

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

**Diseño de un sistema de limpieza para aceite de  
motores diésel mediante filtros centrífugos  
portables**

Juan Percy Ames Porras  
Enrique Meza Puchoc  
Sven Aurelio Liberato Duran

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Mecánico

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestros agradecimientos a todas las personas que nos brindaron su apoyo incondicional para poder lograr nuestros objetivos, especialmente a nuestros docentes de la facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Continental de Ciencias e Ingeniería – UCCI, por sus valiosos aportes en nuestra formación académica y forjarnos como futuros profesionales en bien de nuestra sociedad.

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis con todo el amor a quien me dio la vida, mi linda madre Esperanza, quien me acompaña en todo instante y me apoya en todo momento, también a la memoria de mi padre Luis, a mi primo Eloy por enseñarme el camino de la superación brindándome su tiempo y su apoyo para concluir mi carrera universitaria.

Quiero dedicar esta tesis a mi esposa Karin por estar conmigo en aquellos momentos en que el estudio y el trabajo ocuparon mi tiempo y esfuerzo, gracias por toda tu ayuda. A mis padres: Aurelio y Mercedes por su apoyo y estímulo para poder continuar con mis estudios.

Este trabajo de investigación lo dedico con todo cariño a mis padres, hermana y a mi amada esposa Rosario por su valioso apoyo y motivación para lograr mis objetivos, también a mis lindos hijos: Cristopher, Juan y Jesús.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	I
AGRADECIMIENTOS .....	II
DEDICATORIA.....	III
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VII
RESUMEN .....	VIII
ABSTRACT .....	IX
INTRODUCCIÓN .....	X
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	13
1.1 Planteamiento y formulación del problema .....	13
1.1.1 Planteamiento del problema .....	13
1.1.2 Formulación del problema .....	14
1.1.2.1 Problema general .....	14
1.1.2.2 Problemas específicos.....	15
1.2 Objetivos.....	15
1.2.1 Objetivo general.....	15
1.2.2 Objetivos específicos .....	15
1.3 Justificación e importancia de la investigación.....	15
1.3.1 Justificación teórica.....	15
1.3.2 Justificación práctica.....	16
1.3.3 Importancia de la investigación.....	16
1.4 Viabilidad de la investigación.....	16
1.5 Limitaciones del estudio.....	17
1.6 Variables.....	17
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. Antecedentes de la investigación.....	20
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	20
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	23
2.2. Bases teóricas .....	26
2.2.1. Fundamentos teóricos .....	26
2.2.1.1. Teoría de lubricación .....	26

2.2.1.2. Aditivos de lubricantes.....	26
2.2.1.3. Tipos de lubricantes.....	28
2.2.1.4. Nomenclatura de los aceites para motor .....	30
2.2.1.5. Contaminantes del aceite .....	34
2.2.1.6. Capacidad del filtro .....	40
2.2.1.7. Opciones de separación de partículas.....	41
2.2.1.8. Motores diésel .....	42
2.2.1.9. Fuerzas que intervienen en el proceso.....	46
2.2.1.10. Variables que afectan la centrifugación .....	48
2.2.1.11. Definición de términos básicos .....	49
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	52
3.1. Método y alcances de la investigación.....	52
3.1.1. Método de la investigación .....	52
3.1.2. Alcances de la investigación.....	52
3.1.3. Diseño de la Investigación .....	53
3.1.3.1. Tipo de diseño de investigación .....	53
3.1.3.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	53
3.2. Materiales y métodos .....	54
3.2.1. Lista de exigencias .....	54
3.2.2. Estructura de funciones .....	55
3.2.3. Abstracción Black – box.....	56
3.2.4. Estructura de funciones (caja blanca).....	56
3.2.5. Matriz morfológica .....	59
3.2.6. Propuestas de solución:.....	61
3.2.7. Determinación de la solución óptima .....	63
3.3. Proyecto preliminar .....	67
CAPÍTULO IV DESARROLLO.....	68
4.1. Cálculo y selección de componentes .....	68
CAPÍTULO V DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	93
CONCLUSIONES.....	98
RECOMENDACIONES .....	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	101
ANEXOS .....	104

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de cambio de aceite para motores de equipos pesados y livianos.....	14
Tabla 2. Dimensiones e indicadores de la variable de filtros centrífugos portables.....	18
Tabla 3. Dimensiones e indicadores de la variable: Sistema de limpieza para aceite de motores diésel.....	19
Tabla 4. Viscosidades de los aceites para motor SAE J 300 DIC. 99 .....	30
Tabla 5. Clasificación para motores de gasolina .....	32
Tabla 6. Clasificación de aceites para motores diésel.....	33
Tabla 7. Lista de exigencias del proyecto .....	54
Tabla 8. Matriz morfológica del proyecto.....	59
Tabla 9. Evaluación de lista de exigencias.....	63
Tabla 10. Evaluación de valor técnico.....	64
Tabla 11. Evaluación de valor económico .....	65
Tabla 12. Comparación de resultados evaluados .....	65
Tabla 13. Tabla de selección de material para las tuberías .....	73
Tabla 14. Evaluación de la bomba a utilizar.....	78
Tabla 15. Comparativa de momentos de inercia para secciones de perfiles metálicos.....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Lodo dentro de un motor .....	14
Figura 2. Prueba de Multipaso ISO 16889 .....	41
Figura 3. Principios de ciclo diésel de 4 tiempos.....	43
Figura 4. Caja negra del proyecto .....	56
Figura 5. Caja blanca del proyecto.....	57
Figura 6. Diagrama de flujo a partir de las funciones de la máquina.....	58
Figura 7. Diagrama de funciones del proyecto .....	59
Figura 8. Modelo de la solución 1.....	61
Figura 9. Modelo de la solución 2.....	62
Figura 10. Modelo de la solución 3.....	62
Figura 11. Esquema de dispersión para la elección del resultado .....	66
Figura 12. Distribución preliminar del proyecto .....	67
Figura 13. Distribución de la trayectoria de las tuberías.....	71
Figura 14. Ingreso del aceite al filtro centrífugo.....	73
Figura 15. Distribución del punto de entrada y salida del aceite .....	74
Figura 16. Coeficientes de pérdidas en codos .....	76
Figura 17. Selección del motor para el proyecto .....	79
Figura 18. Cuadro de selección para el coeficiente de concentración equivalente .....	82
Figura 19. Diagrama de fuerzas y momentos para el soporte crítico .....	87
Figura 20. Comprobación del cordón de soldadura del soporte crítico .....	91
Figura 21. Simulación de maniobrabilidad del sistema más usuario .....	92
Figura 22. Flujo volumétrico del aceite hacia los filtros a partir de la simulación en SolidWorks.....	95
Figura 23. Deformación sobre la estructura debido a los componentes.....	96



## RESUMEN

La presente tesis tiene por objetivo diseñar un sistema de limpieza para aceite lubricante de motores diésel mediante filtros centrífugos como una herramienta para la limpieza del aceite usado en los vehículos equipados con dichos motores. La limpieza del aceite usado permite reducir los efectos dañinos de la contaminación en el sistema de lubricación de los motores diésel, mejorando su eficiencia, incrementando la vida útil, reduciendo costos por mantenimiento y favoreciendo la protección de los componentes internos y por ende la conservación y preservación del medio ambiente. Así, nace la pregunta de ¿cómo sería el diseño de un sistema de limpieza para aceite de motores diésel mediante filtros centrífugos portables?

En esta tesis proponemos una solución viable a la problemática surgida en el aceite de los motores diésel por presencia de elementos contaminantes que perjudican la operatividad y funcionamiento adecuado de los motores diésel. El presente documento está basado en un método sistémico de investigación, mientras que su tipo es correlacional-descriptivo, desarrollándose por medio de un diseño de investigación no experimental.

El diseño conceptual está basado en la norma alemana VDI 2221 para realizar la conceptualización y desarrollo de diseño de los componentes y la máquina. Mediante una investigación tribológica, para el procedimiento de filtración de residuos y contaminantes, se llegó a la conclusión de que un sistema de filtros centrífugos portables es efectivo para filtrar partículas contaminantes de aceite. El diseño propuesto en estas páginas utiliza componentes de acero inoxidable A316, una estructura metálica de acero ASTM A36, una bomba de engranajes de 0.5 gpm que trabaja con un motor eléctrico, además de accesorios de tuberías como acoples y tubos de acero inoxidable; también accesorios eléctricos para su correcto funcionamiento.

## **ABSTRACT**

The objective of this thesis is to design a cleaning system for diesel engine lubricating oil using centrifugal filters as a tool for cleaning used oil in vehicles equipped with diesel engines. The cleaning of used oil allows reducing the harmful effects of contamination in the lubrication system of Diesel engines, improving its efficiency, increasing useful life, reducing maintenance costs and favoring the protection of internal components and therefore the conservation and they had from the environment. Thus, the question arises: What would the design of a cleaning system for diesel engine oil using portable centrifugal filters look like?

In this thesis we propose a viable solution to the problem that arises in the oil of Diesel engines due to the presence of polluting elements that impair the operability and proper functioning of Diesel engines. This document is based on a systemic research method, while its type is correlational-descriptive, developing through a non-experimental research design.

The conceptual design is based on the German VDI 2221 standard to carry out the conceptualization and design development of the components and the machine. Through a tribological investigation, for the residue and contaminant filtration procedure, it was concluded that a portable centrifugal filter system is effective in filtering oil particles. The design proposed in these pages uses A316 stainless steel components, an ASTM A36 steel metallic structure, a 0.5 gpm gear pump that works with an electric motor, as well as pipe accessories such as couplings and stainless steel tubes; also electrical accessories for its correct operation.

## INTRODUCCIÓN

Toda máquina posee un sistema de lubricación que tiene un objetivo principal: mejorar la vida útil de los componentes y asegurar el correcto funcionamiento de los mismos. En el campo de los motores Diésel esto funciona por medio de una bomba de aceite que se encarga de bañar en el lubricante seleccionado a las superficies metálicas que habrán de friccionarse para que el sistema completo trabaje eficientemente.

Los lubricantes para vehículos de carga liviana y pesada tienen una vida útil de unos miles de horas, dependiendo de los fabricantes; esto debido a que durante su funcionamiento arrastran partículas diminutas debido al desgaste de los componentes. Es cierto que se utilizan filtros de aceite dentro de los automóviles para limitar el tránsito de estos contaminantes; sin embargo, siempre podremos encontrar partículas del tamaño de las micras que pasas desadvertidas y estas con el tiempo lograr acumularse disminuyendo la vida útil del lubricante.

La solución parece incluir filtros de pared más fina a lo largo del sistema de lubricación; sin embargo, agregar estos filtros resulta sumamente costoso ya que son frágiles y corren el riesgo de dañarse debido al movimiento y el calor generado dentro de un auto. Otra posibilidad podría ser realizar un filtrado a los lubricantes utilizados para extraer estas partículas; no obstante, no se cuenta con una máquina que pueda realizar tal tarea, por lo que llegamos a una conclusión: diseñar una máquina para cumplir tal objetivo.

Existen investigaciones previas que sugieren que se pueden aplicar ciertos fenómenos físicos para el filtrado del aceite: una de estas técnicas resulta ser el movimiento de las partículas por fuerzas centrífugas al aplicar un movimiento rotacional a un fluido, que en este caso podría ser el aceite de motores diésel. Por ello, es que se considera el objetivo de la presente tesis: diseñar de un sistema de limpieza para aceite de motores diésel mediante filtros centrífugos portables.

Para ello se considera evaluar mediante el fenómeno de flotabilidad la cantidad de fuerza necesaria para mover una partícula de tamaño menor a 20 micras hacia

las paredes del filtro centrífugo donde los contaminantes habrán de retenerse por medio de un filtro de papel. Esta propuesta se evaluará por medio del estudio físico de dicho fenómeno, la comprobación de los soportes de la estructura a partir de la deformación de la misma para maximizar la duración de los componentes mecánicos, además de una evaluación de consumo para seleccionar el motor correcto. Finalmente, se planteó evaluar la maniobrabilidad del sistema evaluando la distancia requerida para realizar ciertas maniobras como giros y avances.

La máquina a diseñar tuvo como principal objetivo realizar el filtrado de partículas menores a 20 micras; por lo que se plantearon diversas soluciones para cumplir con dicha tarea. Se seleccionó el fenómeno físico de la fuerza centrífuga para orientarlas hacia las paredes de un tambor de acero inoxidable donde habrán de impregnarse a un papel. Finalmente, el aceite filtrado será reingresado al sistema de lubricación del cual fue extraído.

Para observar el desarrollo de la investigación, se ha desarrollado bajo capítulos dispuestos por el esquema de tesis de la universidad Continental. De este modo, se muestran los capítulos que conforman el presente estudio: El capítulo I, denominado Planteamiento del estudio, explica el estado y la situación del problema observado, desmenuzando las razones para partir del método científico y formular problemas y objetivos de investigación; así mismo, este capítulo presenta la justificación del estudio de esta tesis. El capítulo II, titulado como Marco teórico, ubica elementos de origen teórico sobre las cuales se desarrolló la presente investigación. Aquí se plantean antecedentes con tesis similares o relacionadas, así como también teorías, bases científicas y definiciones que fundamentan la solución propuesta.

El capítulo III, lleva por nombre Metodología, donde se describen el tipo y nivel de investigación sobre la cual se está trabajando, así como la metodología de estudio y el desarrollo de la tesis. Se propusieron los cálculos de diseño de la hipótesis que se desarrollaron mediante fundamentos teóricos recogidos en el capítulo II. El capítulo IV; denominado Discusión de resultados, presenta un resumen de los puntos más representativos de la presente investigación. Este capítulo lo conforman comentarios, imágenes de simulación y medidas detalladas

de los componentes seleccionados a partir de los cálculos, catálogos y el desarrollo de la tesis.

Por último, las últimas páginas se conforman de las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos donde se pueden encontrar los objetivos iniciales desarrollados, ciertas recomendaciones que los autores lograron recoger a lo largo del estudio; asimismo, los autores y los libros revisados y finalmente, aquellas tablas y gráficos que fueron útiles para culminar con el estudio.

Los autores

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1 Planteamiento y formulación del problema**

#### **1.1.1 Planteamiento del problema**

El aceite en los motores diésel es uno de los fluidos con mayor exigencia y presencia de contaminantes dentro del vehículo, por tal motivo, juega un papel importante para preservar los componentes internos y asegurar el funcionamiento correcto durante su periodo de vida útil. Actualmente existen diversos métodos de filtrado para retener las partículas contaminantes del aceite, sin embargo, estos no ofrecen una alta eficiencia debido a que algunas partículas presentan tamaños muy reducidos donde los filtros convencionales no pueden realizar su trabajo de retención. Un elemento que sólo se encuentra en el aceite de motor generado por una combustión ineficiente es el hollín, siendo éste un indicador de la condición del aceite y un factor preponderante en su vida útil del lubricante. La presencia de este elemento reduce drásticamente las propiedades de los aditivos en el aceite, por tal motivo los fabricantes de motores diésel recomiendan su cambio en promedio de ciclos cortos.

Este problema puede observarse en muchos talleres de mantenimiento de motores diésel, por lo que se puede señalar que la fuente de esta observación es empírica, ya que los autores del presente proyecto se han encontrado con el mismo problema en diversos campos de trabajo. Se puede considerar entonces que la situación problemática sugiere la ausencia de una máquina que pueda filtrar partículas menores a 20 micras sin la necesidad de consumir elementos caros de

trabajo. Es posible, que la solución de este fenómeno se pueda resolver aplicando algún fenómeno mecánico para resolver el problema en cuestión.

Los fabricantes de motores diésel sugieren los siguiente:

**Tabla 1. Tabla de cambio de aceite para motores de equipos pesados y livianos**

Equipos	Cambio de aceite por horas de trabajo	Cambio de aceite por kilometraje
Motores en equipos pesados	250 horas	-
Motores en vehículos de transporte liviano	-	10 000 km

*Elaborada a partir de catálogos*

Actualmente los métodos de retención de partículas de hollín son limitados de tal modo que el parque automotor desconoce de sus características y beneficios.

En esta imagen se observa un motor que en sus componentes está adherido aceite contaminado, después de horas de trabajo.



**Figura 1. Lodo dentro de un motor**  
*Tomada de noticia web: “¿Por qué se forma lodo en un motor?”*

## 1.1.2 Formulación del problema

### 1.1.2.1 Problema general

¿Cómo sería el diseño de un sistema de limpieza para aceite de motores diésel mediante filtros centrífugos portables?

### **1.1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Cómo determinar los contaminantes presentes en los aceites para determinar la vida útil del aceite?
- ¿Cómo delimitar la cantidad de filtros centrífugos portables para mejorar la eficiencia del filtrado de aceite?
- ¿De qué manera se analizará la parte estructural del sistema de limpieza para aceite de motores diésel para filtros centrífugos portables?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Diseño de un sistema de limpieza para aceite de motores diésel mediante filtros centrífugos portables.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Determinar los contaminantes presentes en los aceites para determinar la vida útil del aceite.
- Delimitar la cantidad de filtros centrífugos portables para mejorar la eficiencia de filtrado de aceite.
- Analizar la parte estructural del sistema de limpieza para aceite de motores diésel para filtros centrífugos portables.

## **1.3 Justificación e importancia de la investigación**

### **1.3.1 Justificación teórica**

Los filtros centrífugos de aceite son capaces de filtrar las más pequeñas de las partículas de hollín que contenga el aceite debido a la mala combustión. Estos filtros son eficientes porque no altera la composición química de los aditivos que contiene el aceite, solo hace que se desprenda el hollín y la suciedad acumulada en el fluido.



El rotor que va al interior del filtro centrífugo de aceite gira por la presión del flujo de aceite que llega de la bomba de aceite. El giro del rotor depende de la viscosidad y temperatura del aceite, puede superar las 10.000 revoluciones por minuto, esto da como resultado que las impurezas en el aceite ejercen presión contra la pared exterior de la centrífuga, se comprimen y son absorbidas. De esta forma, los rotores centrífugos liberan las partículas pequeñas de aceite también partículas sólidas, abrasivas, polvo y partículas de hollín.

### **1.3.2 Justificación práctica**

Por ser un proyecto transportable y adaptable se puede usar en diferentes tipos de máquinas, equipos estacionarios, vehículos de transporte y carga que operen con motores diésel.

Así se pretende que este diseño ayude a optimizar los rendimientos de los aceites y a su vez prolongar la vida útil de los motores evitando fallas por problemas de contaminación en los lubricantes.

### **1.3.3 Importancia de la investigación**

Es importante el uso de un sistema de limpieza de aceite para motor, a través de esta evitamos que el motor diésel sufra daños al momento de usar los lubricantes contaminados, ya que la cantidad de suciedad quedará acumulada en los filtros centrífugos externos y así evitar paradas repentinas por el cambio de lubricante de motor.

En nuestra ciudad existen diferentes empresas dedicadas a la minería, construcción y transporte cuyos equipos trabajan con motores diésel y al usar un sistema para la limpieza de aceite de motor mediante filtros centrífugos portátiles estarían incrementando la vida útil de sus equipos.

### **1.4 Viabilidad de la investigación**

Este proyecto es viable ya que se cuenta con suficiente acceso a la información sobre filtros centrífugos como también a manuales de fabricante de diferentes marcas de motores diésel.

Por otra parte, el uso de software ayudará para poder validar los cálculos sobre el diseño de un sistema de limpieza de aceite de motor diésel mediante filtros centrífugos.

Por ser portátil se puede transportar a diferentes ambientes de trabajo como también su adaptabilidad para diferentes modelos de motores.

### **1.5 Limitaciones del estudio**

La limitación que pueda tener este proyecto tiene que ver con algunas simulaciones, ya que se tendrá que simular los componentes del sistema por separado, para la cantidad de aceite a filtrar solo se podrá contar en estudios ya realizados anteriormente.

### **1.6 Variables**

El estudio que se presenta utiliza dos variables, una dependiente y otra, independiente.

- ✓ Variable dependiente: filtros centrífugos portables
- ✓ Variable independiente: sistema de limpieza para aceite de motores diésel

#### **1.6.1 Filtros centrífugos portables**

Estos filtros por su capacidad de separar las partículas densas de los aceites son usados para alargar la vida útil del aceite, cuando el aceite ingresa a presión dentro del filtro está activa el giro de un rotor y que la fuerza centrífuga producida por el giro hace que las partículas sean enviadas contra la pared interna del filtro quedando atrapadas en ese lugar, estos filtros pueden trabajar en línea con el sistema de lubricación del vehículo, como también pueden trabajar fuera de con un motor eléctrico

**Tabla 2. Dimensiones e indicadores de la variable de filtros centrífugos portables**

Definición conceptual	Definición operacional
<p>Se trata de un tipo de barrera que impide que las partículas no deseadas sean separadas de un fluido. Esto se consigue por medio de un fenómeno de centrifugado donde dichas partículas son enviadas hacia las paredes de un contenedor. Este efecto puede separar líquidos de alta densidad de aquellos con menor densidad además de los sólidos considerados inicialmente.</p>	<p>Un filtro centrífugo consta de partes diferentes para las diferentes configuraciones existentes. Se considera evaluar el filtro a partir de: El nivel de retención de contaminantes, las condiciones de operación del motor, el estado del aceite del motor.</p>
Dimensiones	Indicadores
<p><b>Nivel de retención de contaminantes:</b> Equipo o diseño capaz de retener la mayor cantidad de contaminante durante el proceso de filtrado, disminuyendo así el porcentaje de contaminación y así poder alargar la vida útil del aceite.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % de contaminantes</li> <li>➤ ppm de contaminantes</li> <li>➤ Cantidad de contaminantes</li> </ul>
<p><b>Condiciones de operación del motor:</b> Esto indica que el motor para su correcta operación se deben cumplir ciertas condiciones como; el mantenimiento preventivo que se le haga, teniendo en cuenta la altitud donde va a operar el motor, puesto que esto influye en la combustión del motor y de la emisión de gases de escape.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Nivel de altura de operatividad del motor</li> <li>➤ Protección preventiva del motor</li> <li>➤ Reducción de emisiones de escape</li> </ul>
<p><b>Estado del aceite del motor:</b> el aceite de motor tiene varias funciones y según las horas de funcionamiento del motor, el aceite va perdiendo ciertas propiedades y el estado del aceite va cambiando ya sea disminución de volumen, variación de la viscosidad.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Volumen de aceite</li> <li>➤ Viscosidad del aceite</li> <li>➤ Temperatura de aceite</li> </ul>

### 1.6.2 Sistema de limpieza para aceite de motores diésel

Este sistema está compuesto por un filtro de aceite que está ubicado a la salida de la presión de la bomba de aceite, su función es evitar que las partículas de contaminantes dañen los componentes internos del motor; además, solo puede atrapar cierta cantidad de partículas y siempre deja pasar contaminantes como el hollín.

**Tabla 3. Dimensiones e indicadores de la variable: Sistema de limpieza para aceite de motores diésel**

Definición conceptual	Definición operacional
<p>Los sistemas de limpieza para aceite de motores diésel son accesorios, máquinas o aditamentos, que funcionan como una barrera para evitar que ciertos fluidos o sólidos indeseados lleguen al motor de una máquina. Estos sistemas utilizan diversos fenómenos físicos y químicos para trabajar, como por ejemplo el cernido de partículas, o ciertos aditamentos que solidifican algunos fluidos para que un siguiente filtro los retenga.</p>	<p>Un sistema de limpieza requiere de información de entrada y salida para determinar sus condiciones de trabajo, su tipo de filtrado, la calidad del filtrado: estos son: Efectividad del filtro de aceite, pureza del aceite, vida útil del aceite.</p>
Dimensiones	Indicadores
<p>Efectividad del filtro de aceite: Los filtros de aceite retienen una gran cantidad de contaminantes, pero su capacidad de retención se ve disminuida por partículas de menor tamaño las cuales dañan al motor.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Caudal de flujo de aceite</li> <li>➤ Reducido desgaste del motor</li> <li>➤ Presión de aceite</li> </ul>
<p>Pureza del aceite: Desde que el aceite ingresa al motor en estado puro, el funcionamiento del motor sufre alteraciones tanto en su composición física y química debido a que está sometido a diferentes cambios de temperatura como también cuando se mezcla con otros componentes propios de la combustión.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % de viscosidad del aceite</li> <li>➤ Índice de viscosidad de aceite</li> <li>➤ Color de aceite</li> </ul>
<p>Vida útil del aceite: Normalmente la vida útil del aceite se define en horas o kilómetros de trabajo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Costos de mantenimiento reducidos</li> <li>➤ Reducción de los aditivos</li> <li>➤ Tiempo de vida útil del aceite</li> </ul>

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

- Tesis titulada: “*Diseño de una máquina para el filtrado de aceite lubricante, contaminado*”. En este trabajo se realizó el diseño de un mecanismo de filtrado de aceite contaminado para las máquinas troqueladoras de tapa tipo corona, donde se intenta mejorar, modernizar el proceso de filtrado y el proveído de aceite Rando HD. Donde se plantea condiciones de diseño para el funcionamiento del sistema, se revisó el proceso actual de filtrado y recuperación de aceite lubricante. También, se realizó una inspección con porcentajes de rendimiento para ver la alternativa de diseño. Con el objetivo de seleccionar los elementos adecuados para la máquina de filtrado, se hizo el estudio con el Método de Elementos Finitos (MEF) con la ayuda del software NX, que se logró identificar los esfuerzos que está sometida la estructura de la máquina. Los cálculos conseguidos colaboraron a seleccionar el tipo de material, dimensiones, estructura, capacidad y sistema de retro limpieza; aspectos útiles para poder hacer, los manuales, planos de instalación, operación y mantenimiento, impacto ambiental y viabilidad financiera. Se revisó el proceso manual de filtrado y recolección de aceite lubricante, después de esto se proyectaron alternativas de diseño para el funcionamiento del sistema. Se concluye que dentro del proceso de simulado que se realizó a la estructura de la máquina de filtrado, la fuerza ejercida sobre la estructura en Newtons (326,95 N), se obtuvo como resultado un desplazamiento máximo de 0,010 mm y un esfuerzo Von mises promediado

de 15,22 Mpa, valor del límite de fluencia un tanto bajo por el material (acero A36) 250 Mpa, resultando con un factor de seguridad de 16,45. (1)

- Artículo científico titulado: *“Centrífugas montadas en equipos controlan contaminantes de los aceites lubricantes y reducen costos”*, los sistemas aplicados a equipos pesados de potencia requieren un control de los contaminantes en el aceite para asegurar un funcionamiento largo y confiable. Desde finales de la década de 1940, la centrífuga a presión (pressure-powered centrifuge, PPC) ha proporcionado una opción diferente frente a las tecnologías de barrera para separar los abrasivos de los lubricantes. El elemento de funcionamiento clave de la PPC es un recipiente lleno de aceite (turbina) que gira a velocidades que crean una fuerza de más de 2,500g, lo que permite capturar partículas menores a 0,2  $\mu\text{m}^2$ ; la gran área de superficie interna del recipiente significa que las cargas acumuladas de la suciedad pueden exceder fácilmente 1,250 gramos durante el servicio normal en las aplicaciones donde los filtros de barrera tradicionales experimentaron el bypass completo (e inseguro) del fluido a menos de 80 gramos de la carga de la suciedad. Estos rasgos operacionales de las PPC resultan en aumentos probados en la vida de los componentes y la extensión en los intervalos de servicio del aceite lubricante.

Se concluye que los filtros centrífugos además de atrapar desechos de desgaste, también separa los aditivos de aceite usado y los subproductos de la combustión; esto prolonga la vida útil del aceite reduciendo el volumen de superficies catalíticas químicamente activas, por otra parte se puso a prueba en un motor cat 793 que su cambio de aceite estándar es de 650 horas y al ser instalado un filtro centrífugo se amplió sus horas de vida del aceite llegando a las 1100 horas esto indica que los cambios de aceite se redujeron a un 69%. (2)

- Tesis titulada: *“Diseño y construcción de un prototipo de una planta para regenerar aceites usados con productos biodegradables”*. Para el presente trabajo se realizó una investigación en donde se analizó dos de las diferentes tecnologías de regeneración para los aceites usados de motor (regeneración de extracción por solventes y regeneración ácido arcilla y destilación atmosférica), además se identificaron los productos biodegradables que se pueden utilizar en

estos procesos. También se usó el programa de diseño SolidWorks para obtener un análisis de cada uno de los componentes utilizados en el diseño y poder determinar el más adecuado que cumpla los requerimientos de funcionalidad y seguridad, se eligió la tecnología ácido-arcilla en la cual se modificaron ciertos parámetros con el propósito de que se puedan introducir los productos biodegradables en el tratamiento del aceite usado. Los materiales con los cuales se construyeron los diferentes equipos que deben conformar la planta prototipo, los cuales son para cañerías el cobre, para tanques el aluminio, fueron elegidos después de haber realizado primero pruebas de esfuerzos a su diseño informático realizado en SolidWorks, comprobando de esta manera que estos materiales son los óptimos para el buen funcionamiento de la planta. Se concluye que el proceso de regeneración ácido-arcilla es una opción viable para añadir los productos biodegradables, de esta manera se propuso una opción de tratamiento de aceites más ecológica. (3)

- Tesis que lleva el nombre de: “*Estudio de la incidencia del uso de filtros de aceite alternos en el envejecimiento prematuro del aceite del motor de combustión interna*”. En la investigación establecen la importancia de utilizar filtros de aceite confiables a partir del tipo de motor que una máquina pueda utilizar. Esto debido a que, al hacer uso de un filtro de baja gama, podremos encontrarnos que el desgaste del motor en cuestión será mayor ya que la capacidad de dicho filtro no alcanza a filtrar partículas sólidas cuya medida resulta ser menor a las 40 micras. Los investigadores hallaron que un filtro de alta gama resulta ser 40% más eficiente que uno de baja gama, de manera que la importancia de un filtro que haga de barrera para partículas menores de 20 micras, resulta de gran importancia debido al desgaste adicional que puede causar si dichos residuos llegan a filtrarse hacia el motor. (4)
- Tesis titulada “*Determinación de la rutina de mantenimiento predictivo como resultado del análisis de muestras de aceite usado para un motor de combustión interna marca John Deere modelo 6081*”. La investigación se basa en un plan o guía de rutina de mantenimiento predictivo para una máquina John Deere modelo 6081 utilizando técnicas de análisis y resultados del lubricante usado. Asimismo, en la máquina John Deere modelo 6081, se indica la rutina de

mantenimiento y el lubricante a utilizar según el fabricante, la teoría de lubricación es necesaria para entender el distinto tipo de aditivos y propiedades que posee cada lubricante, esto con el fin poder realizar el análisis de aceite usado”, las características del lubricante utilizado es necesario para determinar las características del lubricante utilizado y sus ventajas en comparación con otros. (5)

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

- Tesis titulada: “*Diseño de un sistema de regeneración de los aceites lubricantes multigrado usados en automóviles livianos, para su reutilización en la región de Lambayeque*”, se determinó Los lubricantes multigrados que se generan en la región seleccionando el tipo de lubricante que tengan las propiedades que se requieren así mismo determinar que parámetros del proceso serán parte del sistema que reciba la adición del residuo que conformaran nuevamente el ciclo productivo para mejorar la calidad del aceite usado. El que cual se realizara eliminando los contaminantes adheridos en el aceite usado también extraer el aceite base que servirán para la fabricación de un aceite nuevo, haciendo posible en la región Lambayeque reducir la contaminación ambiental causada por residuos tóxicos eliminándolos de los lubricantes o de los aceites usados por el parque automotor de dicha región. Por ello se diseñó un sistema que regenere el aceite lubricante multigrado de vehículos que circulan en la región y transformarlos en un aceite nuevo, también hay procesos de filtrado como la filtración mi crónica, extracción con propano, refinado que son utilizados en plantas o máquinas para la regeneración de aceites usados. (7)
- Tesis titulada: “*Diseño de una planta de diálisis de 20 litros/hora para disminuir la presencia de sólidos en el aceite automotriz de vehículos livianos, Olmos*”. La investigación tiene como objetivo la reutilización de los lubricantes usados en los motores de combustión a través del diseño de una planta de tratamiento, que restaure las condiciones básicas del aceite para su uso en los motores de combustión interna de vehículos livianos. Al comienzo, se hizo la recolección de datos, con el propósito de contabilizar los aceites reutilizados en los talleres automotrices de la ciudad de Olmos y sus alrededores, donde se llega a conocer la forma de almacenamiento en recipientes de 20 litros, en siete talleres



automotrices, con un promedio mensual entre 200 y 300 litros de aceite de diferentes viscosidades. Se hizo el análisis de los aceites reciclados, un análisis físico químico en el cual se determinó el peso específico de las muestras, con un valor de gravedad específico de las muestras de aceite oscila entre 0.890 y 0.941 G/Cm<sup>3</sup>. En el análisis Espectrofotométrico, se evidenció la presencia de partículas de hierro, aluminio, silicio y boro las de mayor cantidad en las muestras analizadas. El desarrollo inicia con la “alimentación de aceite al estanque de proceso del deshidratador en vacío cuando el aceite alcanza el nivel máximo de 300 litros se enciende el calefactor el cual calienta el aceite a 50° C por una hora, evaporando el agua la cual es descargada por la bomba de vacío a la atmósfera, cumpliéndose la condición de T= 50°C y t= 1hora el calefactor se apaga y se acciona la bomba de descarga vaciando el aceite desde el deshidratador hacia el estanque de acumulación, cuando se termina de vaciar el deshidratador la bomba queda fuera de servicio y se reinicia el ciclo”. (8)

- Tesis titulada: *“Evaluación de la confiabilidad con el fin de extender la vida útil del lubricante en los motores de mixer durante su periodo de funcionamiento”*. El análisis de los lubricantes de los motores de diésel en este caso de maquinarias como el mixer constituye un medio importante que brinda información para las actividades del mantenimiento preventivo o correctivo mecánico inclusive para la reparación o sustitución de los mismos. En la presente Tesis se usaron datos referentes al tiempo, lo normal en intervalos de cambio de aceite son de 250 horas de trabajo en motores del mixer. Para ello, comparó los resultados de dos grupos de mixer. En el primer grupo se observó, que se realizaron los análisis de aceite periódicos y los cambios de aceite cada 186.5 horas, las pruebas revelaron el 18,30% de anomalías en los aceites lubricantes de los motores y el 63,60% en las de la transmisión. Mientras que en el segundo grupo se hacían los cambios cada 272 horas, se detectaron 70,00% de problemas en los aceites de los motores y el 100,00% en los de las transmisiones. Se concluye que la diferencia observada en el primer grupo se debió a la contaminación prematura de la carga de lubricante y el cambio anticipado proporcionó la protección del motor contra posibles averías que podrían ocurrir debido al mal estado del lubricante. En el segundo grupo, los lubricantes no fueron monitoreados por lo que el riesgo se hizo notorio para el funcionamiento de los motores ya que el

aceite se encontraba fuera de las características y condiciones de función debido a la cantidad de horas expuestas y recomendadas para su cambio.

- Trabajo de investigación titulado: *“Regeneración del aceite usado en los camiones Komatsu 930 ES, a través del sistema de micro filtrado para reducir costos en la Compañía Minera Antamina Huaraz-2020.”* El planteamiento dado es “Regenerar el aceite usado en los camiones Komatsu 930 ES, mediante un sistema de micro filtrado diseñado mediante filtros de alto micraje, su funcionamiento es de manera independiente y sin generar perjuicio a cualquier parte del motor asimismo para disminuir el costo en la compañía minera “Antamina Huaraz – 2020”. El tipo de Investigación fue aplicada y el diseño pre experimental. La población está constituida por 12 camiones, la muestra está constituida por los camiones Komatsu 930 ES que son los que ingresan al área de mantenimiento para hacer el cambio de aceite hidráulico cada 2500 horas de servicio. Se concluye que en la recuperación del aceite usado en las maquinarias Komatsu 930 ES, es viable usar el sistema de micro filtrado ya que aumenta las horas de cambio de 2500 a 3500 horas y a la vez disminuyen los costos en la compañía minera Antamina Huaraz-2020. (10)
- Tesis titulada: *“Implementación de un programa de lubricación para aumentar la disponibilidad de los scoops Caterpillar R1600G en la Compañía Minera Casapalca”*. En este trabajo de investigación se desarrolla un programa de lubricación en el que se implementa un plan par la flota de máquinas scoops Caterpillar R1600G con el objetivo de incrementar la disponibilidad. En esta se desarrolla prácticas de tipo mundial para el análisis y control de contaminación de los lubricantes, los modos de falla son considerados de mayor importancia en el desarrollo de las industrias: la inadecuada lubricación y la contaminación del lubricante. Asimismo, concluye que los elementos principales de contaminación que pueden encontrarse en los lubricantes para autos son metálicos provenientes del desgaste de los componentes debido a la fricción, óxidos que podrían provenir de los mismos componentes desgastados debido a la abrasión, e inclusive polvo proveniente del medio ambiente. Así como también, refrigerantes, moléculas de naturaleza proveniente de la degradación del lubricante. (11)

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Fundamentos teóricos**

#### **2.2.1.1. Teoría de lubricación**

Idealmente los componentes están separados por una película de lubricante permitiendo la separación de superficies. De este modo se reduce o elimina la fricción y desgaste. A continuación, se detallan las principales formas de lubricación:

- **Lubricación hidrodinámica.** Definida también como lubricación de película completa, es la separación de componentes mediante una película de aceite producida hidrodinámicamente; para lograr este tipo de lubricación se requiere un nivel de velocidad del componente y una presión de aceite generado externamente.
- **Lubricación elastohidrodinámica.** Principalmente generado en componentes rodantes donde la zona de contacto está dada en un punto para componentes esféricos y en una línea en componentes cilíndricos; en ambas situaciones la concentración de esfuerzo genera una deformación elástica mínima, dentro de ello se forma una separación de componentes mediante una película de aceite formando una lubricación Hidrodinámica. La zona de lubricación concentra una alta presión, llegando a formar la película de aceite en estado sólido por un mínimo instante, posterior a culminar el contacto el aceite vuelve a su estado líquido.
- **Lubricación límite.** El contacto directo entre superficies está presente en este tipo de lubricación debido a diversas condiciones, alguna de ellas relacionadas por la mala elección del tipo de viscosidad del aceite y degradación del mismo; por otra parte, el frecuente cambio de revoluciones del componente también genera una lubricación inadecuada.

#### **2.2.1.2. Aditivos de lubricantes**

**Antioxidantes e inhibidores de oxidación.** El oxígeno reacciona con el aceite, esto incrementa si se encuentra con altas temperaturas, acelerando la oxidación del aceite y cambiando sus propiedades físicas y químicas; todo esto causa el incremento de su viscosidad, acidez y densidad.

Estos aditivos ayudan a evitar la oxidación del aceite al reaccionar con los prooxidantes reactivos convirtiéndolos en subproductos estables.

A continuación, se indican los principales antioxidantes más utilizados:

- ✓ Fenoles.
- ✓ Ditiósfatos de zinc.
- ✓ Aminas aromáticas.
- ✓ Alquil sulfuros.

Inhibidores de corrosión. El contacto del agua con los componentes internos acelera la corrosión. La herrumbre se presenta como el resultado de la contaminación por el agua, para ellos los inhibidores como aditivos vienen a ser moléculas polares que forman una película protectora que retienen el proceso de herrumbre. A continuación de principales aditivos inhibidores:

- ✓ Sulfonatos.
- ✓ Fosfatos.
- ✓ Ácidos orgánicos, succiniamidas, ésteres y aminas.

Dispersantes y detergentes. Uno de los principales aditivos que se encargan de envolver el lodo y el hollín para evitar su acumulación en la superficie de los componentes son los dispersantes, estos aditivos son moléculas polares. Los depósitos que se generan como resultado de la combustión son removidos por los detergentes, estos también proporcionan la basicidad para neutralizar los ácidos resultados de la combustión y la degradación del aceite producto de la oxidación. Los aditivos más frecuentes para los detergentes y dispersantes son:

- ✓ Succiniamidas
- ✓ Sulfatos de bario y calcio
- ✓ Fenatos
- ✓ Detergentes poliméricos
- ✓ Compuestos de aminas

Aditivos antidesgaste y extrema presión. Para evitar las condiciones de "Lubricación Límite", estos aditivos se adhieren en las paredes de los componentes y de este modo evitan el contacto entre superficies. Los aditivos más comunes son los siguientes:

- ✓ Dialquil Ditiósfato de Zinc.

- ✓ Tricresil Fosfato.
- ✓ Azufre Fosfato.

### **2.2.1.3. Tipos de lubricantes**

- **Lubricantes minerales**

Los aceites minerales tienen en su estructura molecular entre 20 y 70 átomos aproximadamente de carbono, están constituidas por bases de lubricantes de tipos y características de calidad y viscosidad requeridas para el tipo de máquina o vehículo, estas propiedades se adquieren por la adición de aditivos para conferir propiedades y mejorar la calidad de las que ya tengan.

Los fabricantes de máquinas fijan su atención en el aceite mineral para referirse a un aceite sin aditivos. Los aceites presentan un 80 % de base mineral y un 20 % del paquete de aditivos. Para que un mecanismo motor trabaje con mayor eficiencia por extendidos periodos de tiempo los aditivos en los lubricantes responsables de un porcentaje mayor al 80% y la base en el lubricante del 20 %.

Las bases de los lubricantes son los que determinan las principales características del aceite, tales como: índice de viscosidad, resistencia a la oxidación, punto de inflamación y de fluidez. Los principales tipos de bases son las parafínicas, nafténicas y aromáticas. (12)

- **Lubricantes sintéticos**

Los lubricantes sintéticos son productos que comúnmente son utilizados como un tipo de materia prima para ciertos lubricantes que provienen del petróleo u otras sustancias químicas que mediante un balance óptimo adquieren propiedades lubricantes. Estos lubricantes son elaborados a partir de reacciones químicas entre diversos materiales que bajos pesos moleculares donde se obtienen nuevas sustancias de mayor peso molecular con dichas propiedades similares o superiores a los aceites derivados del petróleo.

Los aceites sintéticos lubricantes son elaborados por procedimientos químicos en las cuales los parámetros como la temperatura, la presión, y la relación de los compuestos es seleccionada con rigurosidad. El costo de este producto es el de la materia prima incluido el costo individual de cada proceso. La materia base mayormente es obtenida del petróleo por procesamiento térmico y del gas natural.

El etileno y sus compuestos derivados materiales básicos más utilizados en la elaboración de aceites sintéticos.

Los lubricantes sintéticos están preparados especialmente para proporcionar un mejor rendimiento cuando son sometidas a altas, así como a bajas temperaturas. Concretamente presentan mejores ventajas:

- Excelente arranque: los aceites comunes o convencionales en su composición presentan las llamadas ceras que dicho sea de paso estas dificultan el arranque en frío debido a que las ceras demoran unos segundos que vienen a ser tiempos expresados en segundos críticos, en derretirse los cuales provoca un arranque de mayor tiempo generando desgastes instantáneos lo cual se diferencian con los aceites sintéticos

Los aceites sintéticos están especialmente formulados por lo que al no contener ceras desaparece este problema. Esto significa mejor arranque y menores desgastes.

- Intervalos de cambio de aceite más largos: los aceites sintéticos son mucho mejores frente a los procesos de oxidación y pueden estar en servicio durante largos intervalos antes de su cambio.
- Motores más limpios: en los procesos de oxidación se producen lodos y depósitos que se quedan en el motor. Los lubricantes sintéticos tienen una mejor resistencia a los procesos disminuyendo en gran medida a la acumulación de lodos en el fondo de los depósitos, haciendo que el motor permanezca limpio y brinde un mejor rendimiento.

- **Lubricantes vegetales**

Los lubricantes vegetales o verdes son derivados de semillas vegetales sujetas a una producción agraria lo que permite concluir que su disponibilidad en el tiempo depende de fuentes renovables. Los aceites vegetales frente a los aceites minerales tienen la ventaja de ser biodegradables y no tóxicos, así como la de tener una lubricación mayor. Diversos países como Alemania, Francia, Italia, Estados Unidos, Canadá y Chile consumen este tipo de aceite; en su mayoría en motores de dos tiempos. Por ahora la tecnología para formular estos aceites es muy

compleja, por la misma razón que por más de un siglo la investigación estuvo centrada en los derivados del petróleo.

#### 2.2.1.4. Nomenclatura de los aceites para motor

Como recomendación, es posible tener en cuenta tres nomenclaturas a la hora de seleccionar un lubricante, estos pueden ser: Por servicio (API y ACEA) y por viscosidad (SAE).

- Clasificación SAE. La Society of Automotive Engineers, o también denominada SAE; agrupa a los lubricantes por su grado de viscosidad de acuerdo a ciertos parámetros establecidos por el mismo ente. Esta manera de clasificar permite observar mediante un escalonamiento y de manera sencilla la viscosidad de los lubricantes regidos por esta norma. Se representa el rango de viscosidad en centiStokes (cSt) y medida a una temperatura de 100°C, aunque también se toman parámetros por debajo de los cero grados centígrados. Esta clasificación no supone parámetros que pueden considerarse de calidad, composición química o inclusive aditivación, y que se trata de una clasificación que estudia netamente la viscosidad del fluido en diferentes grados referida a los aceites determinando las viscosidades de baja y altas temperaturas para motores SAE J 300 DIC.

**Tabla 4. Viscosidades de los aceites para motor SAE J 300 DIC. 99**

	Grado viscosidad SAE	°C C.C.S. Viscosidad cP Máx.	°C Bombeo viscosidad cP Máx.	Viscosidad dinámica cSt a 100 °C	HT/HS AT/AC Visc. cP a 150 °C
Viscosidad a baja temperatura	0W	6200 a -35	60000 a -40	3.8	-
	5W	6600 a -30	60000 a -35	3.8	-
	10W	7000 a -25	60000 a -30	4.1	-
	15W	7000 a -20	60000 a -25	5.6	-
	20W	9500 a -15	60000 a -20	5.6	-
	25W	13000 a -10	60000 a -15	9.3	-
Viscosidad a alta temperatura	20	-	-	5.6 a 9.3	2.6
	30	-	-	9.3 a 12.5	2.9
	40	-	-	12.5 a 16.3	2.9
	40	-	-	12.5 a 16.3	3.7
	50	-	-	16.3 a 21.9	3.7
	60	-	-	21.9 a 16.1	3.7

*Elaborada a partir de SAE J 300 (Widman International SRL, 2018).*

- Clasificación API: presentada por el American Petroleum Institute, la cual representa técnica y comercialmente a los elaboradores de productos provenientes del petróleo de los Estados Unidos. Se encuentra asociada con la SAE y la ASTM; quienes han realizado experimentos y ensayos que puedan ser comparados con usos de la vida real para determinar los parámetros de diversos lubricantes. Esta clasificación basa sus parámetros en el precedente de que cada tipo de motor es único y por ende requiere de ciertas características específicas en el lubricante que utiliza; por esto, esta normativa clasifica los lubricantes a partir de sus condiciones de servicio. Los tipos de servicio se agrupan por dos letras. La primera letra de esta composición puede tener la letra S cuando se recomienda ser utilizado en motores nafteros, como podrían ser autos de pasajeros o camiones de carga liviana, también denominados “service”. Mientras que la letra C, está destinada a encabezar a la composición de letras para lubricantes de uso comercial, agrícola, construcción o para toro terreno; ya que estos funcionan mediante combustible diésel “comercial”.

Para ambos casos, se especifica que la segunda letra, establece la exigencia de servicio a la cual puede ser sometida. Este nivel de exigencia inicia con la letra A, que se recomienda para aquellos lubricantes de menor exigencia, continuando en orden alfabético para las exigencias de mayor medida. Este tipo de normativa se conoce como una clasificación abierta, ya que los desempeños se van normatizando dependiendo a las nuevas tecnologías que otorgan nuevos tipos de lubricantes, así como las nuevas exigencias que nuevas máquinas requieren. Asimismo, esto también implica que existen lubricantes y exigencias que pueden quedar obsoletos debido a la mejora tecnológica.



**Tabla 5. Clasificación para motores de gasolina**

Categoría	Estado	Servicio
SN	Actual	Introducido en octubre de 2010, diseñado para proporcionar protección mejorada de depósitos a alta temperatura para pistones, control de lodos más estricto y compatibilidad de sellado. El API SN con conservación de recurso (Resource Conserving) coincide con el ILSAC GF-5 al combinar el rendimiento del API SN con una economía de combustible mejorada, protección de turbocompresor, compatibilidad del sistema de control de emisiones y protección de motores que funcionan con combustibles que contienen etanol hasta el E85.
SM	Actual	Para motores de automóviles de 2010 y anteriores.
SL	Actual	Para motores de automóviles de 2004 y anteriores.
SJ	Actual	Para motores de automóviles de 2001 y anteriores.
SH	Obsoleto	<b>PRECAUCIÓN:</b> No es apto para su uso en la mayoría de los motores de automóviles que funcionan con gasolina fabricados después de 1996. Es posible que no brinde protección adecuada contra la oxidación, el desgaste o la acumulación de lodos en el motor.
SG	Obsoleto	<b>PRECAUCIÓN:</b> No es apto para su uso en la mayoría de los motores de automóviles que funcionan con gasolina fabricados después de 1993. Es posible que no brinde protección adecuada contra la oxidación, el desgaste o la acumulación de lodos en el motor.

SF	Obsoleto	<b>PRECAUCIÓN:</b> No es apto para su uso en la mayoría de los motores de automóviles que funcionan con gasolina fabricados después de 1988. Es posible que no brinde protección adecuada contra la acumulación de lodos en el motor.
SE	Obsoleto	<b>PRECAUCIÓN:</b> No es apto para su uso en la mayoría de los motores de automóviles que funcionan con gasolina fabricados después de 1979.
SD	Obsoleto	<b>PRECAUCIÓN:</b> No es apto para su uso en la mayoría de los motores de automóviles que funcionan con gasolina fabricados después de 1971. El uso en motores más modernos puede causar un rendimiento insatisfactorio o daños en el equipo.
SC	Obsoleto	<b>PRECAUCIÓN:</b> No es apto para su uso en la mayoría de los motores de automóviles que funcionan con gasolina fabricados después de 1967. El uso en motores más modernos puede causar un rendimiento insatisfactorio o daños en el equipo.
SB	Obsoleto	<b>PRECAUCIÓN:</b> No es apto para su uso en la mayoría de los motores de automóviles que funcionan con gasolina fabricados después de 1951. El uso en motores más modernos puede causar un rendimiento insatisfactorio o daños en el equipo.
SA	Obsoleto	<b>PRECAUCIÓN:</b> No contiene aditivos. No es apto para su uso en la mayoría de los motores de automóviles que funcionan con gasolina fabricados después de 1930. El uso en motores modernos puede causar un rendimiento insatisfactorio o daños en el equipo.

**Elaborada a partir de la categoría de aceites API. (API, 2020)**

**Tabla 6. Clasificación de aceites para motores diésel**

Categoría	Estado	Servicio
CK-4	Actual	<p>La categoría de servicio del API CK-4 describe los aceites para su uso en motores diésel de alta velocidad y de ciclo de cuatro tiempos diseñados para cumplir con los estándares de emisiones de escape en carretera del modelo 2017 y de nivel 4 fuera de carretera, así como para motores diésel del modelo del año anterior. Estos aceites están formulados para su uso en todas las aplicaciones con combustibles diésel que varían en contenido de azufre hasta 500 ppm (0,05 % en peso). Sin embargo, el uso de estos aceites con más de 15 ppm (0,0015 % en peso) de combustible de azufre puede afectar la durabilidad del sistema de postratamiento del escape o el intervalo de drenaje del aceite. Estos aceites son especialmente efectivos para mantener la durabilidad del sistema de control de emisiones cuando se utilizan filtros de partículas y otros sistemas avanzados de postratamiento. Los aceites API CK-4 están diseñados para proporcionar protección mejorada contra la oxidación del aceite, la pérdida de viscosidad debido al cizallamiento y la aireación del aceite, además de protección contra el envenenamiento del catalizador, el bloqueo del filtro de partículas, el desgaste del motor, los depósitos del pistón, la degradación de las propiedades por baja o alta temperatura, y el aumento de la viscosidad relacionada con el hollín. Los aceites API CK-4 exceden los criterios de rendimiento de los aceites API CJ-4, CI-4 con CI-4 PLUS, CI-4 y CH-4, y pueden lubricar de manera efectiva los motores que requieren esas categorías de servicio del API. Cuando use aceite CK-4 con combustible de azufre superior a 15 ppm, consulte al fabricante del motor para obtener recomendaciones sobre los intervalos del servicio.</p>
CJ-4	Actual	<p>Para motores diésel de alta velocidad y de ciclo de cuatro tiempos diseñados para cumplir con los estándares de emisiones de escape en carretera del modelo 2010 y del nivel 4 fuera de carretera, así como para motores diésel del modelo del año anterior. Estos aceites están formulados para su uso en todas las aplicaciones con combustibles diésel que varían en contenido de azufre hasta 500 ppm (0,05 % en peso). Sin embargo, el uso de estos aceites con más de 15 ppm (0,0015 % en peso) de combustible de azufre puede afectar la durabilidad del sistema de postratamiento del escape o el intervalo de drenaje del aceite. Los aceites API CJ-4 exceden los criterios de rendimiento de los aceites API CI-4 con CI-4 PLUS, CI-4, CH-4, CG-4 y CF-4, y pueden lubricar de manera efectiva los motores que requieren esas categorías de servicio del API. Cuando use aceite CJ-4 con combustible de azufre superior a 15 ppm, consulte al fabricante del motor para obtener recomendaciones sobre los intervalos del servicio.</p>
CI-4	Actual	<p>Introducido en 2002. Para motores de alta velocidad y de ciclo de cuatro tiempos diseñados para cumplir con los estándares de emisiones de escape de 2004 implementados en 2002. Los aceites CI-4 están formulados para mantener la durabilidad del motor donde se usa la recirculación de gases de escape (EGR) y están destinados para usarse con combustibles diésel que varían en contenido de azufre hasta 0,5 % en peso. Se pueden usar en lugar de los aceites CD, CE, CF-4, CG-4 y CH-4. Algunos aceites CI-4 también pueden calificar para la designación CI-4 PLUS.</p>
CH-4	Actual	<p>Introducido en 1998. Para motores de alta velocidad y de ciclo de cuatro tiempos diseñados para cumplir con los estándares de emisiones de escape de 1998. Los aceites CH-4 están compuestos específicamente para su uso con combustibles diésel que varían en contenido de azufre hasta 0,5 % en peso. Se pueden usar en lugar de aceites CD, CE, CF-4 y CG-4.</p>

CJ-4	Actual	Para motores diésel de alta velocidad y de ciclo de cuatro tiempos diseñados para cumplir con los estándares de emisiones de escape en carretera del modelo 2010 y del nivel 4 fuera de carretera, así como para motores diésel del modelo del año anterior. Estos aceites están formulados para su uso en todas las aplicaciones con combustibles diésel que varían en contenido de azufre hasta 500 ppm (0,05 % en peso). Sin embargo, el uso de estos aceites con más de 15 ppm (0,0015 % en peso) de combustible de azufre puede afectar la durabilidad del sistema de postratamiento del escape o el intervalo de drenaje del aceite. Los aceites API CJ-4 exceden los criterios de rendimiento de los aceites API CI-4 con CI-4 PLUS, CI-4, CH-4, CG-4 y CF-4, y pueden lubricar de manera efectiva los motores que requieren esas categorías de servicio del API. Cuando use aceite CJ-4 con combustible de azufre superior a 15 ppm, consulte al fabricante del motor para obtener recomendaciones sobre los intervalos del servicio.
CI-4	Actual	Introducido en 2002. Para motores de alta velocidad y de ciclo de cuatro tiempos diseñados para cumplir con los estándares de emisiones de escape de 2004 implementados en 2002. Los aceites CI-4 están formulados para mantener la durabilidad del motor donde se usa la recirculación de gases de escape (EGR) y están destinados para usarse con combustibles diésel que varían en contenido de azufre hasta 0,5 % en peso. Se pueden usar en lugar de los aceites CD, CE, CF-4, CG-4 y CH-4. Algunos aceites CI-4 también pueden calificar para la designación CI-4 PLUS.
CH-4	Actual	Introducido en 1998. Para motores de alta velocidad y de ciclo de cuatro tiempos diseñados para cumplir con los estándares de emisiones de escape de 1998. Los aceites CH-4 están compuestos específicamente para su uso con combustibles diésel que varían en contenido de azufre hasta 0,5 % en peso. Se pueden usar en lugar de aceites CD, CE, CF-4 y CG-4.
CC	Obsoleto	<b>PRECAUCIÓN:</b> No es apto para su uso en la mayoría de los motores diésel fabricados después de 1990.
CB	Obsoleto	<b>PRECAUCIÓN:</b> No es apto para su uso en la mayoría de los motores diésel fabricados después de 1961.
CA	Obsoleto	<b>PRECAUCIÓN:</b> No es apto para su uso en la mayoría de los motores diésel fabricados después de 1959.

***Elaborada a partir de la clasificación de aceites API. (API, 2020)***

### **2.2.1.5. Contaminantes del aceite**

Según Troyer y Fitch (12), “la contaminación es el enemigo más importante de los sistemas hidráulicos y mecánicos lubricados. Se introduce desde la atmósfera o se genera en el interior, privando al lubricante y componentes de su preciosa vida. La contaminación, por definición, es cualquier cosa que está en el aceite y que no debería estar ahí”. Seguidamente, se presentan los contaminantes más comunes del aceite.

- **Contaminación por hollín**

El hollín es un subproducto natural de la combustión. En el proceso e cambio de aceite en el vehículo ocurre que el tiempo es prolongado y adicionado con una mala combustión provocan la acumulación del Hollín en la cabeza del embolo que genera efectos dañinos en el motor. Según las normas EPA se utiliza la válvula EGR de recirculación de gases de escape para contrarrestar las emisiones de óxidos nitrosos (NOX) que al tiempo pueden incrementar la carga de hollín el los aceites.

El hollín depositado en zonas críticas de los componentes se introduce al lubricante por la fuga de gases producto de la combustión y es provocado por:

- ✓ Compresión baja: produce mala combustión, incrementa la tasa que genera el hollín.
- ✓ Relación aire/ combustible: el filtro de aire obstruido o sucio con partículas de polvo alojadas en sus componentes.
- ✓ Aire frío
- ✓ Sobrecarga provocada
- ✓ Marcha en vacío con excesos

Su efecto en el aceite:

- ✓ Pérdida de dispersancia. las moléculas dispersantes de los aditivos, el desempeño de dispersancia se produce por efecto del excesivo hollín por sobrecarga acelerando el desgaste interno y hollín acumulado tipo rocoso en las partes críticas.
- ✓ Pérdida de desempeño antidesgaste. Las moléculas de aditivo anti-desgaste son absorbidas por las superficies del hollín dejándolas imposibilitadas para proteger los componentes de la máquina.

- **Contaminación por tierra:**

Una de las causas principales en la determinación de la vida útil de un lubricante es determinar la contaminación por tierra, los filtros deben limpiar el lubricante de todas las particulados existentes de polvo o tierra que son dañinas y a lo largo se acumulan en las partes internas o en zonas críticas den forma de barro espeso y por incremento de la temperatura del motor se van endureciendo y adhiriéndose en las paredes de la culata o también en le cárter del motor

del mismo. El filtro tiene un tiempo de vida útil, pasado ello ya no muestra garantía de filtrado, pero ello reduce la fuerza del motor, falta ingreso de oxígeno.

En un estudio hecho en Southwest Research Laboratory en los EE.UU. se muestra el efecto del desgaste en un motor de combustión debido al ingreso de polvillo por los conductos a la entrada de aire, este desgaste del hierro de color verde y el cromo de color rojo incrementan el desgaste porque el lubricante ya esta contaminado con las partículas polvo que contaminan el lubricante en la prueba también se demuestra que al aumentar el polvillo, el desgaste se incrementa inmediatamente, cuanto mayor es la acumulación de polvo mayor será el desgaste de partes internas.

La tierra también ingresa al aceite por otros medios:

El polvo o tierra ingresa cuando el filtro no es el adecuado o los sellos se resecan por tiempo extenso en su uso, también porque los ellos no coinciden en sus distancias o diámetros correspondientes.

A veces la empaquetadura de la porta filtros está mal colocada, permitiendo que el polvo o la tierra ingrese, por un lado. También entra por las conexiones hacia el porta filtros y el carburador o el múltiple. Estas conexiones se resecan ya sea por el tiempo o porque también el motor se somete a lavados con agua caliente.

A veces, ingresa polvo por la manguera de respiración. En algunos casos dicha manguera tiene un desfogue hacia el exterior y se encuentra alojada hacia las ruedas del vehículo lo que hace que pueda respirar el polvo o la tierra del suelo y este polvo llegue al filtro de aire.

Algunas veces antes de ingresar el aceite al motor esta se contamina con polvo del ambiente. En ocasiones este aceite al estar expuesto al aire se contamina debido a que una de las propiedades del aceite es la polaridad magnética que atrae al polvo y se aloja en la capa externa.

- **Contaminación por agua:**

Es común encontrar partículas de agua en los lubricantes, ya que fácilmente se pueden colar hacia el sistema de lubricación debido a la exposición del medio

ambiente, lo que lo convierte en el agente más contaminante con respecto a los aceites utilizados en la lubricación, ya que puede tener efectos mucho más dañinos que las partículas sólidas filtradas en el aceite puesto que algunos aditivos pueden ser solubles al agua, lo que destruye sus propiedades de lubricación. Asimismo, el agua puede funcionar como catalizadores de óxidos, ácidos e incluso otras sustancias que pueden dañar los componentes del equipo. El agua puede filtrarse a través de sellos mal instalados o dañados, a través del aire, condensándose a partir sobre algunos puntos al momento de que la máquina deja de trabajar, o incluso como un producto secundario de la combustión de algunos tipos de hidrocarburos. Es así como se puede encontrar las moléculas de agua en formas de: libre, disuelta o emulsionada. Cuando las moléculas de agua se encuentran disueltas en el lubricante, son casi imposibles de ubicar, por lo que no es raro encontrar de entre un 0,02 % y 0,06 % de proporción de agua en los aceites (200 – 600 ppm), números que dependen de la temperatura de los mismos. Los lubricantes usados pueden tener hasta cuatro veces esta cantidad. Cuando un lubricante se satura, que sucede al momento de que éste deja de poder disolver las moléculas de agua (cuando existe mayor cantidad de la que puede disolver), se dice que el lubricante está emulsionado, o que tiene un aspecto neblinoso.

De progresar el aumento de cantidad de moléculas de agua dentro del lubricante, los fluidos se separarán en dos fases, lo que provocará que se genere una capa de agua por debajo del aceite formando un nivel de agua emulsificada. Por lo que, al limpiar los depósitos de lubricante, es recomendable revisar el fondo de los mismos en búsqueda de este fenómeno. El agua emulsificada, en conjunto con el agua libre, son las fases que mayor peligro acarrea para los sistemas de lubricación.

Uno de los problemas que conlleva encontrar agua dentro del lubricante es que se dificulta la formación de la capa destinada a lubricar los componentes. Ya que el agua posee la propiedad de ser incompresible, desplaza el aceite cuando las superficies inician su movimiento y se deslizan una sobre otra. La proporción en la que al agua puede dañar un componente es muy alta, ya que un cojinete puede perder su vida útil en un 90% si tan solo un 1% de agua se encuentra en su lubricante.

- **Contaminación por anticongelante**

Para determinar la presencia de anticongelantes es necesario realizar pruebas químicas mediante reacción química sobre muestras de aceite. Un agente anticongelante común que se puede encontrar en los aceites es el glicol, acelerando la oxidación acelerada del aceite. Un lubricante oxidado se torna pegajoso y forma un sedimento que se adhiere a los filtros. La presencia de glicol en el aceite, generalmente indica: una fuga en el sistema de enfriamiento.

- **Contaminación por combustible**

El combustible al contaminar el aceite hace que el lubricante pierda sus propiedades y su capacidad para impedir la fricción o el contacto de metal a metal y puede causar al desgote prematuro de los cojinetes y agarrotamiento del pistón. Una dilución mayor a 4 % es considerada de riesgo para el motor

La dilución de combustible es resultado de:

- ✓ El resultado de trabajo en vacío del motor por un período extendido.
- ✓ Falla del sistema de combustible: inyectores, bombas o tuberías.

- **Contaminación por combustión**

- ✓ Oxidación:

Este proceso sucede al momento en que las moléculas de oxígeno se juntan químicamente con las moléculas del lubricante. Así, el aceite se termina por espesar al formar ácidos orgánicos que se pegan a los filtros y a pequeños pasos como en los anillos, donde se forma ciertas incrustaciones y barnizados de sedimento.

Esta reacción química se acelera debido a:

- ✓ Los agentes de oxidación en los gases de combustión
- ✓ Altas temperaturas
- ✓ Presencia de cobre o glicol como agentes catalizadores
- ✓ Exposición al aire o ingreso de aire al compartimiento
- ✓ Intervalos prolongados de cambio de aceite

En motores Diésel valores mayores al 50% (0.15 Unidades Absorción) de la mano con desgaste de metales (Fe, Cu, Al, etc.) fuera del límite indican que se debe. Si la oxidación alcanza y/o supera el 100% 0.30 (unidades Absorción) el aceite debe ser reemplazado. Si la oxidación es mayor que la nitración, la causa más probable será el sobrecalentamiento o elevado factor de carga en el motor.

✓ Nitración:

Este fenómeno es bastante común ya que se puede evidenciar en prácticamente todos los motores, aunque es más notorio dentro de aquellos que se suministran por gas natural. Se trata de depósitos pesados que se pueden formar en los pistones o obstruyendo el filtro e incluso como barnices de sedimento en las válvulas.

Este proceso es producido por:

- Los compuestos del nitrógeno, provenientes del proceso de combustión.

✓ Sulfatación:

El azufre es un compuesto que está presente en casi todos los combustibles, por lo que su control resulta importante ya que puede dañar muchos componentes de la máquina. Durante el proceso de combustión, el azufre presente en los combustibles puede combinarse con el agua proveniente de la humedad del aire que dan paso a ácidos. Estos ácidos corroen las piezas sobre las que se impregnan, por lo que es de suma importancia revisar las válvulas, los anillos del pistón y las camisas ya que su daño es más notorio sobre estas partes.

Existen aditivos en los lubricantes que cumplen con la función de neutralizar la formación de ciertos ácidos en la combustión del motor. El TBN es un indicador de este tipo de aditivos, pudiendo tratarse de Ácido clorhídrico, su cantidad necesaria se representa en miligramos por gramo de aceite.

La contaminación por partículas se produce a la entrada de las partes que deben estar restringida en aquellos puntos en donde pueden ingresar. Para alcanzar los objetivos de control de contaminación por partículas las máquinas requieren un sistema de filtración.



Existe una gran cantidad disponible de medias filtrantes y mecanismos de separación para la remoción de partículas. El desempeño de estos dispositivos generalmente es evaluado de acuerdo a los siguientes criterios de desempeño:

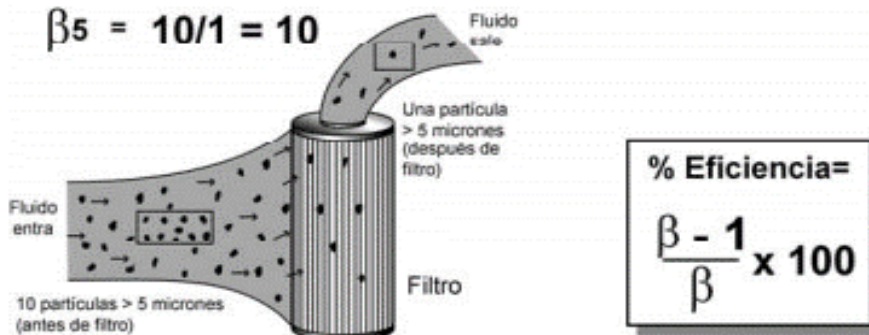
Estabilidad del filtro - se verifica a través de un tiempo, que tan estables permanecen. Un desempeño inestable del filtro equivale a un control de contaminación no confiable. Hay varios factores que influyen en la estabilidad del filtro, entre ellos la temperatura, arranques en frío, variaciones debido a la presión y vibración mecánica. El tamaño el diseño y construcción son factores que influyen en su estabilidad.

#### **2.2.1.6. Capacidad del filtro**

La cantidad de contaminante que el filtro puede remover, generalmente en la cantidad de gramos.

Eficiencia del filtro. La remoción de la cantidad de granos influye en la eficiencia del filtro. Esta es información importante para evaluar la capacidad del filtro y conocer si puede cumplir con los requerimientos de nivel de limpieza de la máquina con la finalidad de determinar el desempeño de los filtros. También se puede valorar el costo total que implica filtrar el aceite es muy necesario. Hay varias pruebas para medir cuan eficiente es el desempeño de los filtros, la más común es la Prueba Multipaso de acuerdo al estándar ISO 16889. La relación entre el número de partículas mayores que  $x$  micrones antes del filtro y la relación del número de partículas mayores que  $x$  micrones después del filtro se muestran en el factor  $\beta_x$ .

$$\beta_x = \frac{\text{No. de partículas mayores que X micrones antes de filtro}}{\text{No. de partículas mayores que X micrones después de filtro}}$$



**Figura 2. Prueba de Multipaso ISO 16889  
Tomada de ISO 16889:2008. (ISO, 2008)**

### 2.2.1.7. Opciones de separación de partículas

A continuación, se muestran las técnicas disponibles para la remoción de partículas del aceite:

- Filtros de media filtrante de fibra de celulosa. Tienen una configuración de cartucho o enrosables, estos están fabricados con papeles plisados resistentes en formas de cartuchos, especialmente sirven para filtrar y removerse partículas grandes son efectivos para partículas de mayor tamaño. pero con frecuencia fallan en la remoción de partículas pequeñas. El papel faltante está sujeto a daños por altas temperaturas del agua.
- Filtros de media filtrante de microfibras de vidrio. Los filtros con media filtrante de microfibras de vidrio son superiores en nivel filtrante a los filtros de fibra de celulosa por ser de menor dimensionado del diámetro, mayor densidad de poro y de porosidad de menor diámetro. Estos filtros pueden remover partículas de sedimentos de mayor densidad y también partículas pequeñas separándolas fácilmente.
- Separadores centrífugos. Las partículas grandes pueden separarse fácilmente el revolucionar el aceite en el interior del filtro. La remoción de partículas grandes se hace por medio de, los separadores estos muestran un buen desempeño. Su función disminuye cuando las pequeñas partículas no son filtradas

adecuadamente, o cuando la densidad del aceite es alta y no permite un filtrado de las partículas pequeñas.

- Separadores electrostáticos. Las partículas contaminantes son capturadas por precipitación electrostática. Las partículas cargadas positivamente son atraídas a la placa de separación mediante una carga opuesta. “Los separadores electrostáticos ofrecen excelente desempeño en la remoción de partículas del tamaño de los sedimentos y suspensiones insolubles de óxidos y polímeros de carbono que conducen a la formación de barniz en la superficie de los componentes”. Sus propiedades dieléctricas se degradan por la presencia de los vapores de agua almacenados en las paredes de los separadores.

#### **2.2.1.8. Motores diésel**

El funcionamiento de un motor Diesel funciona a partir de un proceso que toma cuatro tiempos completarse para reiniciarse una y otra vez.

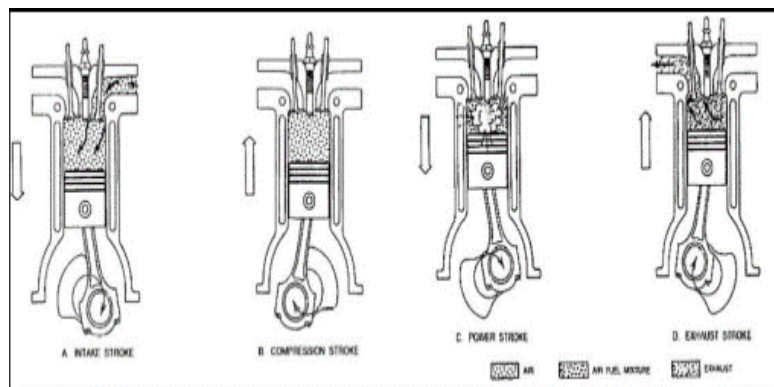
1er tiempo, denominado como Admisión, es el momento en que el pistón alcanza el punto más alto de su trayectoria (PMS), donde la válvula de admisión es abierta y permite que el pistón respire aire fresco.

2º tiempo, denominado como Compresión, es el instante en el pistón se encuentra en el punto más bajo de su trayectoria (PMI), aquí la válvula de admisión se cierra para iniciar el movimiento donde el pistón comprime el aire volviendo a llegar a su punto más alto.

3er tiempo, denominado como Expansión, sucede cuando la mezcla se ha comprimido, el inyector ingresa una cantidad de combustible dentro del cilindro para que pueda suceder la explosión por lo que la presión en el cilindro aumenta y éste desciende. Aquí es donde se convierte la energía química proveniente del combustible en energía mecánica.

4º tiempo, denominado Escape. Ocurre cuando el pistón reinicia su trayecto desde el punto más bajo hacia el punto más alto, al mismo tiempo que abre el escape, por lo que los gases quemados se dirigen hacia el exterior. Al momento de llegar al punto más alto, la válvula de escape se cierra.

El diseño del motor diésel ha resultado ser uno de los modelos más eficientes en las últimas décadas, ya que incluso supera el rendimiento del ciclo Otto. Esta eficiencia se logra al aprovechar los movimientos de los pistones para realizar diversas tareas mientras los demás se encuentran trabajando, logrando así una combinación de procesos simultáneos que aprovechan al máximo el trabajo extraído del combustible. Por otro lado, la velocidad máxima que puede producir el motor es limitada ya que para que la explosión suceda es necesario un volumen de aire mínimo dependiente del tamaño del motor. (14)



**Figura 3. Principios de ciclo diésel de 4 tiempos**  
**Tomada de Motores de combustión interna (Albert Martínez Villegas, 2007)**

- Proceso de la combustión

Martínez (14) especifica que la combustión del combustible de un motor diésel corresponde a una reacción termoquímica rápida que ocurre entre dicho combustible y el oxígeno que se encuentra dentro del aire que el pistón respira. Teóricamente se forma  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , como subproductos de esta combustión, además del desprendimiento del calor debido a la reacción exotérmica que sucede. Este proceso se forma de manera eficiente cuando el combustible se ingresa de en estado gaseoso para que pueda mezclarse con el aire, consiguiendo así una reacción más efectiva. Ya que es imposible pulverizar todo el combustible, y el aire no se conforma totalmente de oxígeno, es posible que se formen compuestos totalmente extraños a los propuestos por la teoría. Esto significa que una parte de las emisiones se compondrán de reactivos contaminantes, además de la notoria pérdida de energía a causa de los mismos y del calor que se genera.

El proceso de combustión es sumamente corto, ya que ocurre en unas cuantas decenas de milisegundos. Este periodo normalmente sucede cuando el giro del cigüeñal alcanza entre los 40° y 50° de giro, es decir en torno a 20° - 30° DPMS y en torno a 20° APMS. Como ejemplo, teóricamente, si un motor funciona a 1500 rpm, el tiempo disponible para que el proceso de combustión suceda será de:

$$50^\circ (1 \text{ min}/1500 \text{ rpm}) * (1 \text{ rpm} /360^\circ) * (60 \text{ seg}/1 \text{ min}) = 5.6 \text{ ms}$$

Existen ciertos parámetros necesarios que se tienen que cumplir para que ocurra un eficiente y completo proceso de combustión:

- ✓ Es necesario llevar al combustible de su estado líquido a un estado gaseoso. Esto ya que mientras mejor resulte la mezcla del aire con el combustible, se podrá obtener una mejor combustión.
- ✓ Lograr que en la primera zona el aire y el combustible se encuentren íntimamente mezclados en un estado gaseoso para pasar a la segunda zona, donde se forme una mezcla más heterogénea a partir de la mezcla, la cual ha pasado del instante de ignición a combustión, por lo que es posible encontrar una mezcla menos homogénea con el aire.
- ✓ Conseguir que la mayor cantidad de gotas de combustible se encuentre mezclado con el aire en moléculas pequeñas; ya que, de gotas de gran tamaño de combustible, éstos no podrían alcanzar la temperatura adecuada para encenderse y por lo tanto el combustible solo podría quemarse parcialmente; creando partículas de hollín o carboncillo.

- Centrifugación

La separación de partes de una mezcla, comúnmente de un sólido y un líquido que se encuentran combinados en un mismo contenedor, se basa en la teoría de la sedimentación. Esta teoría nos permite estudiar y consultar los posibles comportamientos del fenómeno de la fuerza centrífuga y cómo esta podría funcionar para diseñar una máquina que aproveche dicho fenómeno. El desplazamiento de una partícula dentro de un fluido por medio de este efecto físico puede ser debido a la fuerza de gravedad o incluso gracias a una fuerza centrífuga

artificial. Para esto, se puede expresar la velocidad de sedimentación para una partícula encontrada en un fluido mediante la ecuación:

Velocidad de sedimentación de la partícula:

$$V_s = \frac{2r^2g(\delta p - \delta f)}{9\eta}$$

Si se considera que una partícula diminuta es esférica. Número de Reynolds < 1 y tiene bajas concentraciones de la misma dentro del fluido. La velocidad de sedimentación de la partícula en centrífugas esféricas:

$$\frac{dr}{dt} : vc : \frac{(\delta p - \delta f)}{18\mu} \delta p^2 \omega^2 r$$

$$z : \frac{\omega^2 r}{g} = \frac{vc}{vg}$$

Fuerza relativa de la centrífuga o número de g o efecto centrífugo

$$z : \frac{\omega^2 r}{g} = \frac{\eta_{rpm}^2 r}{900}$$

En esta última aproximación debe expresarse en metros.

Este parámetro Z que se utiliza para calcular la centrífuga, no posee un valor preciso para calcular la capacidad de la misma. Para entender qué capacidad de máquina centrífuga se puede utilizar, es necesario observar que existe un caso posible, con un flujo posible, para cada uno de los supuestos; tal como sucede si se utiliza centrífugas de discos, o si la geometría es tubular, que la hace matemáticamente más compleja. De ser así, se calcula el caudal Q mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V_g 2\pi n (R_0^2 - R_1^2) \omega^2 \cot\theta}{3g} = V_g \Sigma$$

El flujo de dado en la ecuación se establece mediante las propiedades del líquido en  $V_g$ , así como en las propiedades de la máquina y los parámetros de la misma. Al estudiar la configuración de la centrífuga, es posible encontrarse con el área de contacto sobre la que el fluido hará esfuerzo, este valor es un dato constante importante ya que la fuerza centrífuga hará punto sobre esta superficie haciendo que la velocidad angular aumente o disminuya tanto como las dimensiones propuestas.

#### **2.2.1.9. Fuerzas que intervienen en el proceso**

- Fuerza centrífuga.

Se trata de la fuerza que intenta llevar ciertos objetos fuera del centro de rotación de un giro mediante un esfuerzo tangencial, otorgándole a dicho cuerpo una velocidad tangencial cuyo vector es perpendicular al radio del giro imaginario que se forma en el movimiento circular. Es conocida por ser una fuerza ficticia que aparece al momento en el que un cuerpo inicia un movimiento circular ya que solo existe al describir un sistema de rotación con un punto medio donde el cuerpo pueda hacer referencia.

Si analizamos el origen de la fuerza centrífuga, nace al momento en que un objeto entra en movimiento circular partiendo desde un sistema no inercial de referencia, al acelerar o no, ya que también puede encontrarse en un movimiento circular uniforme. Esta fuerza resulta ser el resultado de multiplicar la masa por la aceleración centrífuga, valores que pueden encontrarse dentro de un sistema no inercial sobre el que se hace referencia.

En el caso en que se haga girar un fluido, la fuerza centrífuga nace a partir de la alta velocidad tangencial que puede alcanzar dicho fluido dentro del sistema, que comúnmente sucede en un cilindro o cámara que gira a partir de un motor o la fuerza del mismo fluido al salir, incluso al generar un vórtice por el cual el fluido pueda aprovechar su propia energía para mover el tanque donde se encuentra.

Para alcanzar la velocidad necesaria que un líquido requiere para mover una partícula del orden de las micras, es necesario percatarse del tipo de partícula y su material. Aunque ciertamente, cualquier bomba del mercado puede realizar este trabajo ya que también puede partirse desde la premisa de que se puede llevar al fluido a una velocidad tal que pueda ejecutar la tarea. Para equipos giratorios, la fuerza centrífuga que se puede llegar a tener resulta ser mucho mayor a la de un equipo estacionado, ya que los componentes de la máquina lo permiten al no estar limitada su movilidad.

Es comprensible que la fuerza de separación incrementa con el radio del área de rotación, al estar ésta más alejada del centro, o incluso si la velocidad de rotación se incrementa. La velocidad de sedimentación se calcula a partir de la densidad de las partículas que se desean filtrar. Se entiende, entonces, que las partículas más densas se filtrarán primero hacia las paredes del tanque, ya que tendrán una mayor fuerza inercial debido al giro del componente, seguida de las partículas menos densas. Bajo condiciones en las que el esfuerzo no sea el suficiente, las partículas más ligeras podrán todavía mantenerse en suspensión en el fluido a pesar del giro.

- Fuerza centrípeta.

Esta fuerza nace desde el punto centro de un cuerpo que se encuentra en un movimiento circular de referencia, de donde nace un vector hacia el centro de dicho sistema de referencia donde el cuerpo se traslada a una velocidad constante.

La fuerza centrípeta debe su nombre a las palabras latinas *centrum*, que significa centro; y a *petere*, que significa “dirigirse hacia”; se obtuvo a partir de las leyes de Newton. Se resume que esta fuerza siempre posee una dirección en forma perpendicular a la dirección del vector de movimiento. Cuando se habla de un cuerpo que no posee una velocidad constante, y por ende, posee una aceleración; la fuerza neta que actúa sobre dicho cuerpo posee este componente que puede ser descompuesto en un componente que cambia la dirección del movimiento (aunque sigue siendo perpendicular al movimiento inicial) y otro tangencial, que resulta ser paralelo al vector de velocidad.



- Fuerza friccional.

La fuerza de fricción actúa sobre todos los cuerpos que se encuentran en contacto, teniendo por conocimiento que incluso los fluidos pueden considerarse como cuerpos que generan rozamiento. Dentro de un ensayo, es necesario colocar fluidos viscosos como el aceite dentro de un tubo de ensayo grueso y liso para evitar que la fuerza de rozamiento causado pueda destruir el recipiente.

Cuando se trata de las moléculas que puede encontrarse dentro de un fluido, y que se entiende se desean filtrar por medio de una fuerza centrífuga o gravitatoria; se pueden considerar tres fuerzas que actúan sobre dicha partícula: La fuerza de fricción, el empuje del solvente y la fuerza de campo; donde las dos primeras se oponen a la última.

#### **2.2.1.10. Variables que afectan la centrifugación**

- Masa y densidad de la partícula

Estas propiedades físicas actúan directamente sobre el efecto centrífugo que se plantea en sistemas de este tipo. La masa se entiende como la cantidad de materia presente dentro de un volumen para un cuerpo o sustancia.

- Densidad del medio

Cuando un fluido resulta ser muy denso afecta la eficiencia de la centrifugación para extraer ciertas partículas. De presentarse una mayor cantidad de sacarosa, la densidad del medio aumenta con ella, además de su viscosidad. En el caso de que el fluido centrifugado tenga una densidad muy alta, eso afectará al sistema debido a la presencia de la sacarosa.

- Aceleración de la gravedad

Podemos decir que se trata de la atracción universal, ya que se trata de una fuerza que atrae los cuerpos hacia el punto centro del planeta Tierra. Esta constante se define como el incremento constante que sufre la velocidad por una unidad de tiempo cuando un cuerpo se encuentra en caída libre.

- **Tiempo de centrifugado**

El proceso de centrifugado tiene que suceder dentro de un parámetro de tiempo controlado, este valor depende del tipo de medio que se presente y las partículas que se pretendan separar.

- **Temperatura del fluido**

Al igual que el tiempo de centrifugado, la temperatura a la que un fluido se centrifuga, es de suma importancia ya que la temperatura de muchos fluidos puede variar la viscosidad y la densidad de los mismos.

- **Presión y velocidad**

La presión puede expresarse como la relación presente entre la fuerza centrífuga debido a la rotación del sistema y la superficie de contacto que tiene el fluido. Por otro lado, la velocidad resulta ser la magnitud con la que se mueve un cuerpo. Ambos valores afectarán el proceso de centrifugado ya que son datos que pueden resultar variables dentro del sistema.

#### **2.2.1.11. Definición de términos básicos**

- **Diseño**

Según Budynas (15), menciona que el propósito de cumplir un proceso de diseñar es formular un plan de acciones para satisfacer una necesidad específica o afrontar un problema. Seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y comercializarse mediante la solución del problema utilizando métodos o procedimientos de diseño.

El diseño es una actividad innovadora y altamente iterativa también es un procedimiento donde se toman decisiones específicas, estos procesos a veces tienen poca información o la cantidad adecuada y en otras ocasiones se presentan múltiples informaciones,

Algunas veces las decisiones se toman de manera tentativa, “lo importante es que el diseñador en ingeniería debe sentirse personalmente cómodo cuando ejerce la función de toma de decisiones y de resolución de problemas”.

- **Aceite lubricante**

El aceite es un líquido graso que se encuentra en la naturaleza o que se obtiene por destilación de algunos minerales y tiene usos industriales.

Según Wauquier (16): “Los aceites lubricantes están constituidos por un componente principal llamado base, al que se le añaden los aditivos que confieren al aceite las propiedades específicas requeridas para una aplicación dada”.

- **Viscosidad**

Newton presenta un concepto para esta característica física dentro de su obra “Philosophiae Naturalis. Principia Matemática”, aquí el científico considera que existe una resistencia a deslizarse cuando un fluido se encuentra sobre una superficie; esta resistencia resulta ser proporcional a la velocidad con la que las partes del medio se separan entre sí. Definida mediante su terminología, se trata de la proporción que está sujeta al esfuerzo por unidad de área que es necesario para generar una gradiente de velocidades dentro del medio, así la constante de proporcionalidad resulta ser un factor que expresa “la capacidad de deslizamiento de un fluido”. Con el tiempo, esta proporcionalidad de la que Newton hablaba pasó a ser la denominada viscosidad.

- **Filtración**

Es el proceso de separación de fases de un sistema heterogéneo mediante el cual se separa la materia de partículas a través de un medio poroso o filtro donde se retiene la mayor cantidad de partículas, contaminantes en los medios cuanto más densos son los medios y más lento el flujo, más eficiente el método de filtración. Con una filtración mejorada, la vida del aceite y el componente pueden prolongarse eficazmente.

- **Bomba de aceite**

Este elemento debe mantener un flujo constante de fluido así mismo un caudal lo suficiente para alimentar a las partes con volumen constante de fluido de aceite. Este elemento se relaciona con la energía mecánica que provee el sistema del árbol de levas o cigüeñal. Hay varios tipos de bombas que a continuación, se detallan:

- ✓ Bomba de engranajes: esta bomba está ubicada el depósito del Carter, esta accionada por un mecanismo proveniente del motor y que al revolucionar hace que un engranaje mayor hace gira un engranaje menor que mueve el eje de la bomba lo cual aspira el aceite que seguidamente pasa a presión por los conductos que se dirigen a las partes que requieren lubricación,
  
- ✓ Bomba de rotores: en su constitución consta de dos rotores una interior y otra exterior.

Esta bomba tiene en su interior un rotor giratorio que es un movimiento del eje central, el interior recibe este movimiento de su eje exterior se mueve por efecto del eje interior que comunica dicho movimiento . interiormente se crea un espacio de vacío, donde se genera un vacío y por el otro la descarga. Esta bomba crea presiones grandes.

- ✓ Bomba de hoz. Esta bomba va instalada en el extremo del cigüeñal.

El movimiento del rotor es generado por el eje del cigüeñal, y el rotor interior acciona el rotor exterior, su funcionamiento es equivalente a la bomba de engranajes, el aceite es transportado a través del espacio generado por los componentes de hoz de la bomba. Este tipo de bombas de hoz generan un mejor caudal de aceites hacia los componentes que requieren lubricación.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Método y alcances de la investigación**

##### **3.1.1. Método de la investigación**

- Método general o teórico de la investigación

Se propuso utilizar el método sistémico, puesto que se entiende que el objeto de estudio puede descomponerse en sistemas que también habrán de estudiarse y analizarse detenidamente para encontrar la mejor configuración para ellos.

El enfoque sistémico nos presentó el problema a través de la relación que existen entre los componentes y sus partes por lo que, al comprenderlos y analizar la complejidad del sistema, se pudo hallar la mejor configuración para la máquina de centrifugado.

- Método específico de la investigación

Dentro del diseño de un sistema de limpieza para aceite de motores diésel mediante filtros centrífugos portables se tomará en cuenta el método específico de investigación VDI 2221 que centra sus actividades en la búsqueda de soluciones, con el fin de obtener la información precisa para el desarrollo de un diseño eficaz que permita un prototipo que satisfaga en su totalidad las necesidades requeridas.

##### **3.1.2. Alcances de la investigación**

- Tipo de investigación

El presente estudio posee un tipo de investigación denominado como: básico, ya que la información datada del presente documento ha sido recogida de libros de

manera documental para que sea estudiada y pueda influir en el diseño del filtro centrífugo. Así, al iniciar estudiando documentalmente antecedentes, marcos teóricos, metodologías de diseño, entre otros; llegaremos a la conclusión del proyecto presentando planos de diseño y ensamblaje del sistema en cuestión.

- Nivel de investigación

El presente estudio posee un nivel de investigación denominado como: Correlacional descriptivo. Ya que el propósito principal del estudio fue ampliar los conocimientos previos que se tienen sobre las máquinas de filtrado por efecto centrífugo, a las que se observó detenidamente bajo la premisa de encontrar un sistema que permita utilizar fenómenos físicos y aprovecharlos en la realidad para filtrar partículas de un medio como los aceites lubricantes presentes en los automóviles o camiones de carga liviana.

### **3.1.3. Diseño de la Investigación**

#### **3.1.3.1. Tipo de diseño de investigación**

Se presenta el diseño de investigación no experimental para la tesis en cuestión ya que el estudio partió de la premisa del estudio de soluciones recolectadas para las funciones que pretendemos resolver para luego unir las en un sistema y determinar la mejor configuración de un sistema de limpieza para aceite de motores diésel mediante filtros centrífugos portables.

Hernández y otros (17) nos indica que: “la investigación no experimental, consiste en estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos” (p. 149).

#### **3.1.3.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La técnica de recolección de datos será la Técnica de Recopilación Documental por estar sujeto a la consulta de documentos bibliográficos, manuales de los equipos, especificaciones, procedimientos, alcances del proyecto, planos y dossier de construcción que serán utilizados en el sistema de limpieza para los aceites de los motores diésel.

## 3.2. Materiales y métodos

### 3.2.1. Lista de exigencias

El diseño por requerimientos inicia partiendo de conocer las necesidades del cliente; por lo que se entrevista a la persona o empresa a quien va dirigido el diseño en cuestión para hacer preguntas acerca de lo que esta entidad espera del sistema de limpieza para aceite de motores diésel mediante filtros centrífugos portables.

Se establecen prioridades para cada una de las necesidades, que pueden ser entre exigencias y deseos con respecto a aspectos como la funcionalidad, el tamaño, el tipo de suministro de energía, entre otros más.

Se presenta una tabla que expone estos aspectos, así como la prioridad de los mismos. Es de esta lista de donde se partirá para evaluar las posibles soluciones y las ponderaciones que éstas puedan alcanzar debido a la configuración de sus componentes.

**Tabla 7. Lista de exigencias del proyecto**

LISTA DE EXIGENCIAS		EDICIÓN:		Pág.:	de:
PROYECTO:	Sistema de limpieza para aceite de motores diésel mediante filtros centrífugos portables			No. de identificación:	
CLIENTE:				Redactado por:	
Cambios (fecha)	D o E	Exigencias	Responsable		
12/09/21	E	Función Principal: Separar partículas sólidas del aceite con tamaños mayores a 20micras como mínimo.	Diseñador		
	E	Materia Prima: El aceite de motores diésel con horas o kilometrajes de trabajo. Su color debe de ser distinto al que viene de fábrica.	Diseñador		
	E	Capacidad: Cantidad de aceite para filtrar contenida en el cárter de cualquier motor de carga liviana.	Diseñador		
	E	Fuerzas: La fuerza de la bomba de aceite deberá ser la suficiente para poder hacer mover el centrífugo para que la limpieza del aceite sea eficiente.	Diseñador		

E	Regulable: El equipo deberá ser totalmente adaptable para diferentes modelos de motores.	Diseñador
E	Confiabilidad en el Proceso: El proceso deberá garantizar el filtrado de partículas sólidas mayores a 20 micras al 90% de su contenido.	Diseñador
E	Material: El equipo deberá ser construido con materiales accesibles y dentro del catálogo comercial de la zona. (Ejm: Aceros inoxidables, aceros galvanizados).	Diseñador
E	Geometría: El equipo no deberá exceder las dimensiones de: 120*90*100 cm	Diseñador
E	Evita ruidos molestos: Se espera que el equipo no genere altos niveles de ruido que puedan resultar dañinos para el operador. (Máx. 80dB)	Diseñador
E	Diseño ergonómico: El diseño deberá ser ergonómico para que el operador no se exponga a posiciones incómodas.	Diseñador
E	Transporte: El equipo debe de contar con componentes que permitan su movilidad sobre los ejes a ras de suelo, así como también el giro sobre el mismo plano.	Diseñador
E	Señales: La máquina debe de contar con un panel de control que permita el encendido, apagado, y apagado de emergencia.	Diseñador
E	Limpieza: El equipo debe de tener componentes que se desensamblen para facilitar su limpieza.	Diseñador
E	Sencillez: El equipo debe de ser minimalista para reducir la cantidad de componentes, y capacitación que requiera el operador.	Diseñador

### 3.2.2. Estructura de funciones

Dentro de este apartado se muestran ciertas perspectivas sobre las cuales se podrán definir las variables de entrada, las funciones y los sistemas que intervienen en la máquina a diseñar. Esta regla está basada en la norma VDI 2222, por lo que se presenta una estructura de funciones para luego formar una matriz morfológica



con las propuestas a las soluciones para uno de los componentes o funciones que se deben suplir. Finalmente, se compararán estas soluciones para obtener un concepto de solución óptimo a partir de ideologías económicas y técnicas. El proyecto seleccionado será desarrollado por medio de cálculos, selección de componentes y planos de fabricación y ensamblaje.

### 3.2.3. Abstracción Black – box



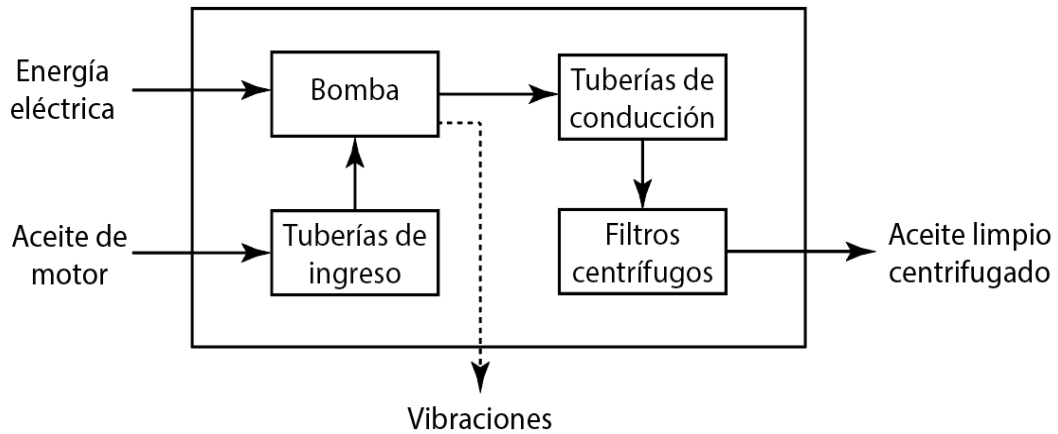
*Figura 4. Caja negra del proyecto*

La materia prima en este caso es el aceite de motor con horas de trabajo, el conducto de succión está conectado desde el cárter de motor a la bomba de aceite de equipo de limpieza, el motor del equipo se acciona con energía eléctrica, luego el aceite pasa por la bomba de aceite y llega a los filtros centrífugos para ser limpiado. Finalmente, después de un tiempo determinado de centrifugado tendremos el aceite libre de hollín y otras impurezas el cual estará volviendo a ingresar al motor.

### 3.2.4. Estructura de funciones (caja blanca)

- **Determinación de la secuencia de operaciones:**

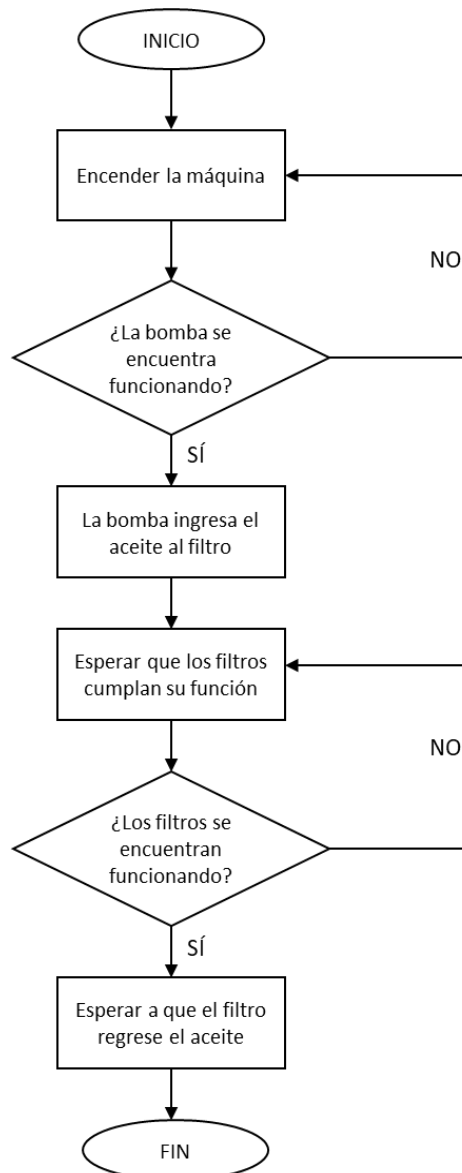
Con el propósito de establecer los pasos a seguir para la instalación y desinstalación correctas del sistema de limpieza para aceite de motores diésel mediante filtros centrífugos portables se detalla a continuación una lista con la secuencia de operaciones correspondientes.



**Figura 5. Caja blanca del proyecto**

Primero, verificar que el equipo esté apagado y correctamente bloqueado, luego, se ubicará el equipo de limpieza cerca al motor, la toma de succión de aceite se ubicará en el punto de drenaje del colector, el retorno de aceite al motor se realizará por la tapa de llenado.

Aprovechando la temperatura de operación de aceite de motor a baja viscosidad se revisará la temperatura del aceite y se accionará el motor eléctrico para empezar con el centrifugado, este proceso se llevará a cabo por un tiempo determinado para separar el hollín del contenido del aceite de motor.



**Figura 6. Diagrama de flujo a partir de las funciones de la máquina**

- **Procesos técnicos:**

- ✓ Preparación: Verificar que el equipo esté apagado y correctamente bloqueado  
Ubicar el equipo de limpieza cerca al motor  
Conectar la manguera de succión del equipo de limpieza al drenaje de aceite de la máquina  
Conectar la manguera de salida a la parte superior del motor para el retorno del aceite
- ✓ Ejecución:  
Encender el equipo de limpieza con el interruptor que están en el panel de control  
Iniciar con el proceso de centrifugado

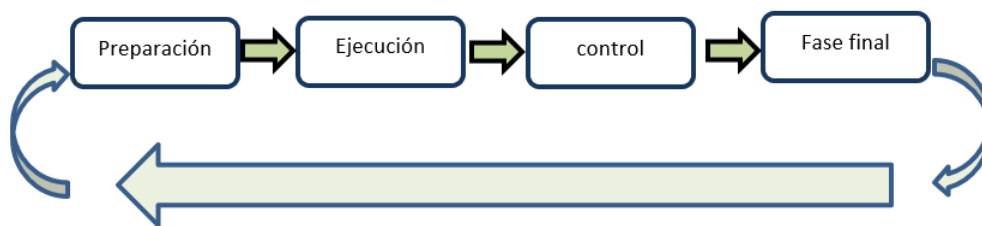
✓ Control:

- Verificar la presión de aceite en cada filtro centrífugo
- Controlar el tiempo que va a durar el centrifugado del aceite
- Verificar las posibles fugas de aceite

✓ Fase final:

- Aceite centrifugado libre de hollín
- Desconectar las conexiones de succión y retorno de aceite del equipo de limpieza
- Volver a reiniciar el proceso

En este diagrama de flujo se observa los procesos técnicos.




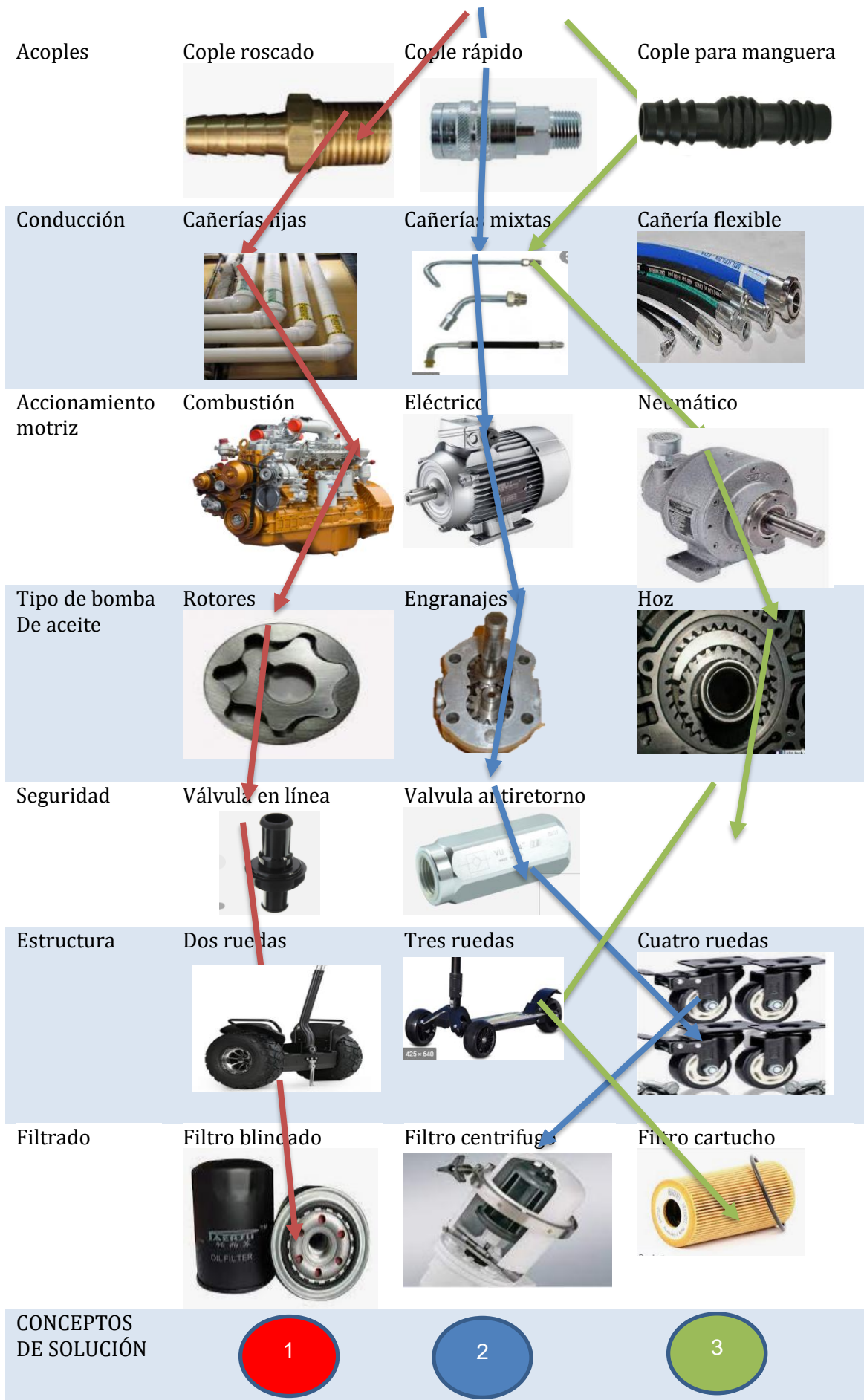
**Figura 7. Diagrama de funciones del proyecto**

### 3.2.5. Matriz morfológica

Elaboración de la matriz morfológica con funciones parciales

**Tabla 8. Matriz morfológica del proyecto**

FUNCIONES PARCIALES	PORTADORES DE FUNCIONES (características o principios de solución)		
	1	2	3
Montaje		Manual	
			

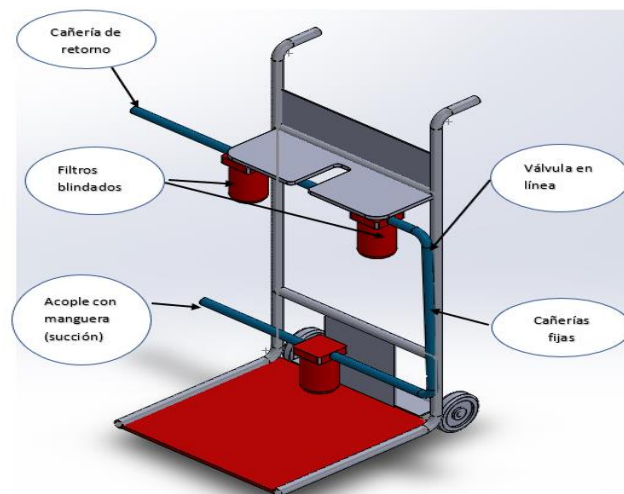


### 3.2.6. Propuestas de solución:

De la matriz morfológica analizada se presentan una propuesta de solución, son propuestas con distintos sistemas de funcionamiento teniendo en cuenta las funciones elementales y parciales para el sistema de limpieza de aceite.

- **Solución 1:**

Descripción: Para la primera alternativa de solución es un modelo de equipo de limpieza mediante filtros blindados conectados en serie con un circuito de conexiones fijas, el equipo estará integrado directamente al motor de combustión del vehículo o equipo y este estará conectado a la bomba de aceite de tipo rotor, para su seguridad tendrá una válvula check en el salida del filtro, para la estructura del carro porta filtros estará diseñada con tubos metálicos y para su movilidad contara con un par de llantas pequeñas ubicadas en parte posterior. El funcionamiento del equipo será cuando el aceite con hollín pase a través de los dos filtros blindados y que los contaminantes queden atrapados en estos.

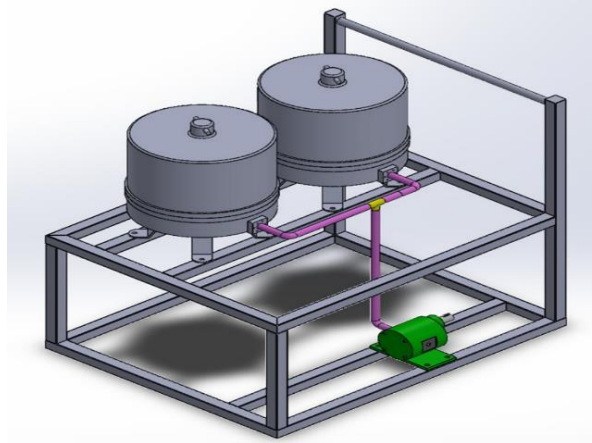


**Figura 8. Modelo de la solución 1**

### **Solución 2:**

Descripción: En esta segunda alternativa de solución se hace el uso de filtros centrífugos, el circuito de conexiones será de tipo mixta(cañerías fijas y flexibles), la conexión de succión estará con un sistema de acople rápido el sistema de limpieza será activada con un motor eléctrico y el tipo de bomba de aceite que se será utilizada es del tipo de engranajes, los filtros centrífugos serán conectadas en forma paralela y serán reguladas por una válvula para que la presión de aceite que

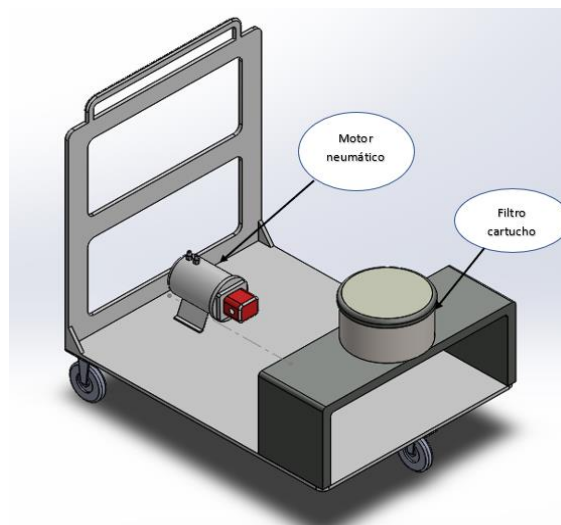
ingrese a estos sean la misma, para seguridad este sistema contara con una válvula check, la estructura será diseñada con cuatro ruedas para que pueda soportar las vibraciones ocasionadas por los filtros centrífugos.



**Figura 9. Modelo de la solución 2**

### **Solución 3:**

Descripción: para esta tercera alternativa de solución se utilizará los filtros cartucho, este sistema será accionada por un motor neumático y el tipo de bomba de aceite a utilizar será de tipo hoz la posición de estos será en forma horizontal, las conexiones de las cañerías serán de tipo mixta, para la conexión de succión será tipo grampa, para su seguridad usará una válvula check, para su estructura será una plataforma con tres ruedas capaz de soportar el peso de los componentes.



**Figura 10. Modelo de la solución 3**

### 3.2.7. Determinación de la solución óptima

- **Valorización de la lista de exigencias**

En el cuadro se detalla la lista de exigencias que es valorizada de acuerdo con los valores obtenidos en la matriz morfológica, desarrollada por la metodología VDI 2221, de acuerdo a ello se da una ponderación de 1 a 4, siendo el 4 la óptima calificación.

**Tabla 9. Evaluación de lista de exigencias**

N.º	Criterios técnicos y económicos	Soluciones			
		1	2	3	S. ideal
1	Seguridad	4	4	4	4
2	Rapidez	3	3	4	4
3	Estabilidad	3	3	3	4
4	Eficiencia	3	3	4	4
5	Manipulación	3	3	4	4
6	Confiabilidad	3	4	4	4
7	Facilidad de manejo	3	3	3	4
9	Calidad de trabajo	3	4	4	4
10	Complejidad	3	3	2	4
11	Lista de exigencias	3	3	2	4
12	Automatización	2	1	4	4
13	Número de piezas	4	4	4	4
14	Fácil adquisición de materiales	3	3	2	4
15	Productividad	4	4	3	4
16	Costos diversos	3	2	2	4
17	Número de operarios	2	4	1	4
18	Costos de tecnología	3	3	2	4
19	Facilidad de montaje	3	3	2	4
20	Facilidad de mantenimiento	3	3	1	4
21	Costos de operación	2	3	3	4
Total		66	70	70	88
Evaluación (%)		75.0%	79.5%	69.3%	100%

- **Valorización técnica:**

La valorización técnica se realiza mediante la evaluación, considerando la escala de valores según norma VDI 2221, el cual determina los factores de evaluación tanto económica como técnicamente.



Donde:

P = puntaje de 0 a 4

0 = No satisface; 1 = Poco aceptable; 2 = Suficiente; 3 = Bien; 4 = Muy bien (ideal)

g = peso ponderado que se da en función a la importancia del criterio a evaluar.

$$X_1 = \frac{g_1 * P_1 + g_2 * P_2 + \dots + g_n * P_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) * P_{idea}} \leq 1$$

**Tabla 10. Evaluación de valor técnico**

Variantes de concepto/proyecto			Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución ideal				
			S1	S2	S3	S. ideal				
N.º	Criterios de evaluación	g	P	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Función	8	3	24	3	24	3	24	4	32
2	Forma	6	2	12	2	12	2	12	4	24
3	Diseño	9	2	18	4	36	3	27	4	36
4	Fuerza	8	3	24	3	24	3	24	4	32
5	Energía	9	3	27	3	27	3	27	4	36
6	Fabricación	7	3	21	4	28	3	21	4	28
7	Control de calidad	10	3	30	4	40	4	40	4	40
8	Montaje	7	2	14	3	21	3	21	4	28
9	Transporte	6	2	12	2	12	1	6	4	24
10	Uso	8	3	24	3	24	3	24	4	32
11	Mantenimiento	7	2	14	3	21	2	14	4	28
12	Ergonomía	6	2	12	3	18	3	18	4	24
13	Seguridad	8	3	24	3	24	3	24	4	32
Puntaje ( $\sum gp$ )			256	311	282	396				
Valor %			64.6%	78.5%	71.24%	100%				

- **Valorización económica:**

Ahora el análisis de las soluciones es analizada teniendo en cuenta los costos de fabricación, montaje, mantenimiento, considerando el método o norma alemana VDI 2221, según la ponderación especificada en la evaluación económica (Y1).

Donde:

P= puntaje de 0 a 4

0 = No satisface; 1 = Poco aceptable; 2 = Suficiente; 3 = Bien; 4 = Muy bien (ideal).

g= Peso ponderado en función a la importancia de cada criterio a evaluar.

$$X_1 = \frac{g_1 * P_1 + g_2 * P_2 + \dots + g_n * P_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) * P_{idea}} \leq 1$$

**Tabla 11. Evaluación de valor económico**

Variantes de concepto/proyecto		Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución ideal		
		S1		S2		S3		S ideal		
N.º	Criterios de evaluación	g	P	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Costos de material	8	3	28	3	24	2	16	4	32
2	Costos de fabricación	6	3	18	3	18	2	12	4	24
3	Costos de montaje	9	3	27	3	27	2	18	4	36
4	Costos de mantenimiento	8	3	24	4	32	3	24	4	32
Puntaje ( $\sum gp$ )		93		70		101		124		
Valor (%)		75.0%		81.5%		56.5%		100%		

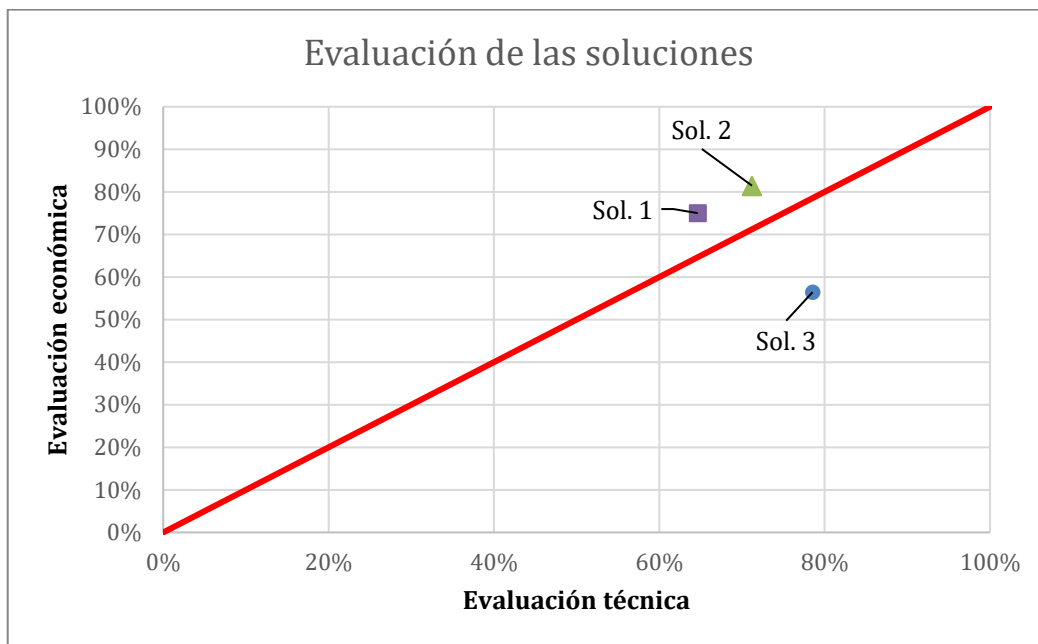
Así, se ubica la valoración técnica y económica en un gráfico de distribución para que se pueda seleccionar la solución que resulte más óptima considerando ambos puntos.

**Tabla 12. Comparación de resultados evaluados**

	Eje (X1)	Eje (Y1)
	Valoración técnica	Valoración económica
Solución 1	64.65%	75.00%
Solución 2	78.5%	81.45%
Solución 3	71.24%	56.45%

- **Toma de decisión**

Se toma en cuenta la solución óptima utilizando el diagrama de dispersión en el cual se muestran los resultados donde se consideran todos los parámetros y exigencia de las soluciones posibles, como se muestra en la figura mediante la evaluación de las soluciones.



**Figura 11. Esquema de dispersión para la elección del resultado**

El diagrama de distorsión indica que las posibles soluciones evaluadas seubican cerca de la línea de evaluación técnica, siendo la segunda solución asignada de color gris con 78.54 % en el eje “X” y con 81.45 % en el eje “Y”, el que se elige como solución óptima por lo exigencia requerida por los patrocinadores.

La solución ideal se encuentra en el punto definido como la solución óptima. Por lo tanto, el concepto óptimo se elige entre los conceptos que se encuentren más cercanos a la solución ideal del gráfico.

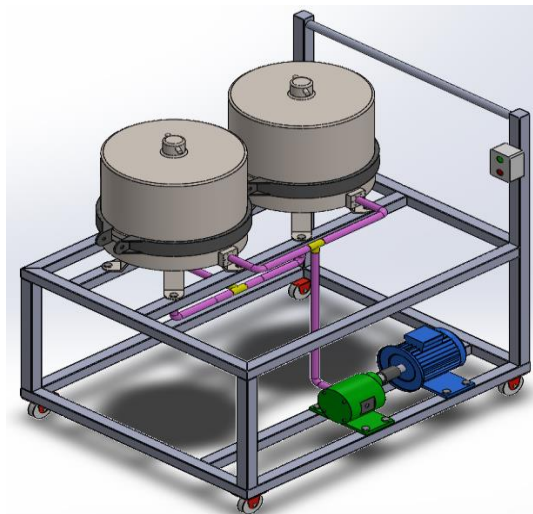
Luego el CONCEPTO DE SOLUCIÓN 2 es el CONCEPTO ÓPTIMO con el que se realizara la fase siguiente de la ingeniería de detalles. Se utilizará esta solución compuesta por dos filtros centrífugos, montados sobre un soporte formado por perfiles de acero, que funcionan a partir de una bomba de engranes que permite el

ingreso del aceite a filtrar. La máquina posee una especie de asa y garruchas con traba para permitir su traslado.

### 3.3. Proyecto preliminar

La alternativa seleccionada como Concepto Óptimo es el concepto de solución 1 que consta de los siguientes elementos:

La figura siguiente muestra la distribución de elementos del concepto óptimo.



**Figura 12. Distribución preliminar del proyecto**

## **CAPÍTULO IV**

### **DESARROLLO**

#### **4.1. Cálculo y selección de componentes**

A continuación, se desarrolla los cálculos y la selección de los componentes necesarios para el sistema de filtros centrífugos y para una posterior selección de los componentes más importantes del sistema de limpieza de aceite para motores Diésel, es preponderante que la selección de los materiales se determinen materiales que se encuentren disponibles en el entorno comercial para lograr un adecuado funcionamiento disminuyendo riesgos por posibles fallas.

Para seleccionar la bomba de succión será necesario calcular la fuerza necesaria para succionar las partículas que se pretenden filtrar, así como también las pérdidas en las tuberías hasta la salida del punto de presión en el filtro centrífugo. Realizaremos este cálculo inicial con un caudal teórico de 0.25 gpm.

Consideramos que las partículas tienen en promedio 20 micras de largo en su eje más largo. Para esto haremos uso de un diagrama de cuerpo libre para la partícula estudiada.

$$\sum F_y = 0$$

Así desglosamos las fuerzas que suceden sobre la partícula:

$$F_e + F_b - W = 0$$

Donde:

$F_e$  = Fuerza de flotabilidad

$F_b$  = Fuerza de empuje

$W$  = Peso de la partícula

Así utilizamos la ecuación siguiente para calcular su volumen:

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3$$

Donde:

$V$  = Volumen ( $m^3$ )

$r$  = Radio de la esfera ( $m$ )

Entonces:

$$V = \frac{4}{3}\pi(1 * 10^{-5})^3$$
$$V = 4.1888 * 10^{-15} m^3$$

Calculamos la fuerza de empuje mediante:

$$F_b = \gamma_f * V$$

Donde:

$F_b$  = Fuerza de empuje

$\gamma_f$  = Peso específico del aceite

$V$  = Volumen de la partícula

Entonces:

$$F_b = \left( 871 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} \right) * 4.1888 * 10^{-15} m^3$$
$$F_b = 35.7912 * 10^{-15} N$$

Para calcular el peso de la partícula será necesaria la densidad del material, se considera que en su mayoría se arrastrará partículas de hierro fundido, por lo que  $\rho=7200 \text{ kg/m}^3$ . Usamos la ecuación:

$$W = \gamma_{partícula} * V$$

Donde:

$W$  = Peso de la partícula

$\gamma_{partícula}$  = Peso específico de la partícula

$V$  = Volumen de la partícula

Entonces:

$$W = \left( 7200 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} \right) * 4.1888 * 10^{-15} m^3$$
$$W = 295\,863.3216 * 10^{-15} N$$

Por lo tanto, así calculamos la fuerza de flotabilidad, siendo esta:

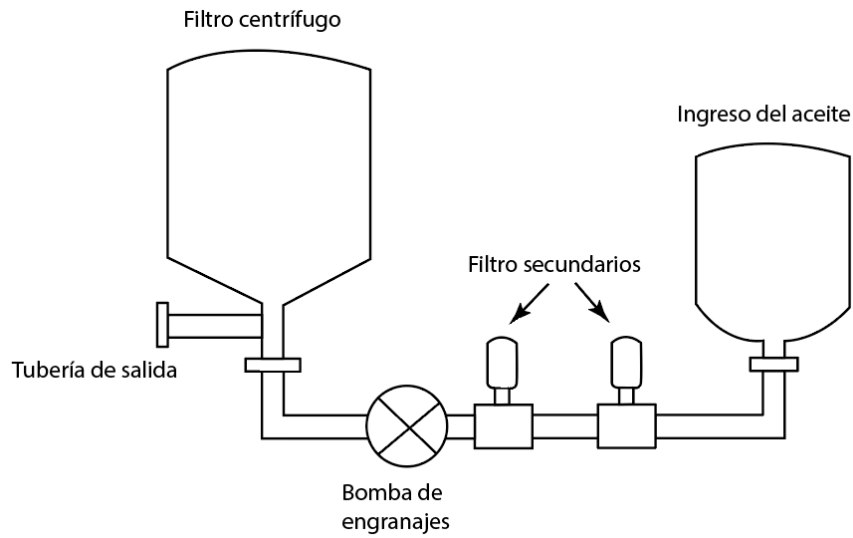
$$F_e = W - F_b$$

Entonces;

$$F_e = 295\,863.3216 * 10^{-15} N - 35.7912 * 10^{-15} N$$
$$F_e = 295\,827.5304 * 10^{-15} N$$

Ya que se observa que el peso es mucho mayor a la fuerza de empuje, y la distribución del tanque de almacenamiento posee la tubería de succión en la parte más baja, se puede estimar que la gravedad hará gran parte del trabajo de succión con respecto a las partículas en cuestión.

Realizamos un bosquejo de la trayectoria que seguirá el tanque:



**Figura 13. Distribución de la trayectoria de las tuberías**

Calculamos las pérdidas que puede tener el sistema para seleccionar la potencia del motor, así como el tipo del mismo. Se propone un motor con caudal de 0.25 gpm. Este valor será teórico de modo que puedan determinarse valores precisos basando nuestra información en catálogos.

$$Q_{teo} = 0.25 \text{ gpm}$$

$$Q_{teo} = 1.3942 * 10^{-5} \frac{m^3}{s}$$

- **Velocidad de salida de chorro de aceite**

Con el caudal promedio, podemos hallar una velocidad promedio en la tubería:

$$Q_{teo} = v * A$$

Donde:

$Q_{teo}$  = Caudal teórico propuesto

$v$  = Velocidad promedio en la tubería

$A$  = Área transversal de la tubería



Entonces, utilizando una tubería de  $\frac{1}{4}$  ", podemos hallar el área transversal  
 Diámetro tubería =  $\frac{1}{4}$  " =  $6.35 \text{ mm} = 6.35 * 10^{-3} \text{ m}$ .

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

$$A = \frac{\pi * (6.35 * 10^{-3})^2}{4} = 3.16 * 10^{-5} \text{ m}^2$$

Despejamos y hallamos la v:

$$v = \frac{Q_{teo}}{A}$$

$$v_{teo} = \frac{1.3942 * 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{3.16 * 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$v_{teo} = 0.4412 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Habiendo hallado la velocidad promedio en la tubería, se opta por hallar la velocidad de salida en el eyector ,la masa permanece constante por lo que utilizamos la ecuación de continuidad de Bernoulli, en función de las presiones, el caudal y alturas que es de la forma:

$$\frac{P_1}{\rho g} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} - \sum H_{1-2} + \sum H_b - \sum H_t = \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$Q_1 = Q_2$$

$$V_1 * A_1 = V_2 * A_2$$

Donde:

$$V_1 = v_{teo}$$

$$A_1 = \text{Área transversal del tubo de } \frac{1}{4} \text{ "}$$

$$A_2 = \text{Área de salida del eyector}$$

$$V_2 = \text{Velocidad de salida del eyector}$$

Sabemos que la salida del inyector posee dos agujeros con un diámetro de  $\frac{1}{16}$  in.

Con esta información y hallamos el área de salida del inyector:

$$A_2 = 2 * \frac{\pi * (1.5875 * 10^{-3} m)^2}{4} = 3.9587 * 10^{-6} m^2$$

Reemplazando:

$$V_2 = 0.4412 \frac{m}{s} * \frac{3.16 * 10^{-5} m^2}{3.9587 * 10^{-6} m^2}$$

$$V_2 = 3.5296 \frac{m}{s}$$

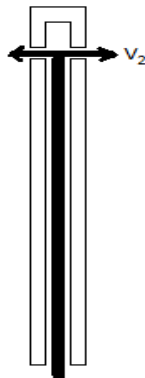


Figura 14. Ingreso del aceite al filtro centrífugo

- **Selección de material para las tuberías**

Se habrá de seleccionar un material que no se corra ni oxide de tal modo que el motor posea un buen tiempo de vida útil. Se seleccionaron los siguientes materiales para realizar una comparativa a tomar en cuenta.

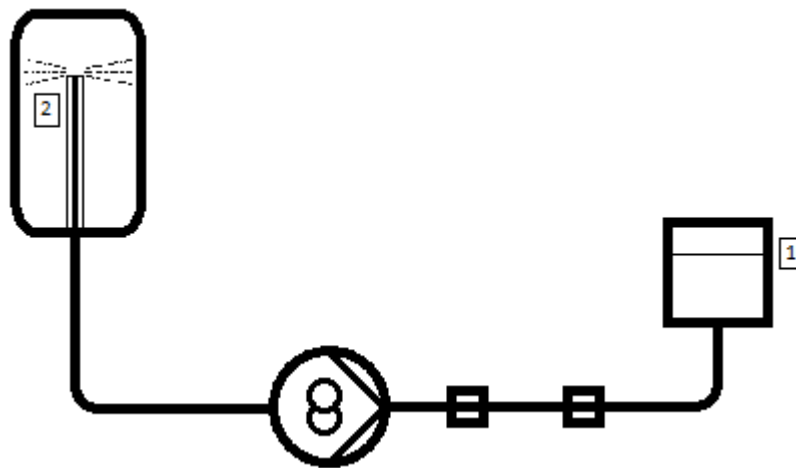
Tabla 13. *Tabla de selección de material para las tuberías*

Material	Características	Puntuación
PVC	Es un material ligero y químicamente inerte e inocuo, las aplicaciones de PVC tienen una vida útil muy larga.	7
Acero inoxidable	Resistencia a la corrosión y oxidación.	8
Acero galvanizado	Resistencia a la abrasión y a la corrosión. Resistencia mecánica elevada Alta duración	8

Se le ha dado la mayor puntuación al acero inoxidable y al acero galvanizado, ya que representan materiales con los que se puede trabajar y crear juntas que puedan permitir hacer que nuestro proyecto sea desmontable. Así mejorando la posibilidad de realizar posteriores trabajos de limpieza dentro de las tuberías y sus demás componentes.

- **Pérdidas en tuberías y accesorios**

De la salida de la bomba a la salida del chorro, se pasa por una tubería de 1/4", de longitud 25 cm.



*Figura 15. Distribución del punto de entrada y salida del aceite*

Las pérdidas por tubería la podemos determinar mediante el número de Reynolds que corresponde al flujo de aceite hidráulico.

$$Re = \frac{V * D}{\nu}$$

Donde:

$V$  = Velocidad del fluido en la tubería

$D$  = Diámetro de la tubería

$\nu$  = Viscosidad cinemática del aceite ISO 46 =  $4.63 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$

$$Re = \frac{0.4412 \frac{m}{s} * \left( \frac{1}{4} \text{ pulg} * \frac{0.0254m}{1 \text{ pulg}} \right)}{4.63 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}}$$

$$Re = 60.5102 < 2000$$

∴ *Re* posee flujo laminar.

Con el número de Reynolds hallado, y sabiendo que el flujo se comporta en régimen laminar, utilizamos la ecuación:

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

Donde:

$\lambda$  = Coeficiente de pérdidas en tubería

Entonces:

$$\lambda = \frac{64}{60.5102} = 1.0577$$

De aquí partimos para hallar la altura de pérdidas

$$H_{p\acute{e}rdidas} = \lambda * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

$L$  = Longitud de la tubería = 1 m

$D$  = Diámetro de la tubería

$V$  = Velocidad del fluido

Calculamos:

$$H_{p\acute{e}rdidas} = 1.0577 * 1 / (6.35 * 10^{-3} \text{ m}) * \frac{\left(0.4412 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}$$

$$H_{p\acute{e}rdidas} = 1.6526 \text{ m}$$

Expresando en psi:

$$P_{p\acute{e}rdidas} = \rho * g * H_{p\acute{e}rdidas}$$

$$P_{p\acute{e}rdidas} = 871 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 1.6526 \text{ m}$$

$$P_{p\acute{e}rdidas} = 14120.6572 \text{ Pa} = 2.048 \text{ psi}$$

- **Pérdidas singulares por accesorios**

En esta parte, se debe mencionar los accesorios previos a la succión de la bomba. Se encuentran en total 4 codos de 1/4", 2 filtros de 10 y 20 micrones c/u además de una longitud de tubería de 1 m

Para las pérdidas en los codos; según la figura, encontramos los coeficientes de pérdidas en codos.

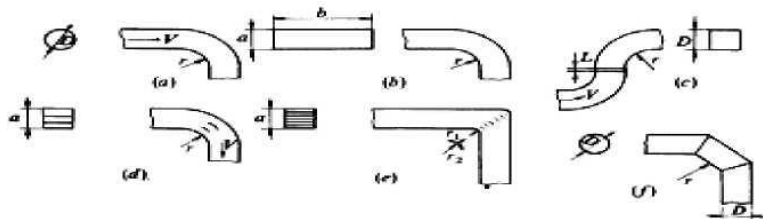


FIG. 11-8. Coeficientes  $\zeta$  de pérdidas en *codos* diversos:

(a)	$\frac{r}{D} = 0$	0,25	0,5	1,0
	$\zeta = 0,8$	0,4	0,25	0,16

**Figura 16. Coeficientes de pérdidas en codos Tomada de Mecánica de Fluidos - Mataix, 1982**

Tomando el ejemplo  $\lambda_{codos} = 1,5$ . Además:

Los filtros de 10 y 20 micrones tienen coeficientes de pérdidas aproximados, los cuales se suponen de 2 para sobredimensionar pérdidas y debido a que este es un valor mínimo para la mayoría de válvulas.

La ecuación general de pérdidas está dada por:

$$H_s = \lambda * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

$\lambda$  = Coeficiente de pérdidas singulares

$V$  = Velocidad del fluido  $\left(\frac{m}{s}\right)$

$g$  = Gravedad  $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

Suponiendo la velocidad de succión igual a la de entrega de la bomba, calculamos:

$$\lambda = 4 * \lambda_{codos} + 2 * \lambda_{filtros}$$

$$\lambda = 4 * 1.5 + 2 * 2$$

$$\lambda = 10$$

Calculamos entonces:

$$H_s = 10 * \frac{\left(0.4412 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * \left(9.81 \frac{m}{s}\right)}$$

$$H_s = 0.0992 \text{ m}$$

Expresando en psi:

$$P_{p\acute{e}rdidas} = \rho * g * H_{p\acute{e}rdidas}$$

$$P_{p\acute{e}rdidas} = 871 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s} * 0.0992 \text{ m}$$

$$P_{p\acute{e}rdidas} = 847.6154 \text{ Pa} = 0.1229 \text{ psi}$$

- **Presi3n de salida**

Simplificando la ecuaci3n de Bernoulli tenemos que:

$$\frac{P_1}{\rho g} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} - \sum H_{1-2} + \sum H_b - \sum H_t = \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Donde:

$P_1$  = Presi3n del fluido en el punto de altura m3xima del tanque de almacenamiento

$P_2$  = Presi3n del chorro eyectado

$V_1$  = Velocidad del fluido en el punto de la altura m3xima del tanque de almacenamiento

$V_2$  = Velocidad de salida del chorro

$z_1$  = Altura de referencia del punto 1.

$z_2$  = Altura de referencia del punto 2.

$\rho$  = Densidad del aceite hidr3ulico ISO 46 TP a 15 °C igual 871 kg/m<sup>3</sup>

Hallando la presi3n de chorro nos da:

$$0.3 m + 1.6526 m + 0.0992 m = \frac{P_2}{871 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2}} \frac{3.5296^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s}}$$

$$P_2 = (2.0518 m - 0.645 m) * \left( 871 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} \right)$$

$$P_2 = 12020.417 Pa = 1.7434 psi$$

Como se puede observar, necesitaremos una bomba que como mínimo ofrezca dicha potencia. Debido a que en el mercado no existe una bomba de engranajes con una presión tan pequeña se seleccionará su inmediato superior. Seleccionamos tres marcas para determinar aquella que posee las características más adecuadas para el presente proyecto.

**Tabla 14. Evaluación de la bomba a utilizar**

Bomba	Características	Punt. Técnico	Punt. Económica	Punt. final
<b>Roper Pumps (0.5 gpm – 25 psi)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Precio elevado</li> <li>✓ Garantía de 5 años</li> <li>✓ Alta disponibilidad</li> <li>✓ Instalación prevista por la empresa</li> </ul>	8	7	7.5
<b>CTF Perú (1 gpm – 25 psi)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Precio acorde al mercado</li> <li>✓ Garantía de 5 años</li> <li>✓ Disponibilidad de acuerdo al estándar</li> <li>✓ Asesoramiento para la instalación</li> </ul>	7	7	7
<b>Importación China (1 gpm – 25 psi)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Precio por debajo de la media</li> <li>✓ Garantía de 1 años</li> <li>✓ No se especifica la disponibilidad</li> <li>✓ Sin instalación ni asesoramiento previsto por el vendedor</li> </ul>	6	7	6.5

Se seleccionó la bomba ya que nos ofrece las condiciones de caudal y presión propuestos por los cálculos, así como también un coste elevado, pero que nos asegura una disponibilidad mayor.



**Figura 17. Selección del motor para el proyecto**

- **Velocidad del rotor del filtro centrifugo**

La velocidad del rotor del filtro centrifugo, se determinan mediante la ecuación de la cantidad de movimiento, especificando la relación de velocidad de chorro con la fuerza aplicada a la salida del rotor.

En este caso, se manejan las siguientes ecuaciones:

$$F_x = P * A = 1 N$$

Donde:

$$F_x = \text{Fuerza del chorro al golpear el rodete}$$

Calculamos:

$$F_x = \left( 0.012 \text{ m}^3 * 871 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) * 3.9587 * 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$F_x = 0.0041 N$$



Entonces:

Teniendo ya la fuerza del chorro, e igualando esta fuerza con la fuerza de reacción del rodete (principio de cantidad de movimiento) podemos hallar la velocidad:

$$F_x = Q * \rho * (C_1 - U) * (1 - \cos\beta)$$

Donde:

$F_x$  = Fuerza aplicada en el rodete

$C_1$  = Velocidad del chorro

$U$  = Velocidad del rodete

$\beta$  = Ángulo del rodete

Despejando U:

$$U = C_1 - \frac{F_x}{Q * \rho * (1 - \cos\beta)}$$

$$U = 3.5296 \frac{m}{s} - \frac{0.0476 N}{\left(1.3942 * 10^{-5} \frac{m^3}{s}\right) * \left(871 \frac{kg}{m^3}\right) * (1 - \cos 90)}$$
$$U = 3.192 \frac{m}{s}$$

Con un radio de 3.175 mm, los agujeros que harán el esfuerzo para rotar mediante la fuerza tangencial aplicada por el chorro. Hallamos el número de rpm del rotor:

$$rpm = \frac{U}{r} * \frac{1 \text{ revolución}}{2\pi \text{ rad}} * \frac{60 s}{1 \text{ min}}$$

$$rpm = \frac{3.192 \frac{m}{s}}{2 * 3.175 * 10^{-3} m} * \frac{1}{2\pi} * \frac{60 s}{1 \text{ min}}$$
$$rpm = 4800.21$$

- **Diseño del eje:**

El eje del rotor estará sometido a dos tipos de cargas uno tangencial donde las chumaceras se encontrarán; y otro radial debido al torque que el mismo rotor

ejercherà sobre él. El esfuerzo radial sucederá cuando el chorro proveniente de la bomba golpee con las paredes del tanque del filtro. Mientras que el esfuerzo axial se dará debido al peso que soporte el eje al colocarse en vertical.

Se considera el material siguiente para fabricar el eje:

- ✓ Resistencia a la fluencia 310 MPa (45 KSI)
- ✓ Resistencia máxima 620 MPa (90 KSI)
- ✓ Elongación 30 % (en 50mm)
- ✓ Reducción de área 40 %
- ✓ Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)
- ✓ Densidad:  $8.0 \text{ g/cm}^3 = 8000 \text{ kg/m}^3$

Con estos datos, calculamos los esfuerzos equivalentes, el diámetro de diseño y el factor de seguridad del eje.

Es esfuerzo debido al chorro será:

$$F_x = 12020.417 \text{ Pa} * 3.9587 * 10^{-6} \text{ m}^2 = 0.4576 \text{ N}$$

Una vez propuestos los esfuerzos de diseño, pasaremos a dimensionar el eje mediante la ecuación (Se ha elegido esta ecuación ya que es compatible con la norma ANSI B106.1M-1985):

$$d = \left[ 10,19 * FS * \left[ \left( \frac{Kf * Mmax}{Sn} \right)^2 + 0,694 \left( \frac{T}{Sy} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

$$Sn = Cb \times Cs \times Cr \times Co \times S'n$$

$Cb$  = Factor de corrección de temperatura

$Cs$  = Factor de corrección de superficie (*Ver tabla*)

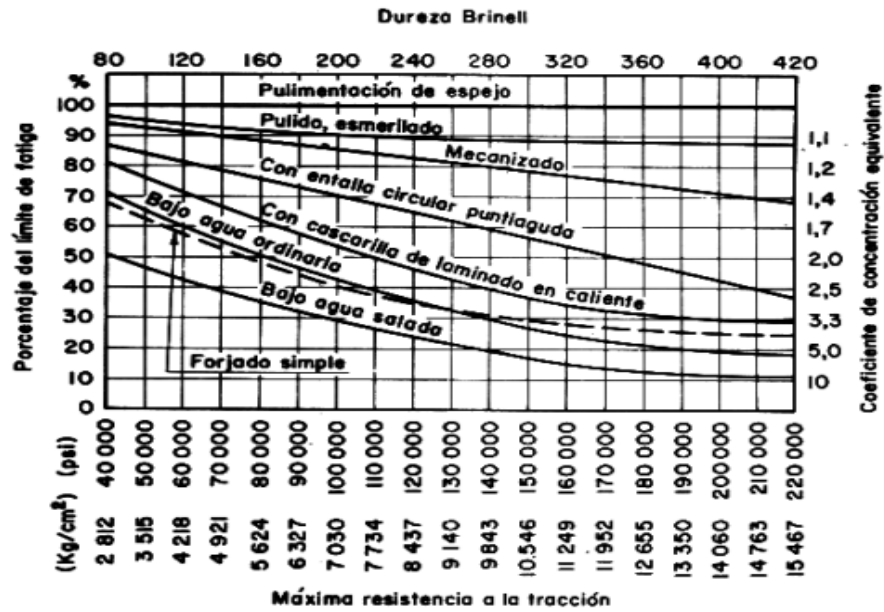


Figura 18. Cuadro de selección para el coeficiente de concentración equivalente Tomada de Diseño de ingeniería mecánica de Shigley, (2008)

$C_r = \text{Factor de confiabilidad}$

$C_o = \text{Factor de corrección de esfuerzos residuales}$

$$S^{\wedge} n = 0.5 \times S_u$$

$S_u = \text{Resistencia máxima del material.}$

Calculamos:

$$S_n = 1 * 1.1 * 0.9012 * 1.3 * \left( 0.5 * 6327.63 \frac{kg}{cm^2} \right)$$

$$S_n = 4077.26 \frac{kg}{cm^2}$$

El valor de  $K_f$  será de 3 ya que necesitaremos de un anillo de retén que irá en una ranura para evitar que la chumacera, o una posible bocina puedan soltarse.

Con respecto al valor de  $M_{max}$  y al valor de  $T$ ; estos valores son bastante bajos, como se puede observar; por lo que estos se cambiaron por valores cien veces mayores para obtener valores más representativos. Así tenemos:

$$d = \left[ 10,19 * 5 * \left[ \left( \frac{3 * 50 \text{ kg} - \text{cm}}{4077.26 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} \right)^2 + 0,694 \left( \frac{20 \text{ kg} - \text{cm}}{3163.81 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Entonces, obtenemos:

$$d = 0.9129 \text{ cm}$$

Concluimos entonces que el eje debe de tener como mínimo 1cm de diámetro.

- **Selección de las chumaceras**

Tomaremos en cuenta el valor del esfuerzo radial de la selección del eje y también agregaremos el valor del esfuerzo axial que habrá de soportar la chumacera inferior.

Mientras que el cálculo del esfuerzo axial será basado en el volumen del mismo eje:

$$F_y = V * \rho$$

Calculamos para un diámetro teórico de ½ pulgada y una altura de 40cm:

$$F_y = \frac{\pi * (6.35 * 10^{-3} \text{ m})^2}{4} * 0.4 \text{ m} * 8000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$F_y = 0.4054 \text{ kg}$$

$$F_y = 14.9593 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 3.9766 \text{ N}$$

Haciendo uso de las siguientes ecuaciones:

- Carga combinada o equivalente:

$$P = XFr + YFa$$

- Duración del rodamiento

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^b \text{ (En millones de revoluciones)}$$

- Duración del rodamiento

$$L_{10h} = \frac{(L_{10} \times 10^6)}{(n \times 60)} \text{ (En horas)}$$

- Factores para la carga combinados

$$\frac{Fa}{Co} = X \wedge \frac{Fa}{Fr} = Y$$

Así, resolvemos para un rpm de 5000 dándole 800 horas de trabajo a cada una de las chumaceras.

Siendo:

$$L_{10h} = \frac{(L_{10} \times 10^6)}{(n \times 60)} = 800 \text{ horas}$$

$$L_{10} = \frac{800 \times 5000 \times 60}{10^6} = 240 \text{ revoluciones por millón}$$

Para la duración del rodamiento tenemos:

$$L_{10} = 240 = \left(\frac{C}{P}\right)^b$$

Resolvemos con  $b = 3$ , ya que es el valor dado para los rodamientos de bolas:

$$Fr = 5 \text{ N}$$

$$Fa = 3.9766 \text{ N}$$

$$Co = 0.83 \text{ kN} = 830 \text{ N}$$

Podemos calcular los factores

$$X = \frac{3.9766}{830} = 0.0048 \wedge Y = \frac{3.9766}{5} = 0.7953$$
$$P = 0.0048 \times 3.9766 \text{ N} + 0.7953 \times 3.9766 \text{ N} = 3.1817 \text{ N}$$

Despejando de la ecuación inicial:

$$C = \sqrt[3]{L_{10}} \times P = \sqrt[3]{240} \times 3.1817 \text{ N}$$
$$C = 19.7726 \text{ N}$$

Tal como se puede observar, los valores obtenidos siguen siendo bastante bajos para las dimensiones de un sistema portátil. Por lo que se recomienda utilizar solamente dependiendo del valor de su dimensión y que esta pueda encajar con la dimensión del eje.

- **Diseño de la estructura**

El equipo de recuperación de aceite hidráulico de base mineral descansa sobre la estructura principal.

Se va a realizar un análisis completo en ANSYS WORKBENCH utilizando las fuerzas que aplica el sistema sobre la estructura.

Tanque:

Peso del tanque: 3.3 kg.

Peso del tanque lleno: Se halla por medio de la ecuación 18:

$$D = \frac{m}{V}$$

Donde:

$D$  = Densidad del aceite ISO 46

$M$  = Masa de aceite

$V$  = Volumen de aceite en el tanque

El volumen del tanque se calcula con sus medidas:  $H = 0.18 \text{ m}$  &  $r = 0.1 \text{ m}$

$$V = \pi * r^2 * h \text{ (Ecuación 19)}$$
$$V = \pi 0.1^2 * 0.18 = 0.0056 \text{ m}^3$$

Entonces la masa es:

$$m = D * V \text{ (Ecuación 20)}$$
$$m = 871 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.0056 \text{ m}^3 = 4.9 \text{ kg}$$

Hallando las fuerzas ejercidas por los elementos:

$$F = m * g \text{ (Ecuación 21)}$$

Peso del tanque total:  $4.9+3.3 = 8.2 \text{ Kg}$

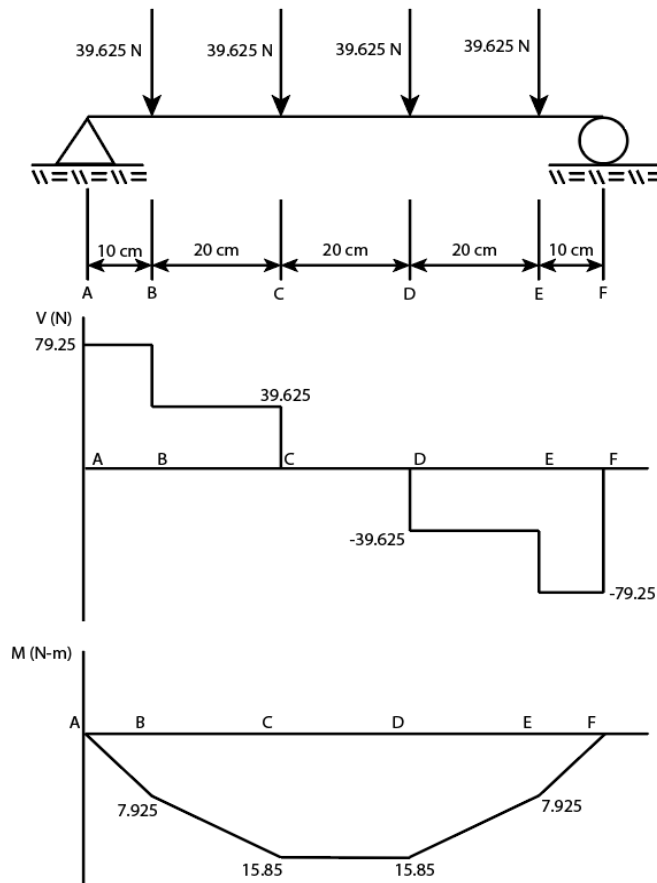
$$\text{Fuerza ejercida por el tanque: } 8.2 * 9.81 = 80.7 \text{ N}$$

$$\text{Bomba: } 25 \text{ kg} * 9.81 = 245.2 \text{ N}$$

$$\text{Filtro centrífugo: } 8 \text{ kg} * 9.81 = 78.5 \text{ N}$$

$$\text{Filtros y tubería: } 5 \text{ Kg} * 9.81 = 49.1 \text{ N}$$

Se propone evaluar el tramo del sistema estructural que va a soportar el mayor esfuerzo, por lo que este elemento resulta ser un perfil horizontal que resiste cuatro cargas. Este elemento distribuye cuatro fuerzas provenientes de los filtros centrífugos repartidos a lo largo de una proporción previa antes de conseguir el diseño final. Así, estas fuerzas serán elevadas por un factor de seguridad para que, al obtener el diseño final, no se necesiten realizar nuevos cálculos.



**Figura 19. Diagrama de fuerzas y momentos para el soporte crítico**

Como se puede observar el punto donde se encontrará la mayor deflexión será entre el segmento CD; por lo que se realiza el cálculo de dicha deflexión para terminar el momento de inercia que requiere el sistema para responder a la deformación máxima propuesta. Se utiliza el método de doble integración para esto:

Tramo AB:

$$V = 79,25$$

$$M = 79,25(x)$$

Tramo BC:

$$V = 39,625$$

$$M = 39,625(x) + 3,9625$$

Tramo CD:

$$V = 0$$



$$M = 15,85$$

Tramo DE:

$$V = -39,625$$

$$M = 35,6625 - 39,625(x)$$

Tramo EF:

$$V = -79,25$$

$$M = 63,4 - 79,25(x)$$

Realizamos una doble integración a cada una de las ecuaciones de momento para obtener las ecuaciones de pendiente y deformación para cada uno de los tramos. Así tenemos:

Tramo AB:

$$\theta = \frac{79,25(x^2)}{2} + C_1$$

$$\delta = \frac{79,25(x^3)}{6} + C_1(x) + C_2$$

Tramo BC:

$$\theta = \frac{39,625(x^2)}{2} + 3,9625(x) + C_3$$

$$\delta = \frac{39,625(x^3)}{6} + \frac{3,9625(x^2)}{2} + C_3(x) + C_4$$

Tramo CD:

$$\theta = 15,85(x) + C_5$$

$$\delta = \frac{15,85(x^2)}{2} + C_5(x) + C_6$$

Tramo DE:

$$\theta = 35,6625(x) - \frac{39,625(x^2)}{2} + C_7$$

$$\delta = \frac{35,6625(x^2)}{2} - \frac{39,625(x^3)}{6} + C_7(x) + C_8$$

Tramo EF:

$$\theta = 63,4(x) - \frac{79,25(x^2)}{2} + C_9$$

$$\delta = \frac{63,4(x^2)}{2} - \frac{79,25(x^3)}{6} + C_9(x) + C_{10}$$

Debido a la doble integración se formaron coeficientes que tendremos que igualar a partir de los datos previos. Se propone iniciar evaluando el punto  $x = 0$  m; ya que se conoce que la deformación en este lugar equivale a cero. Así mismo, se aprovechará el principio de continuidad para completar los demás coeficientes. Este proceso no se muestra ya que fue realizado mediante una hoja de cálculo en Excel y disminuir la posibilidad de errores. Las ecuaciones corregidas se observan:

Tramo AB:

$$\theta = \frac{79,25(x^2)}{2} + 0.198125$$

$$\delta = \frac{79,25(x^3)}{6} + 0.198125(x) + 0$$

Tramo BC:

$$\theta = \frac{39,625(x^2)}{2} + 3,9625(x) + 1.783125$$

$$\delta = \frac{39,625(x^3)}{6} + \frac{3,9625(x^2)}{2} + 1.783125(x) + 0.006604$$

Tramo CD:

$$\theta = 15,85(x) + 4.953125$$

$$\delta = \frac{15,85(x^2)}{2} + 4.953125(x) + 0.1783125$$

Tramo DE:

$$\theta = 35,6625(x) - \frac{39,625(x^2)}{2} - 5.176016$$

$$\delta = \frac{35,6625(x^2)}{2} - \frac{39,625(x^3)}{6} - 5.176016(x) - 0.165104$$

Tramo EF:

$$\theta = 63,4(x) - \frac{79,25(x^2)}{2} - 14.88414$$

$$\delta = \frac{63,4(x^2)}{2} - \frac{79,25(x^3)}{6} - 14.88414(x) - 1.618021$$

Tomamos la ecuación del tramo CD, para determinar calcular el momento de inercia mínimo que debe de poseer el perfil metálico para una distancia de 0.4 m; que es donde sucede la mayor deformación. Se propone utilizar acero A36.

$$EIy'' = \frac{15,85(x^2)}{2} + 4.953125(x) + 0.1783125$$

$$I = \frac{\frac{15,85(x^2)}{2} + 4.953125(x) + 0.1783125}{Ey''}$$

$$I = \frac{3.42 N * m^3}{200 * 10^9 \frac{N}{m^2} * 0.0008 m} = 21,37 * 10^{-9} m^4$$

$$I = 21,37 * 10^{-9} m^4 * \frac{(100 cm)^4}{(1 m)^4} = 2,1375 cm^4$$

Se propone utilizar perfiles cuadrados de acero ya que la estética de dará un mejor vistazo al trabajo final obtenido. Finalmente, procedemos a comparar los perfiles que se puede encontrar en el mercado para seleccionar el que se adecúe mejor a nuestro proyecto.

**Tabla 15. Comparativa de momentos de inercia para secciones de perfiles metálicos**

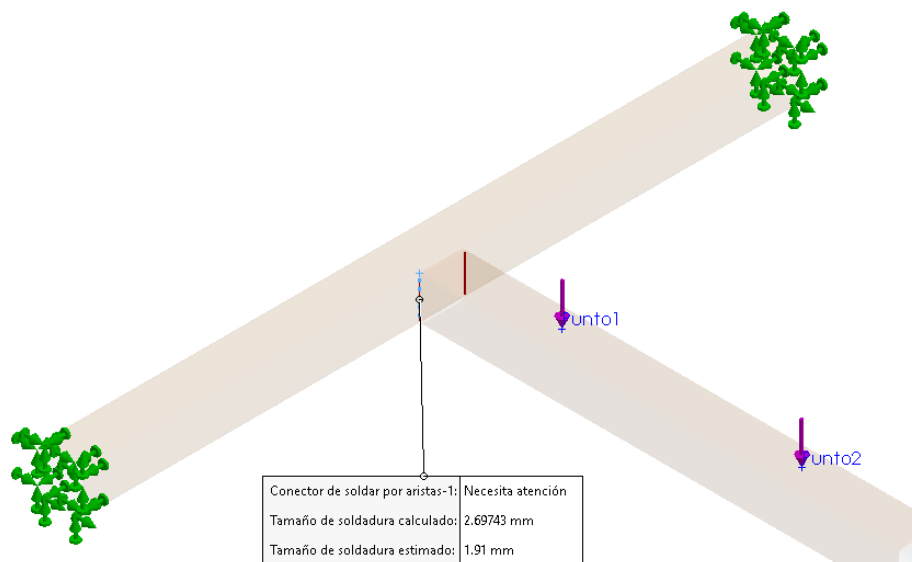
Medida	Espesor (mm)	Peso (kg/m)	Momento de inercia (cm <sup>4</sup> )
1 1/4" x 1 1/4"	1.910	1.71	3.17
(32 mm x 32 mm)	2.281	2.20	3.62
1 1/2" x 1 1/2"	1.910	2.09	5.71
(38 mm x 38 mm)	2.794	2.94	7.56
	3.175	3.27	8.21
	3.801	3.89	9.24

*Elaborada por los autores a partir de información recogida de Manuales de diseño de construcción con acero*

Podemos observar que los perfiles de 1 1/4" x 1 1/4" se acomodan perfectamente al momento de inercia esperado para el diseño de la estructura. Sin embargo, en el mercado al cual se presenta el proyecto, son más difíciles de conseguir y su precio no varía en demasía con su contraparte de 1 1/2" x 1 1/2". Ya que un perfil más grande dará una estética más esbelta, así como disminuirá las vibraciones y deformaciones debido a su peso y mayor momento de inercia; se selecciona este último perfil.

Se concluye que habrán de utilizarse perfiles metálicos de acero A36 para formar la estructura de la máquina. La estructura se mantendrá fija mediante uniones soldadas. Se propone utilizar electrodos E6011, para las uniones.

Muchos de estos perfiles tendrán puntos donde las uniones serán iguales o incluso mayores a seis cordones de soldadura. Por lo que se plantea evaluar un punto donde las uniones sean menos. El punto que une los travesaños donde irán soportados los filtros centrífugos es el punto donde solo se tienen dos uniones a 90°. Así pasamos a simular dicha unión para determinar su viabilidad.



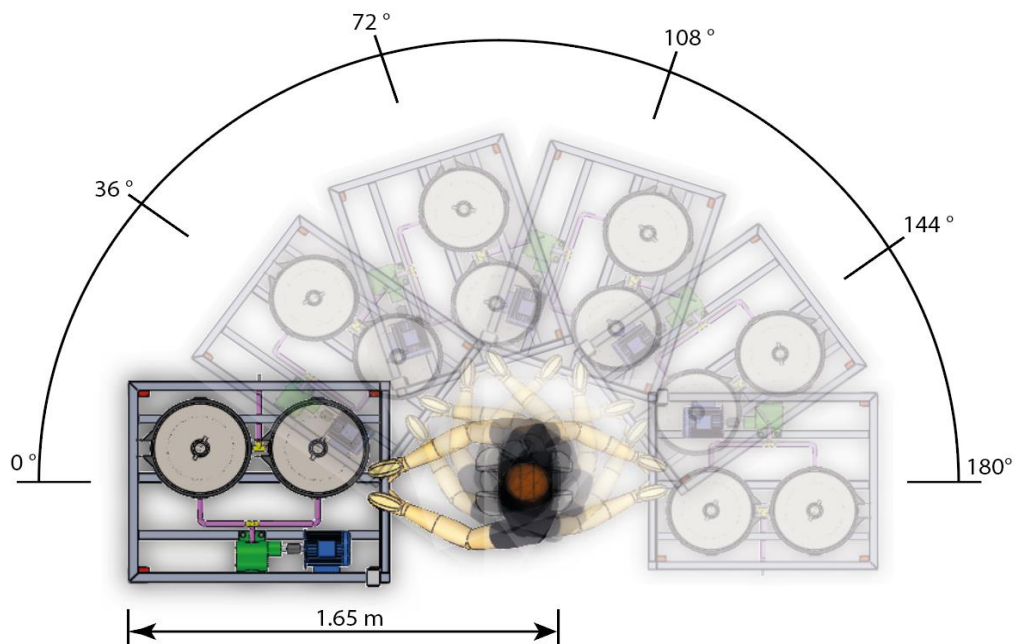
**Figura 20. Comprobación del cordón de soldadura del soporte crítico**

El análisis por medio del software SolidWorks nos indica que, para un factor de seguridad de 3, el cordón de soldadura debería tener un tamaño de 2.697 mm como mínimo. Esta distancia sobrepasa el espesor establecido anteriormente, por lo que

se recomienda utilizar un cordón de soldadura cuyo tamaño sea el mismo que el del espesor de las superficies a unir, en favor de que se procure tener una unión más confiable.

Así podemos concluir, que el espesor de los perfiles a utilizar será: 1 ½" x 1 ½" x 2.794 mm, estos perfiles se mantendrán unidos por cordones de soldadura de un espesor mínimo de 2.7 mm, finalmente; los electrodos a utilizar serán E6011.

Se propone realizar un estudio de maniobrabilidad para terminar si las dimensiones propuestas son las correctas en nuestro proyecto. Para esto se evalúa el sistema mediante un modelo humano y estudiar su movimiento.



**Figura 21. Simulación de maniobrabilidad del sistema más usuario**

Tal como se puede observar la maniobrabilidad del sistema requiere una distancia de 1.65 metros para poder realizar giros hasta un ángulo de 180°. El sistema posee ruedas que permiten su movilidad para avanzar y retroceder.

La portabilidad del sistema permite mover el sistema de filtros centrífugos hasta un auto o almacén de aceite para que pueda pasar por el filtro. Además, se cuenta con tuberías de acople rápido para realizar las conexiones de entrada y salida.

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Los lubricantes de autos comúnmente recuperan partículas que provienen del desgaste y la mezcla de fluidos que pueda ocurrir dentro del sistema, estos productos contaminantes pueden provenir del desgaste del motor e inclusive ser componentes naturales de la combustión dentro de los cilindros. Tal como indica Santiago y Pedraza (1), las partículas cuyo tamaño resultan ser mayores que 10 micrones son comúnmente recuperados por los filtros para evitar que generen un desgaste abrumador sobre el sistema del auto; sin embargo, aquellas partículas con un tamaño menor que este poseen una mayor dificultad para su filtrado.

Dentro de un auto, los contaminantes más comunes encontrados en los lubricantes son elementos metálicos originadas por el desgaste y el contacto entre las superficies de los componentes sometidos a fricción. También, se puede encontrar óxidos metálicos naturales de la oxidación de las partes metálicas cuyo recubrimiento se va perdiendo debido a la abrasión causada por la fricción. Debido que los autos no son sistemas herméticos cerrados al ambiente, es posible encontrar polvo proveniente del medio ambiente causado por el desgaste de los filtros u orificios sin reparar, por ejemplo.

Otros componentes técnicamente más complicados de filtrar puede ser los refrigerantes que podrían haberse combinado con el aceite, como el agua; e incluso algunas moléculas de combustible pudieron haberse mezclado durante el funcionamiento del automóvil. Los elementos de naturaleza procedente de la

degradación del mismo lubricante también ingresan a esta categoría. La presente investigación no propuso como finalidad principal eliminar este tipo de contaminantes como objetivo del funcionamiento de la máquina.

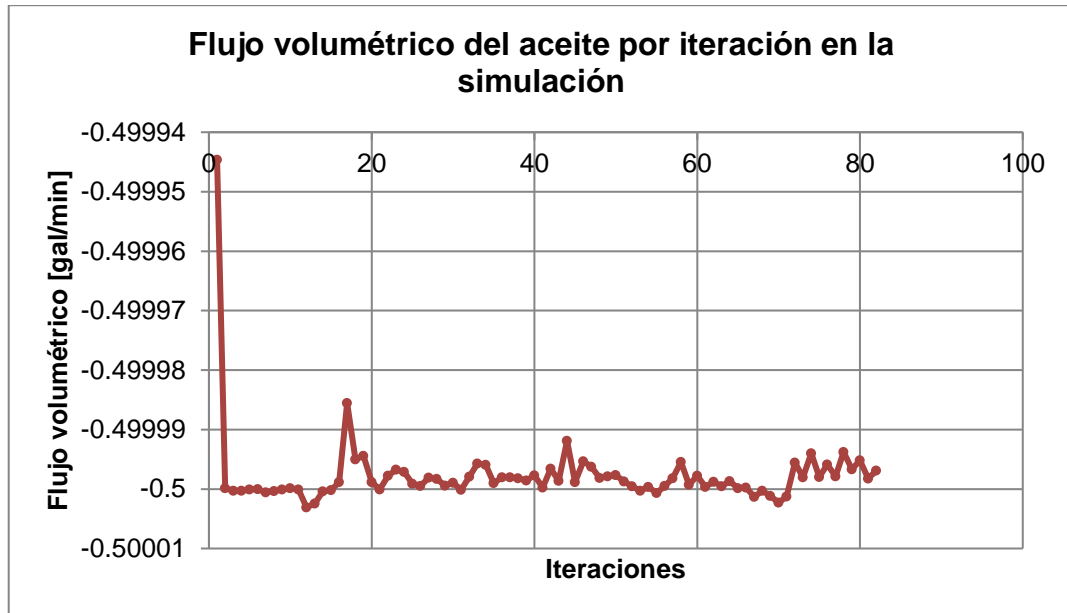
Aldana (7) sugiere que para aquellas partículas con un promedio de tamaño de 5 micrones requieren procesos de filtrado más finos y por ende son más caros. Sin embargo, se presentó la propuesta de desarrollar un sistema de filtrado que funcione a partir de la localización de las partículas a filtrar sobre las paredes de un tambor giratorio que aproveche la fuerza centrífuga generada para llevarlos hacia dicho punto. Para el desarrollo de esta solución se propuso utilizar la norma VDI 2222 para evaluarse y trabajarse.

Los autores de la presente investigación consideraron como una solución óptima aquella que funciona mediante dos filtros centrífugos alimentados por un motor de engranajes a través de tuberías fijas. Dentro de este filtro centrífugo, el aceite se filtrará mediante el efecto de fuerza centrífuga sobre las partículas contaminantes que contenga, haciendo que dichas partículas se dirijan hacia las paredes del filtro metálico. El aceite es posteriormente dirigido hacia una brida de salida luego de escapar por dos agujeros dentro del tambor giratorio.

Los materiales de construcción de la máquina se evaluaron entre diferentes alternativas entre las cuales resaltaron: acero inoxidable AISI 316 para el filtro y las tuberías; o el acero A36 para el soporte de la máquina. La selección de los mismos estuvo evaluada mediante la ponderación de ventajas y desventajas de cada uno, tomando los valores más altos para aquellas características que se acomodan a nuestro proyecto.

Los cálculos del presente proyecto evaluaron la fuerza necesaria para llevar las partículas contaminantes hacia las paredes del filtro. Asimismo, se evaluaron las pérdidas causadas por las tuberías y los accesorios y así determinar la potencia de la bomba que habrá de requerir. Siendo esta una bomba de engranajes de 0.5 hp de potencia y un caudal mínimo de 1 gpm. Por lo que la adquisición de una bomba de este tipo puede incluso ser una destinada al bombeo de aceite para maquinaria pesada.

Dentro del mismo software, se realizó una simulación de la máquina en funcionamiento, de donde se obtuvo el siguiente recuadro que nos permite observar el ingreso de flujo volumétrico de aceite hacia los filtros centrífugos.



**Figura 22. Flujo volumétrico del aceite hacia los filtros a partir de la simulación en SolidWorks**  
*Elaborada a partir de los datos propuestos en la presente investigación*

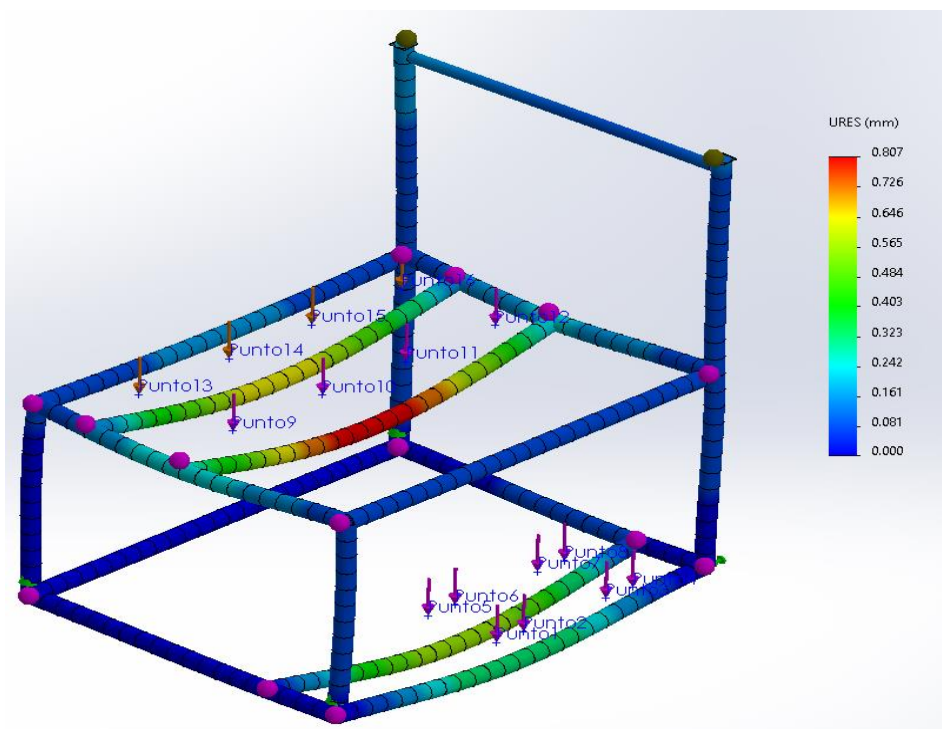
De la tabla se muestran los valores negativos que representan al caudal perdido por la bomba en el momento del funcionamiento de la máquina. Ya que es una simulación para una situación donde los agentes externos, como el desgaste de componentes, o la acumulación de partículas contaminantes, no están siendo considerados; las fluctuaciones en el valor del flujo volumétrico se ven casi modificadas.

Finalmente, podemos concluir que las dimensiones de la máquina han sido definidas a partir de los requerimientos dados por el cliente. Donde se aprovechó de la norma VDI 2222 para realizar la configuración de la máquina y así obtener un producto que pueda suplir dichas necesidades. Las dimensiones de los componentes, entre medidas, potencias, caudales, entre otros; fueron obtenidos a partir de cálculos y catálogos de fabricantes.



Los planos fueron realizados mediante el software SolidWorks donde se realizó el diseño de los modelos en tercera dimensión de cada una de las partes. Así, se aprovechó que esta plataforma sirve como un simulador de ensamblaje para configurar la máquina y realizar alternativas para obtener una disposición eficiente. Se obtuvo una máquina con las siguientes dimensiones: A diferencia de Gonzales (3), quien considera una planta para regenerar aceites, la investigación considera una máquina cuyo peso total de cada uno de los filtros es de 23,82 kg con dimensiones de 45cm \* 50cm \* 40cm; mientras que el peso total de la máquina es de 67.16 kg con dimensiones de 105 cm \* 100cm \* 80cm.

La estructura se simuló para determinar las deformaciones provocadas por los esfuerzos causada por los filtros centrífugos, la bomba y el motor. Se propuso limitar la deformación a un límite de 1mm sobre el eje Y, ya que esto podría provocar que los componentes se traben causando inconvenientes e incluso accidentes. Por ende, la tolerancia de planicidad recomendada por los autores para cada uno de los perfiles instalados debería ser de como máximo 1mm para compensar la deformación de diseño.



**Figura 23. Deformación sobre la estructura debido a los componentes**

Se propuso la construcción de la estructura utilizando perfiles de acero estructural A36 unidos mediante soldadura con electrodo E6011 a lo largo de cada uno de los contactos, esquinas y tes, que pudiera formarse en las juntas de los perfiles, tan cual se puede observar en los planos. A comparación de Villanueva (9), quien utiliza proceso de microfiltrado, este diseño se consideró para ser más simple y, posiblemente eficiente, por lo que se aumentó el espesor y las dimensiones de los perfiles de tal modo que se evite utilizar demasiados refuerzos que pudieran aumentar el peso de la estructura, además de que no utiliza energía eléctrica más que solo en el motor eléctrico, por lo que su uso podría resultar menos costoso.

Este diseño supone una opción de construcción para resolver el problema de filtrado de partículas sólidas en aceites de lubricación para motores diésel, así mismo, este diseño debe de competir comercialmente con aquellos otros que se encuentran en el mercado por lo que económicamente puede sugerir un ingreso para los diseñadores que propusieron esta solución. Con respecto al ámbito científico, la innovación de una máquina o componente, siempre sugiere un avance tecnológico para el entorno donde se desarrolla como para la comunidad científica, ya que se permite intercambiar información para motivar y acercarse a un siguiente y nuevo avance.

## CONCLUSIONES

Los elementos principales de contaminación que pueden encontrarse en los lubricantes para autos son metálicos provenientes del desgaste de los componentes debido a la fricción, óxidos que podrían provenir de los mismos componentes desgastados debido a la abrasión, e inclusive polvo proveniente del medio ambiente. Así como también, refrigerantes, moléculas de naturaleza proveniente de la degradación del lubricante.

La selección del material para las tuberías incluyó comparativas de características físicas entre materiales para determinar el más óptimo. Así se concluyó que el sistema se componga de tuberías de acero inoxidable AISI 316 desde la entrada de la bomba hasta la entrada a los filtros centrífugos. Este tipo de material también se encuentra a la salida del filtro centrífugo.

El caudal de suministro de la bomba es de 0,5 gpm ya que cada filtro centrífugo debe recibir 0.25 gpm como caudal; este caudal no puede ser incrementado ya que el diseño está limitado por el volumen del tanque dentro del filtro. En el caso de que ser incrementado el caudal este debe de tener un máximo de 0.5 gpm sobre cada filtro con un monitoreo constante sobre los agujeros de salida.

Se incluye un manómetro a la salida de la bomba para monitorear cualquier incremento de presión ya que los filtros y la bomba deben de funcionar bajo el menor régimen de presión dado por el fabricante. De incrementarse la presión en la bomba se incrementarán las vibraciones que podrían dañar la estructura de la misma.

La estructura está configurada a partir de perfiles metálicos A36, y unido por medio de cordones de soldadura completos en cada margen de las uniones utilizando electrodos E6011. El transporte de la máquina funciona a partir de ruedas en la parte inferior. Mientras que su uso consta de un panel de botones para encender y apagar la bomba.

La estructura está diseñada para poseer una deformación de 1mm en su punto de mayor esfuerzo, por lo que se considera para su ensamblaje dar como tolerancia de planicidad máxima un milímetro para el perfil de mayor deformación. Esta tolerancia considera la disminución de vibraciones debido al margen de error en la orientación de los componentes.

## RECOMENDACIONES

Ya que la evaluación de las soluciones entregó la solución por debajo de la mejor solución técnica, es posible realizar evaluaciones para disminuir el costo de fabricación, montaje y diseño para la solución que ocupó el primer lugar en la evaluación técnica. De tal modo que pueda realizarse un nuevo proyecto sobre dicha propuesta.

Es recomendable utilizar acero inoxidable en las tuberías de ingreso y salida; sin embargo, de requerirse un material diferente puede incluirse el aluminio. De hacer uso de PVC para las tuberías, se recomienda utilizar componentes de espesor alto para disminuir vibraciones y aumentar la vida útil de los componentes que podrían verse afectados por fenómenos como el golpe de ariete o la contaminación por desgaste.

Es importante no obviar ninguno de los manómetros propuestos ya que estos deben monitorear la correcta presión bajo la que la máquina funciona. Esto debido a que el diseño no responde a presiones de mayor magnitud que podría afectar la estabilidad del eje de ingreso del aceite que se encuentra sujeto solamente por un rodaje fijo.

La estructura de soporte debe de soldarse en cada uno de los márgenes establecidos en los planos, asimismo, debe de recibir un acabado doble inicial de una pintura anticorrosiva seguido de una pintura anticorrosiva de diferente color. Esto se realiza para evitar que residuos de óxido pudieran caer sobre la bomba y el filtro puesto que podría obstruir las salidas del aceite filtrado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

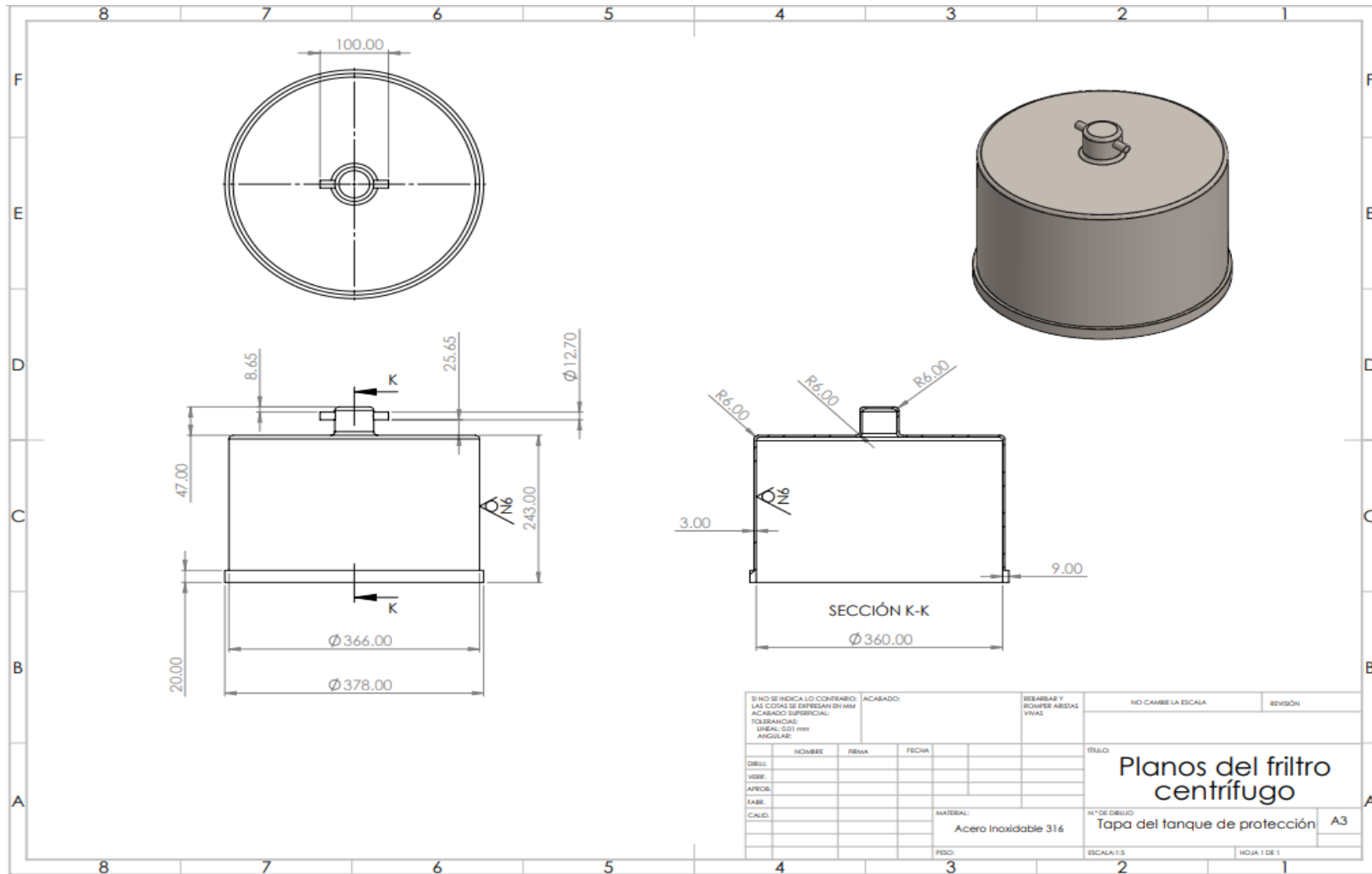
1. SANTIAGO, O. y PEDRAZA, W. Diseño de una máquina para el filtrado de aceite lubricante, contaminado. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Bogotá– Colombia: Fundación Universidad de América, 2019, 208 pp.
2. RODIBAUGH, S. Centrífugos montados en equipos controlan contaminantes de los aceites lubricantes y reducen costos. [en línea] Paper Técnico Revista Minería, 2017. [Fecha de consulta: 14 de enero de 2022] Disponible en: <https://bbpsac.com/wp-content/uploads/2017/04/Paper-T%C3%A9cnico-Revista-Miner%C3%ADa.pdf>
3. GONZALES, E. Diseño y construcción de un prototipo de una planta para regenerar aceites usados con productos biodegradables. Tesis (Título de Ingeniero Automotriz). Quito- Ecuador: Universidad Tecnológica Equinoccial, 2017, 88 pp.
4. CEDILLO A. & JARAMILLO D. Estudio de la incidencia del uso de filtros de aceites alternos en el envejecimiento prematuro del aceite del motor de combustión interna. Tesis (Título de Ingeniero Automotriz). Cuenca – Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, 2014, 188 pp.
5. MONROY, W. Determinación de la rutina de mantenimiento predictivo como resultado del análisis de muestras de aceite usado para un motor de combustión interna marca John Deere modelo 6081. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2013, 105 pp.
6. AGUILAR, D. Diseño de un sistema de regeneración de los aceites lubricantes multigrado usados en automóviles livianos, para su reutilización en la región de Lambayeque. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico Eléctrico). Chiclayo – Perú: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, 2021, 86 pp.
7. ALDANA, D. Diseño de una planta de diálisis de 20 litros/hora para disminuirla presencia de sólidos en el aceite automotriz de vehículos livianos. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico Electricista). Chiclayo - Perú: Universidad César Vallejo, 2019, 96 pp.

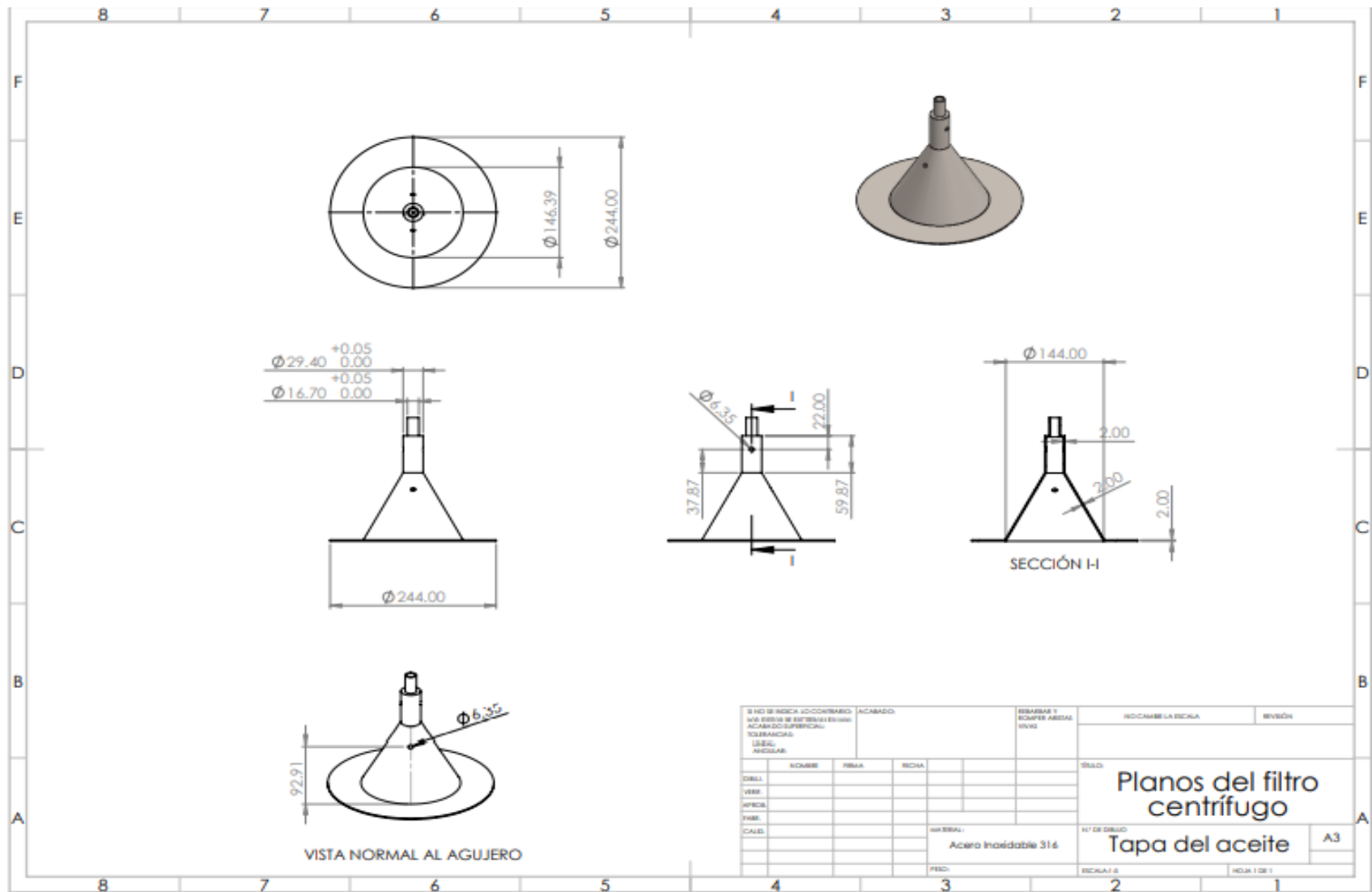
8. APAZA, R. Evaluación de la confiabilidad con el fin de extender la vida útil del lubricante en los motores de mixer durante su periodo de funcionamiento. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Arequipa – Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2017, 121 pp.
9. VILLANUEVA, E. Regeneración del aceite usado en los camiones Komatsu 930 ES, a través del sistema de micro filtrado para reducir costos en la Compañía Minera Antamina Huaraz-2020. Trabajo de investigación (Bachiller en Ingeniería Industrial). Chimbote – Perú: Universidad César Vallejo, 2020, 65 pp.
10. EGOAVIL, D. Implementación de un programa de lubricación para aumentar la disponibilidad de los Scoops Caterpillar R1600G en la Compañía Minera Casapalca. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Lima: Universidad Tecnológica del Perú, 2019, 159 pp.
11. ALBARRACÍN, P. y PINZÓN, R. Tribología y Lubricación. Cálculo del ahorro de energía por menor fricción. *Dyna*. Noviembre, 2004, 71 (144),137-149. ISSN: 0012-7353
12. TROYER, Drew y FITCH, Jim. *Oil analysis basics*. Noria Corporation. Second Edition. (2010) 192 pp.
13. WIDMAN, R. La vida útil de equipo pesado, transmisiones, diferenciales y sistemas hidráulicos. [en línea] Santa Cruz, Bolivia. [Fecha de consulta: 24 de enero de 2022] Recuperado en: <https://docplayer.es/12724837-La-vida-util-de-equipo-pesado-transmisiones-diferenciales-y-sistemas-hidraulicos.html>
14. MARTÍNEZ, A. Motores de combustión interna. [en línea] IES Baix Montseny Sant Celon, 2007 [Fecha de consulta: 12 de febrero del 2022] Disponible en: <https://docplayer.es/2272230-Motores-de-combustion-interna.html>.
15. BUDYNAS, R. y NISBETT, K. *Diseño en Ingeniería mecánica de Shigley*. 8va. Edic. Mc Graw – Hill – Interamericana (2008). ISBN-10: 970-10-6404-6

16. WAUQUIER, J. *El refino del petróleo*. Madrid, Ediciones Díaz de Santos. (2004). ISBN:978-84-7978-623-6
  
17. HERNÁNDEZ, R., FERNANDEZ, C. y BAPTISTA, P. *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill / Interamericana Editores S.A., 634 pp., 2014. ISBN: 978-1-4562-2396-0

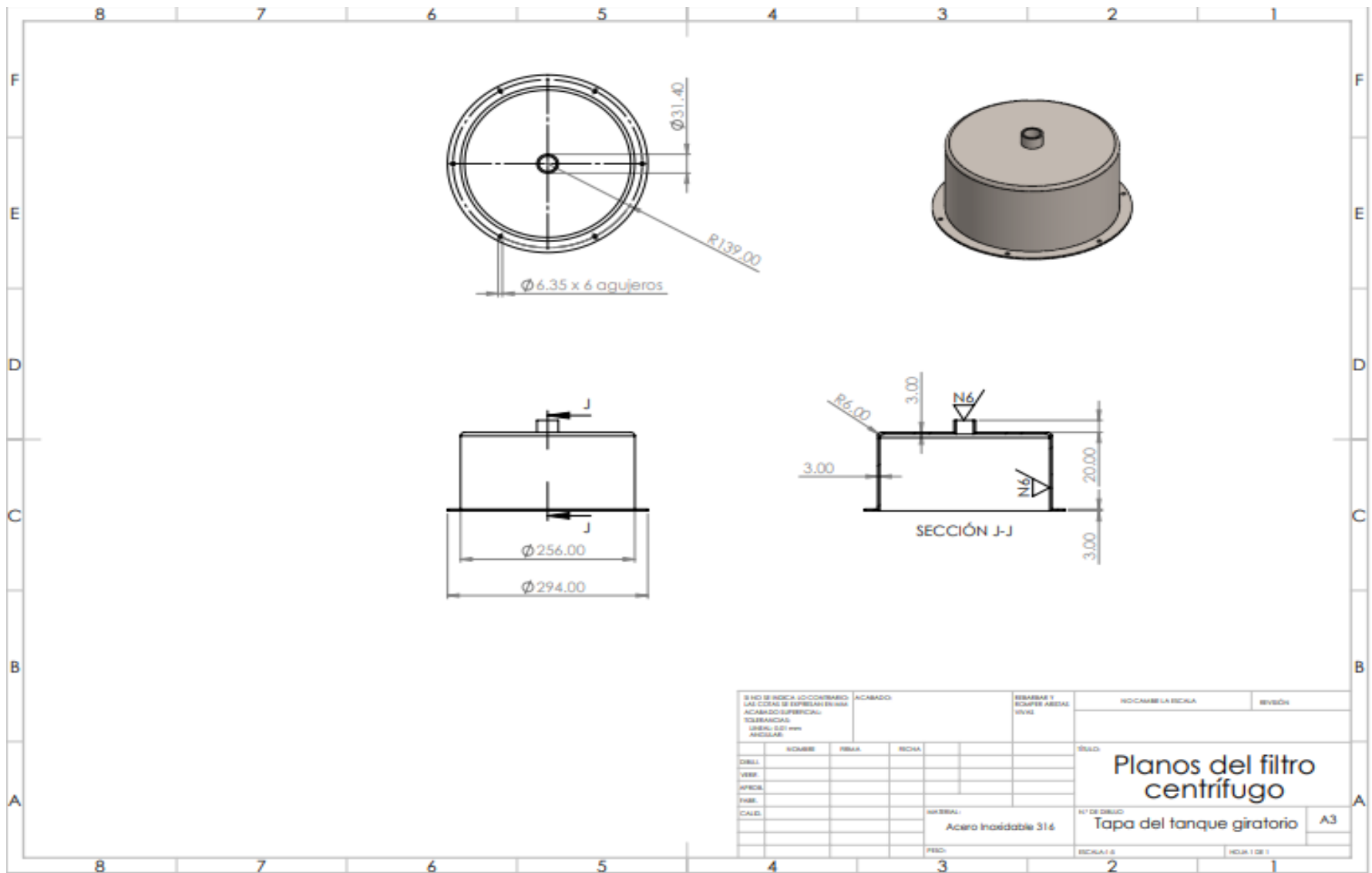


## **ANEXOS**

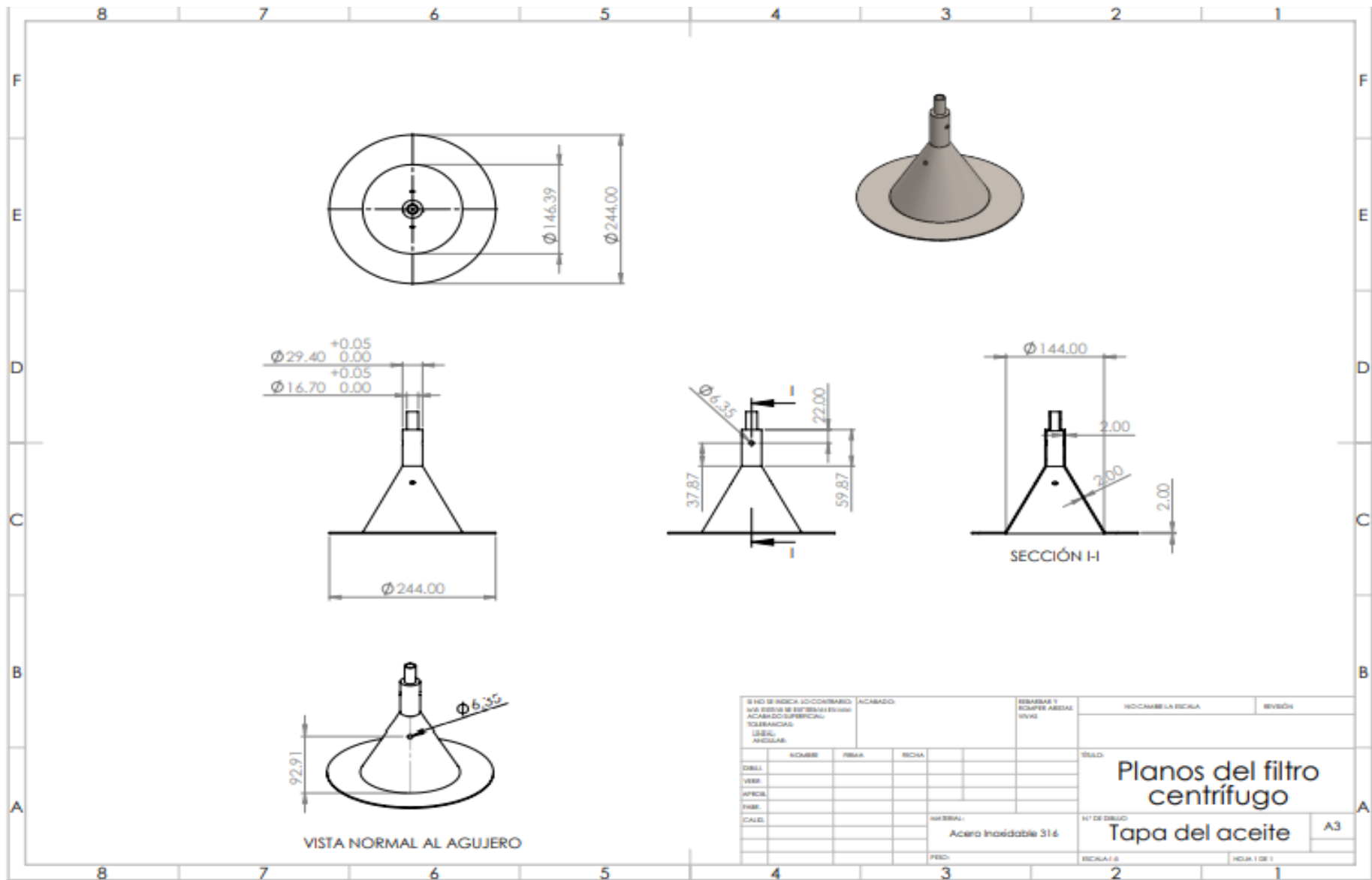




Si no se indica lo contrario: A) A menos de especificación B) Acabado superficial C) Tolerancias D) Línea E) Angular		ACABADO	RESERBAS Y SCAPES ABERTAS SINUS	INDICAR LA ESCALA	REVISIÓN
DISEÑO	NOMBRE	FECHA	NOVA	TÍTULO <b>Planos del filtro centrífugo</b>	
VERIF.				Nº DE DISEÑO <b>Tapa del aceite</b>	
APROB.				ESCALA 1:1	
MATER.				HOJA 1 DE 1	
CAJAS				A3	
MATERIAL: Acero Inoxidable 316					



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE ESPESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: 0.1 mm ANGULAR: NINGUNA		ACABADO:	REBARBAR Y ESQUEJE ABASTA MÍNIMO		NO CAMBIAR LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE PÉREA ESCALA		NOMBRE PÉREA ESCALA	NOMBRE PÉREA ESCALA	NOMBRE PÉREA ESCALA	TÍTULO <h2 style="text-align: center;">Planos del filtro centrífugo</h2>	
DISEÑO VERIFICACIÓN APROBACIÓN FASES CALIFICACIONES		MATERIAL: <b>Acero inoxidable 316</b>		NÚMERO DE DIBUJO: <b>Tapa del tanque giratorio</b>		A3
		FECHA:		ESCALA: 1:1		HOJA: 1 DE 1

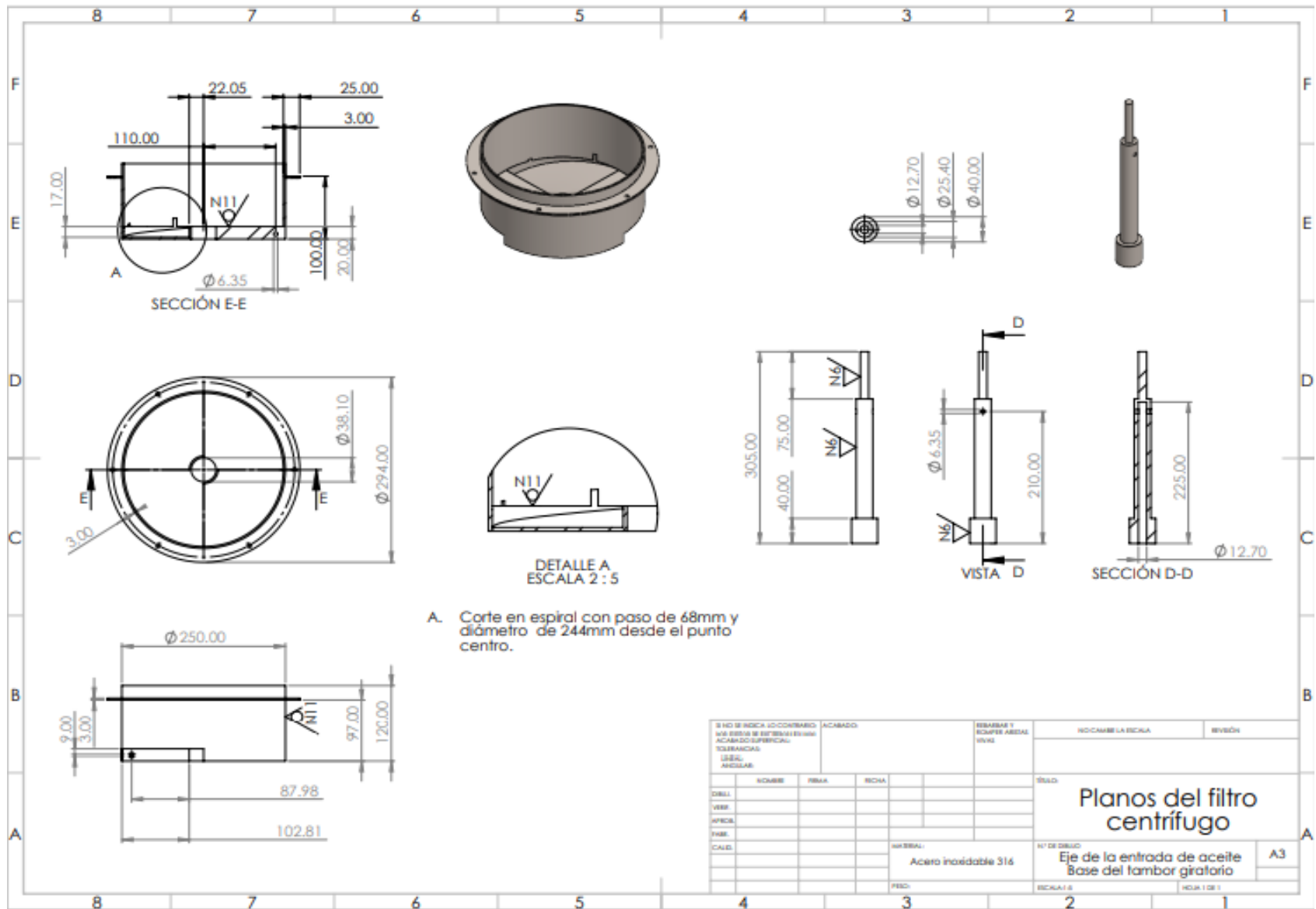


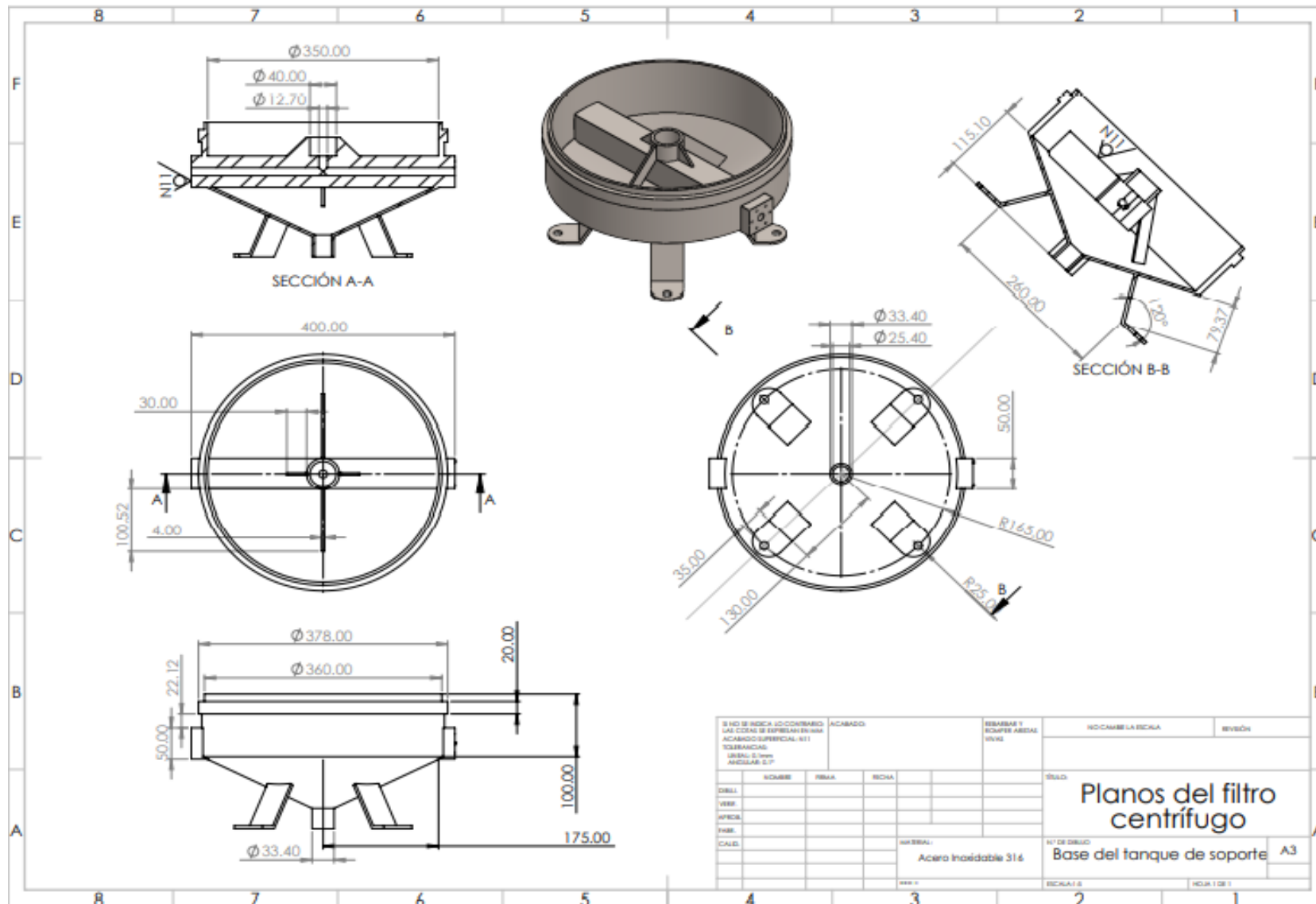
$\varnothing 29.40$   $\begin{matrix} +0.05 \\ 0.00 \end{matrix}$   
 $\varnothing 16.70$   $\begin{matrix} +0.05 \\ 0.00 \end{matrix}$

SECCIÓN I-I

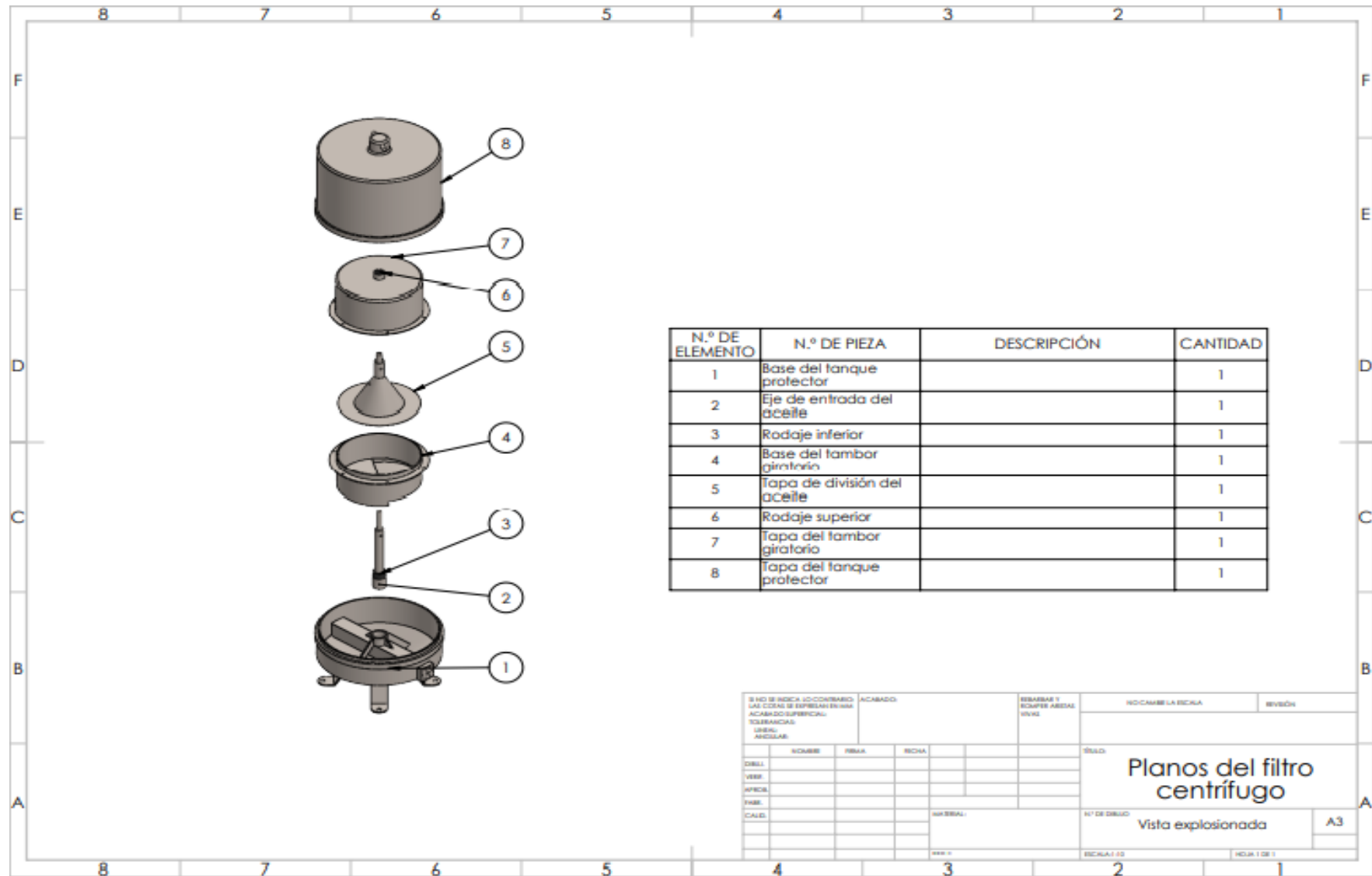
VISTA NORMAL AL AGUJERO

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO A LA DEBIDA SE ENTENDE EN MM ACABADO SUPERFICIAL TOLERANCIAS UNID. ANGULAR				ACABADO	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VARI	INDICAR LA ESCALA	REVISIÓN
DISEÑ VER APROB FIRM CALD				NOMBRE	FECHA	ESCALA	
				MATERIAL: Acero inoxidable 316		TÍTULO: <b>Planos del filtro centrífugo Tapa del aceite</b>	
				FECHA		ESCALA 1:1	HOJA 1 DE 1



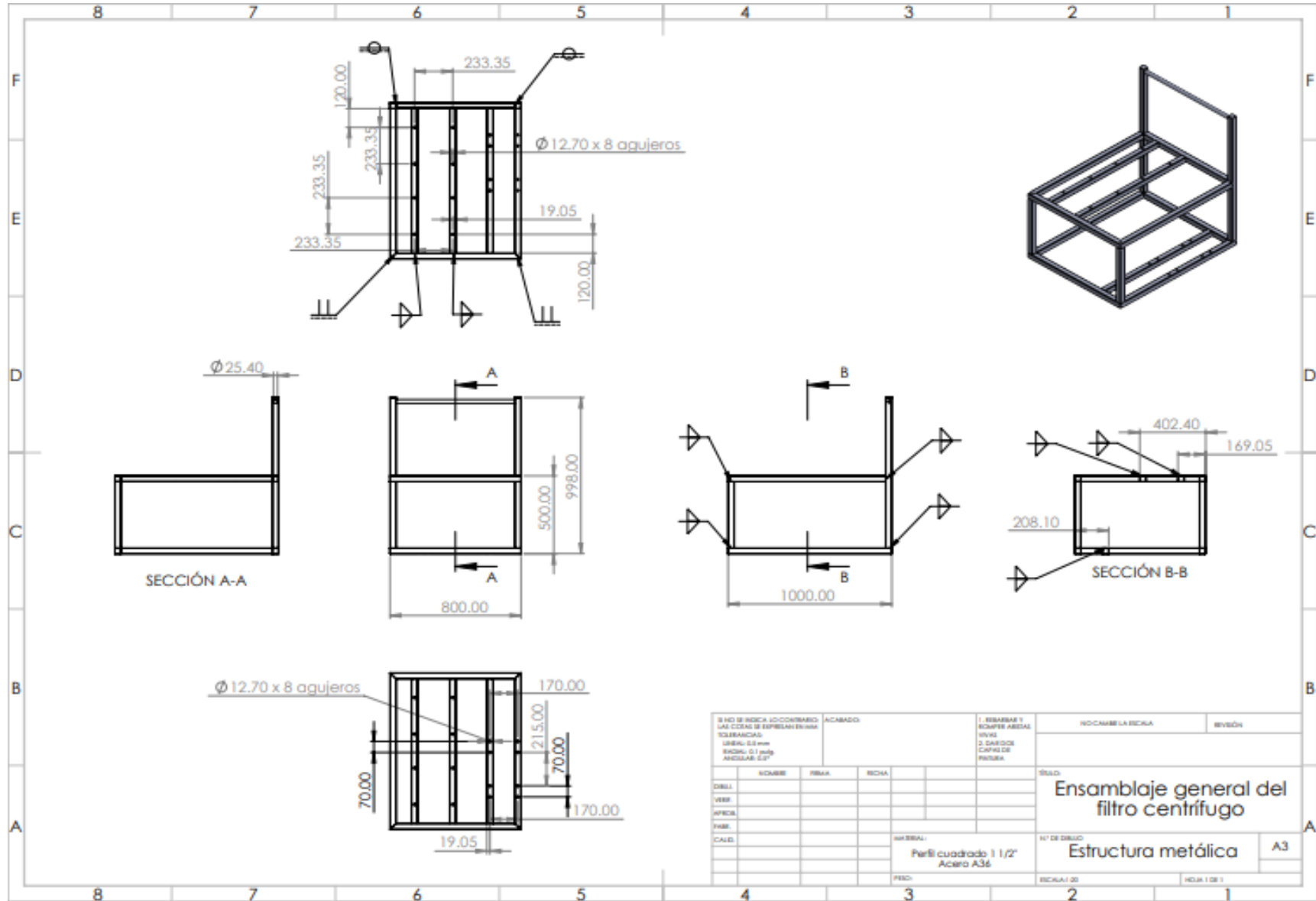


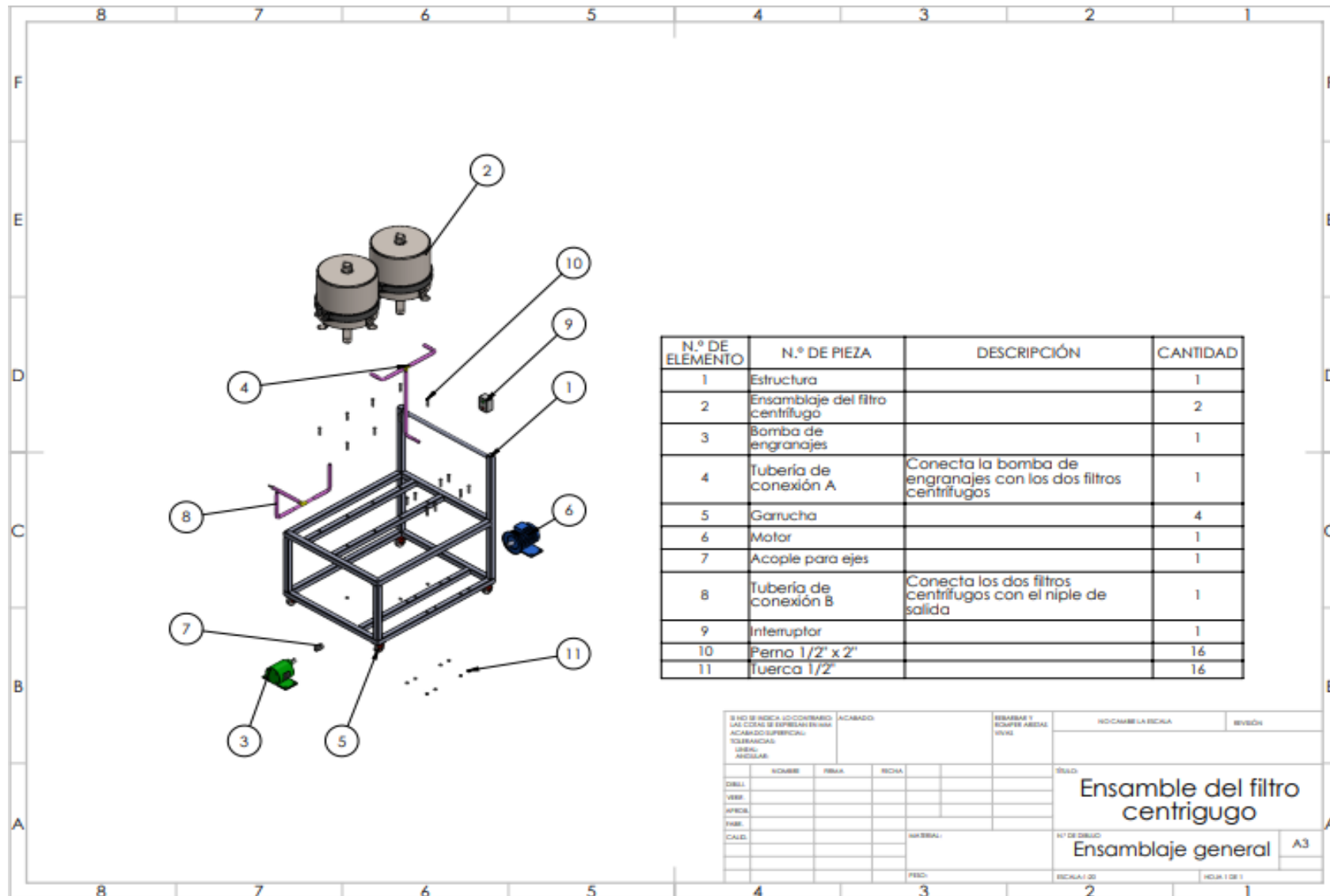
B NO DE INDICA ACCIONES LAS CUALS SE ESPERAN EN EL ACABADO SUPERFICIAL. N11 TOLERANCIAS: LINEAL: $\pm 0.10$ ANGULAR: $\pm 1'$		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS EN V:	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ VERB APROB FIRM CALIF		NOMBRE FECHA FECHA FECHA	MATERIAL: Acero Inoxidable 316	TÍTULO: <b>Planos del filtro centrífugo</b> N° DE DIBUJO: Base del tanque de soporte	
		ESCALA: 1:1		HOJA 1 DE 1	



Si no se indica lo contrario: LAS COTAS SE ESPESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAS: NEGLIGABLES		ACABADO:	REBARBAR Y ESQUINAS ARDEAS R0,5		NO CAMBIE LA ESCRITA	REVISIÓN
DISEÑO: VERB: APROB: FIRM: CALIF:	NOMBRE: PIEZA: FECHA: MATERIAL:	ESCALA: HOJA 1 DE 1	TÍTULO: <h2 style="text-align: center;">Planos del filtro centrífugo</h2>		N.º DE DIBUJO: Vista explosionada	
		ESCALA: 1:1		A3		







N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1		Estructura	1
2		Ensamblaje del filtro centrifugo	2
3		Bomba de engranajes	1
4		Tubería de conexión A Conecta la bomba de engranajes con los dos filtros centrifugos	1
5		Garucha	4
6		Motor	1
7		Acople para ejes	1
8		Tubería de conexión B Conecta los dos filtros centrifugos con el niple de salida	1
9		Interruptor	1
10		Perno 1/2" x 2"	16
11		Tuerca 1/2"	16

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADOS SUPERFICIALES: TOLERANCIAS: LINEAS: ANGULOS:		ACABADO:	REBARBAR Y RASCAR ADECUA VIVI	NOMBRE DE LA ESCALA REVISION
DISEÑADOR: VERIFICADOR: INGENIERO: TÉCNICO: CALIFICADO:	NOMBRE: FECHA: LUGAR:	ESCALA: MATERIAL:	TÍTULO: <b>Ensamble del filtro centrifugo</b> <b>Ensamblaje general</b>	
FECHA:			Nº DE DIBUJO: <b>A3</b>	HOJA 1 DE 1