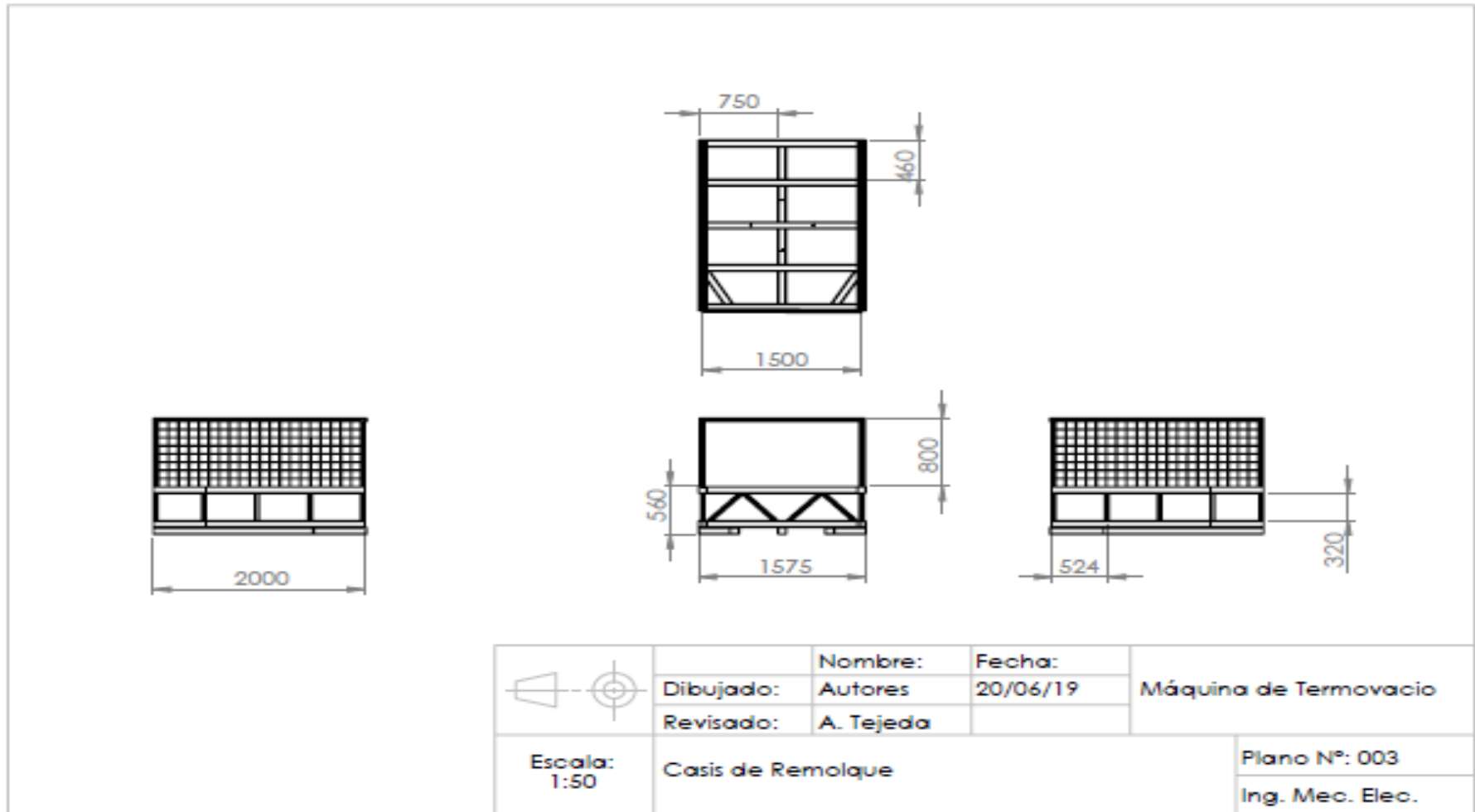
**Anexo 8: Plano de la cámara de vacío.**



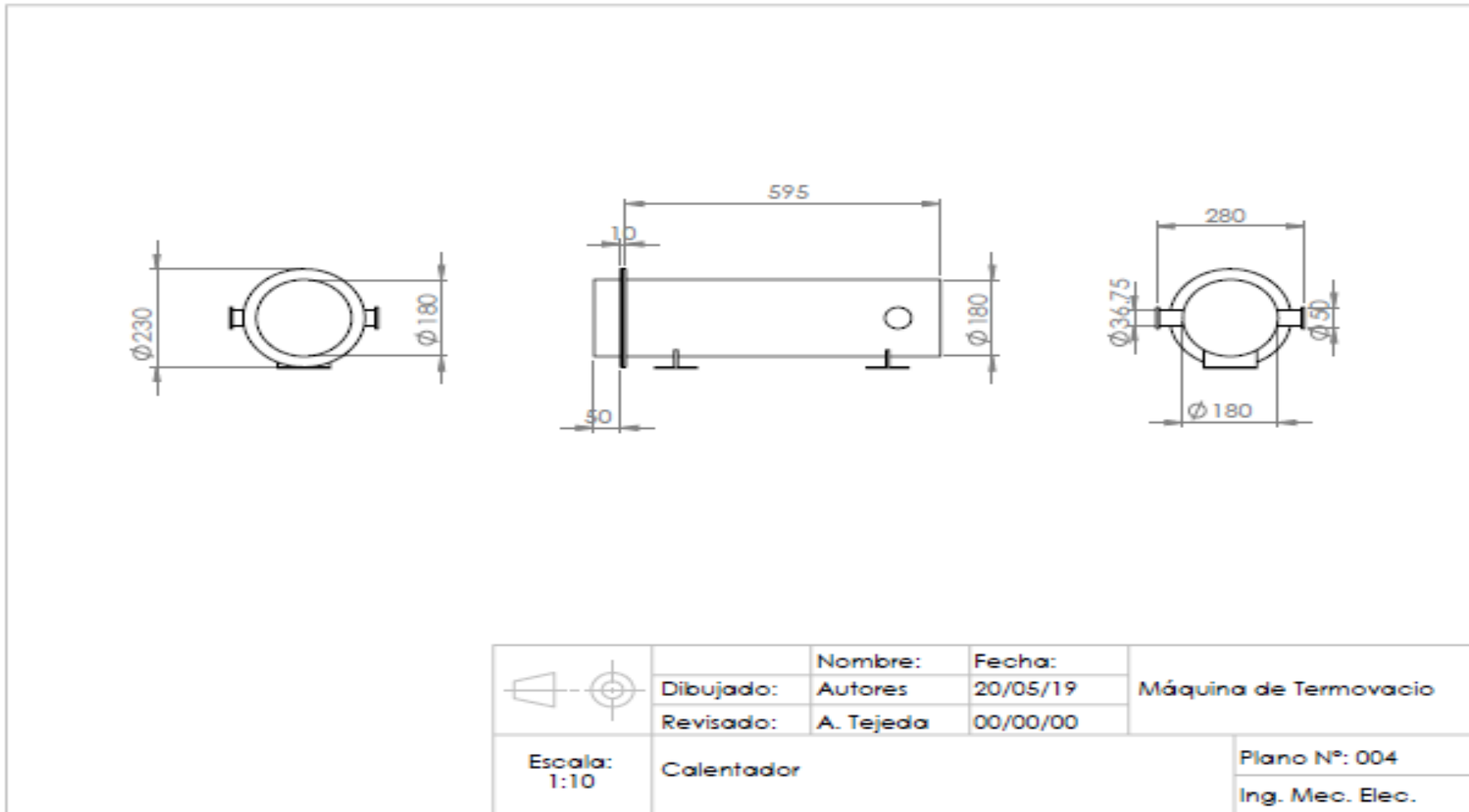
**Anexo 9: Plano del filtro.**



**Anexo 10: Plano del remolque.**



**Anexo 11: Plano del calentador.**



# Diseño de un equipo de procesos de termovaciación para mejorar las propiedades dieléctricas del aceite contaminado en transformadores de hasta 10000 KVA

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>18%</b>	<b>14%</b>	<b>1%</b>	<b>10%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>Submitted to Universidad Cesar Vallejo</b> Trabajo del estudiante	<b>3%</b>
<b>2</b>	<b>www.dspace.espol.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>4</b>	<b>dspace.esPOCH.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>5</b>	<b>dspace.ups.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>Submitted to Universidad de Costa Rica</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>Submitted to Escuela Politecnica Nacional</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>docplayer.es</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>



## RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 0020-2020/EIME-UCV

Trujillo 27 de febrero del 2020

**VISTO:** El **Informe N° 022 - 2020/EIME-UCV de fecha 27 de febrero del 2020**, presentado por Jurado evaluador de sustentación de Tesis de Ingeniería Mecánica Eléctrica, en donde manifiesta que **Bach. Carruitero Jara Lenyn Yraldo y Bach. Otiniano Niquin Cauder Rodolfo**, cumple con los requisitos necesarios para sustentar su tesis **“Máquina de regeneración de aceite dieléctrico, utilizando un proceso de termovació”** para obtener el título de **Ingeniero Mecánico Electricista**.

**CONSIDERANDO:**

Que, según la reglamentación establecida para el otorgamiento del título de Ingeniero Mecánico Electricista a: **Bach. Carruitero Jara Lenyn Yraldo y Bach. Otiniano Niquin Cauder Rodolfo**, luego de haber presentado su proyecto de tesis y de ser revisado por el asesor correspondiente y habiendo cumplido con todas las disposiciones requeridas para el presente caso.

Que, con informe **Informe N° 022 - 2020/EIME-UCV de fecha 27 de febrero del 2020** La Jurado evaluador de sustentación de Tesis de Ingeniería Mecánica Eléctrica precisa que el mencionado bachiller ha cumplido con todos los requisitos necesarios para sustentar su tesis.

Estando a lo dispuesto y a lo normado por los reglamentos de la Universidad, en mérito a las atribuciones conferidas a las Facultades.

**SE RESUELVE:**

**1° NOMBRAR** el Jurado Evaluador de la Sustentación de Tesis **“Máquina de regeneración de aceite dieléctrico, utilizando un proceso de termovació”**, presentado por **Bach. Carruitero Jara Lenyn Yraldo y Bach. Otiniano Niquin Cauder Rodolfo**, que estará conformada por los docentes:

- |                                    |                     |
|------------------------------------|---------------------|
| - Dr. Jorge Antonio Inciso Vásquez | <b>(Presidente)</b> |
| - Dr. Jorge Eduardo Luján López    | <b>(Secretario)</b> |
| - Mg. Alex Deyvi Tejada Ponce      | <b>(Vocal)</b>      |

**2° SEÑALAR** como fecha de sustentación, el **28 de febrero del 2020** a las **15:00 horas** en el aula **Aula E - 503** de la Universidad César Vallejo.

**3° EMITIR** el Jurado Evaluador su informe al Decanato de la Facultad con los resultados respectivos.

Regístrese, comuníquese y archívese.

Dr. Jorge Antonio Inciso Vásquez  
Director de Ingeniería Mecánica Eléctrica

DISTRIBUCION: Escuela Ing. Mecánica Eléctrica / Jurado / Interesado/ file  
JAIV/ADTP

CAMPUS TRUJILLO  
Av. Larco 1770  
Tel.: (044) 485 000. Anx.: 7000  
Fax: (044) 4805 019.

fb/ucv\_peru  
@ucv\_peru  
#saliradelante  
ucv.edu.pe



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

### **Declaratoria de Originalidad del Autor**

Yo, OTINIANO NIQUIN CAUDER RODOLFO estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "DISEÑO DE UN EQUIPO DE PROCESOS DE TERMOVACÍO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DIELECTRICAS DEL ACEITE CONTAMINADO EN TRANSFORMADORES DE HASTA 10000 KVA", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Firma</b>
OTINIANO NIQUIN CAUDER RODOLFO <b>DNI:</b> 75881332 <b>ORCID</b> 0000-0002-8024-0965	Firmado digitalmente por: ONQUINCR el 19-05-2021 10:41:48

Código documento Trilce: INV - 0191353





**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**Declaratoria de Originalidad del Autor**

Yo, LENYN YRALDO CARRUITERO JARA estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "DISEÑO DE UN EQUIPO DE PROCESOS DE TERMOVACÍO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DIELECTRICAS DEL ACEITE CONTAMINADO EN TRANSFORMADORES DE HASTA 10000 KVA", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
CARRUITERO JARA LENYN YRALDO <b>DNI:</b> 76658540 <b>ORCID</b> 0000-0001-9445-1344	Firmado digitalmente por: CARRUITEROJARAL

Código documento Trilce: