

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PORTÁTIL PARA LA  
RECUPERACIÓN DEL ACEITE HIDRÁULICO USADO DE BASE MINERAL  
DEL LABORATORIO DE SISTEMAS OLEONEUMÁTICOS**

**DANIS ALBERTO ROMERO VILLALBA  
CHRISTIAN ADRIAN MENESES SUAREZ**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA  
2011**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PORTÁTIL PARA LA  
RECUPERACIÓN DEL ACEITE HIDRÁULICO USADO DE BASE MINERAL  
DEL LABORATORIO DE SISTEMAS OLEONEUMÁTICOS**

**DANIS ALBERTO ROMERO VILLALBA  
CHRISTIAN ADRIAN MENESES SUAREZ**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Mecánico**

**Director  
CARLOS BORRÁS PINILLA  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA  
2011**

*A Dios  
Por darme la vida y bendecirme siempre.*

*A mis padres Diosa Y Eliecer  
Por brindarme su apoyo incondicional cuando más lo necesitaba.*

*A mis hermanos Carmenza, Wilfred, Heider y Jean Carlos  
Por desearme siempre lo mejor.*

*A todos mis familiares  
Que de una u otra forma hicieron posible la realización de este proyecto.*

*A mi novia Jenny Marcela Sánchez  
Por escucharme, apoyarme, darme fuerzas y sobre todo por quererme tanto.*

*A todos mis amigos y compañeros  
Quienes me acompañaron en la realización de este logro.*

*A Said Gómez y Martha Navarro  
Por ser como mis segundos padres en esta ciudad*

**Danis Alberto Romero Villalba**

*A Dios, la gran razón de estar aquí.*

*A mis padres, hermanos y familiares, que me apoyaron en todo momento y se  
esforzaron por ayudarme.*

*A Johanita Quintero, que me dio los ánimos y el soporte para seguir adelante con  
las botas puestas, un motorcito completo para mí.*

*A mis amigos y compañeros, por las experiencias vividas, lo bueno y lo malo.*

**Christian Adrian Meneses Suarez**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores del presente proyecto agradecen a todas las personas involucradas en el desarrollo del mismo, pero especialmente a:

Ingeniero Carlos Borrás Pinilla, director del proyecto, por ser una guía en el cumplimiento de los objetivos propuestos en este proyecto.

Ingeniero Abel Parada Corrales, por su asesoría en el montaje del prototipo.

Carlos Oviedo, por su apoyo y colaboración en la construcción de este proyecto.

A los muchachos del Punto del Inoxidable, por sacar tiempo y dedicación de su preciado tiempo para colaborarnos en este logro.

Andrés Mauricio Vera, por facilitarnos los logotipos de la Universidad, de la Escuela de Ingeniería Mecánica y del grupo de investigación DICBOT.

Docentes de la escuela de Ingeniería Mecánica y de la facultad de Físico-Mecánicas, por su labor de formación integral para nosotros como ingenieros, a lo largo de nuestra trayectoria por la Universidad Industrial de Santander.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	17
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	19
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA.....	21
1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO .....	22
1.3.1 Objetivo General.....	22
1.3.2. Objetivos Específicos .....	22
2. MARCO TEORICO .....	24
2.1 FLUÍDOS HIDRÁULICOS .....	24
2.2 ACEITES USADOS.....	28
2.2.1 Definición .....	28
2.2.2 Historia del Aceite Usado.....	28
2.2.3 Contaminación en los Aceites.....	29
2.2.4 Composición de los aceites usados y principales fuentes .....	32
2.3 EFECTOS SOBRE LA SALUD Y EL MEDIO AMBIENTE .....	33
2.3.1 Efectos sobre la salud .....	33
2.3.2 Sobre el medio ambiente .....	34
2.4 GESTIÓN DE ACEITES HIDRÁULICOS USADOS.....	36
2.4.1 Alternativas de gestión de los aceites hidráulicos usados de base mineral ..	36
2.4.2 Tecnologías de recuperación para la re-utilización de aceites hidráulicos usados de base mineral .....	36
2.4.3 Tipos de Filtración Mecánica.....	37
3. NORMATIVA LEGAL COLOMBIANA.....	39
4. NIVELES DE LIMPIEZA ESTANDARES EN LA INDUSTRIA.....	44
4.1 EQUIPOS DE ENSAYO .....	44
4.1.1 Contadores ópticos .....	44
4.1.2 Contadores por bloqueo de poro .....	46
4.1.3 Contadores por análisis de imagen.....	47
4.2 CÓDIGOS DE NIVELES DE LIMPIEZA .....	48
4.2.1 ISO 4406:1987 e ISO 4406:1999 .....	48
4.2. NAS 1638.....	50
4.3.1 Interpretación de los resultados.....	53
4.3.2 Grados de limpieza necesarios para diferentes máquinas.....	54
5. DISEÑO DEL PROTOTIPO .....	56
5.1 ALTERNATIVAS PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....	56
5.2 SELECCIÓN FINAL DEL PROTOTIPO DE RECUPERACIÓN DE ACEITE HIDRÁULICO USADO DE BASE MINERAL .....	60
5.3 DESPLIEGUE DE LA FUNCION DE CALIDAD (QFD).....	61
5.4 DESCRIPCION DE LA PROPUESTA SELECCIONADA .....	63
5.4.1 Estructura principal .....	64
5.4.2 Tanque de almacenamiento de prellenado.....	64

5.4.3 Tanque de almacenamiento .....	65
5.4.4 Filtro centrífugo.....	66
5.4.5 Filtros de 10 y 20 micrones.....	67
5.4.6 Motobomba de engranajes .....	68
5.5 DISEÑO MECANICO DEL PROTOTIPO .....	68
5.5.1 Cálculo del caudal de la bomba.....	68
5.5.2 Velocidad de Salida de Chorro de Aceite Hidráulico.....	69
5.5.3 Presión de Salida del Chorro.....	71
5.5.4 Velocidad del Rotor.....	71
5.5.5 Pérdidas en Tuberías y Accesorios.....	72
5.5.6 Pérdidas Antes de la Bomba .....	74
5.5.7 Cargas Sobre la Estructura .....	75
5.5.8 Calculo de Ejes.....	76
5.5.9 Selección de Rodamientos .....	77
5.5.10 Eje de Sujeción de las Ruedas de la Estructura.....	77
5.6 ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LA ESTRUCTURA PRINCIPAL .....	81
5.6.1 Geometría.....	81
5.6.3 Resultados.....	83
5.7 MODOS DE VIBRACIÓN .....	86
5.7.1 Geometría.....	86
5.7.2 Enmallado:.....	88
5.7.3 Solución y análisis de los resultados .....	88
6. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE.....	90
6.1 CONTRUCCIÓN.....	90
6.1.1 Estructura principal .....	92
6.1.2 Sistema de transporte y estabilidad .....	94
6.1.3 Sistema de anclaje.....	97
6.1.4 Soporte del sistema motor-bomba, filtro centrífugo y tanque de almacenamiento .....	99
6.1.5 Tanque de almacenamiento .....	100
6.1.6 Filtro centrífugo.....	102
6.1.7 Rotor.....	103
6.1.8 Panel de control y circuito eléctrico.....	104
6.1.9 Tuberías y accesorios.....	108
6.2 MONTAJE DE LOS COMPONENTES.....	111
6.3 FILTROS Y SISTEMA MOTOR-BOMBA.....	113
6.3.1 Filtros.....	113
6.3.2 SISTEMA MOTOR-BOMBA .....	114
6.4 PRESUPUESTO.....	117
7. PRUEBAS Y RESULTADOS .....	120
7.1 RESULTADOS.....	121
7.2 CERTIFICADO DE CONTEO DE PARTICULAS ISO 4406.....	123
7.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	123
7.4 EFICIENCIAS PARCIALES DE LOS FILTROS.....	124

7.5 REPRESENTACION GRAFICA DE LOS RESULTADOS .....	127
CONCLUSIONES.....	130
RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES.....	131
BIBLIOGRAFIA.....	132
ANEXOS .....	134

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ventas de aceite hidráulico en Colombia .....	19
Tabla 2. Contaminantes en los aceites usados .....	30
Tabla 3. Aditivos .....	31
Tabla 4. Emisiones a la atmosfera por combustión de aceites .....	35
Tabla 5. Tabla de porcentaje para la mezcla y límites máximos de contaminantes en aceites usados tratados .....	42
Tabla 6. Diferencia entre las normas ISO 4406 (1987) y ISO 4406 (1999).....	49
Tabla 7. Grados de limpieza ISO 4406 .....	49
Tabla 8. Métodos ISO antiguos y nuevos para la calibración y codificación.....	50
Tabla 9. Cambios en la calibración de los contadores de partículas .....	50
Tabla 10. Grados de limpieza NAS 1638/AS 4059 .....	51
Tabla 11. Tamaños de partículas medidos en relación con el método de calibración utilizado.....	51
Tabla 12. Grados de limpieza AS 4059 .....	52
Tabla 13. Comparación Grados de limpieza ISO 4406 y NAS 1638.....	52
Tabla 15. Estado del fluido en función del código ISO.....	55
Tabla 16. Matriz de calidad de la función de calidad QFD .....	62
Tabla 17. Ponderación de resultados de la función de calidad QFD .....	63
Tabla 18. Tabla de resultados de la función de calidad QFD .....	63
Tabla 19. Tiempo de prueba para cálculo de caudal .....	69
Tabla 20. Especificaciones del motor .....	115
Tabla 21. Presupuesto filtro centrífugo .....	117
Tabla 22. Presupuesto tanque de almacenamiento.....	118
Tabla 23. Presupuesto Estructura.....	118
Tabla 24. Presupuesto Tuberías y accesorios .....	118
Tabla 25. Presupuesto sistema de filtración .....	119
Tabla 26. Mano de obra prototipo portátil .....	119
Tabla 27. Gastos varios .....	119
Tabla 28. Presupuesto general del proyecto .....	119

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Practicas de disposición final de los aceites usados.....	20
Figura 2. Disposición de aceites usados en Latinoamérica .....	20
Figura 3. Grafica Viscosidad vs Temperatura .....	25
Figura 4. Índice de Viscosidad .....	26
Figura 5. Contaminantes presentes en aceites.....	32
Figura 6. ZY High Efficient Vacuum Oil Purifler .....	57
Figura 7. Bosquejo 1 de prototipo portátil de recuperación de aceite hidráulico usado.....	58
Figura 8. Bosquejo 2 de prototipo portátil de recuperación de aceite hidráulico usado.....	59
Figura 9. Estructura principal.....	64
Figura 10. Tanque de almacenamiento .....	65
Figura 10. Tanque de almacenamiento de prellenado.....	65
Figura 11. Tanque de almacenamiento .....	66
Figura 12. Filtro centrífugo.....	67
Figura 13. Filtros de 10 y 20 micrones.....	67
Figura 14. Motobomba de engranajes .....	68
Figura 15. Velocidad en la tubería de salida.....	71
Figura 16. Coeficientes de pérdidas en codos .....	74
Figura 17. Catálogo de rodamientos Timken.....	77
Figura 18. Cargas sobre el eje.....	78
Figura 19. Enmallado eje de las ruedas .....	78
Figura 20. Cargas aplicadas al eje de las ruedas.....	79
Figura 21. Deformación total .....	79
Figura 22. Esfuerzo equivalente elástico.....	80
Figura 23. Factor de seguridad .....	80
Figura 24. Estructura principal .....	81
Figura 25. Enmallado estructura.....	82
Figura 24. Enmallado estructura.....	82
Figura 26. Cargas en la estructura .....	82
Figura 27. Deformación total .....	83
Figura 28. Esfuerzo equivalente .....	84
Figura 29. Factor de seguridad de la estructura .....	85
Figura 30. Ensamblaje completo .....	86
Figura 31. Estructura prototipo.....	87
Figura 32. Enmallado estructura.....	88
Figura 33. Frecuencias naturales .....	89
Figura 34. Torno Imoturn 5 Hp.....	90
Figura 35. Pulidora Black & Decker .....	91
Figura 36. Esmeril Black & Decker.....	91
Figura 37. Equipo de soldadura de argón .....	92

Figura 38. Diseño CAD de la estructura.....	93
Figura 39. Estructura tubular construida .....	94
Figura 40. Ruedas neumáticas 8x12 .....	95
Figura 41. Soporte de la estructura.....	96
Figura 42. Orificios de acoplamiento a la estructura .....	97
Figura 43. Platinas de sujeción del tanque .....	98
Figura 44. Platinas de sujeción del filtro centrífugo.....	98
Figura 45. Sistema de acople del sistema motor-bomba .....	99
Figura 46. Soporte de los elementos del sistema de filtración .....	100
Figura 47. Tanque de almacenamiento .....	101
Figura 48. Tanque de almacenamiento .....	102
Figura 49. Carcasa del filtro centrífugo.....	103
Figura 50. Rotor del filtro centrífugo.....	104
Figura 51. Disyuntor Telemecanique .....	105
Figura 52. Panel de control del prototipo.....	106
Figura 53. Enchufe del prototipo.....	107
Figura 54. Caja de protección de disyuntor .....	107
Figura 55. Tubería de acero inoxidable AISI 304 ¼” .....	108
Figura 56. Accesorios del prototipo.....	109
Figura 57. Inyector .....	109
Figura 58. Mangueras de succión y salida.....	110
Figura 59. Prototipo desarmado .....	111
Figura 60. Conjunto ensamblado.....	112
Figura 61. Filtro de 20 micrones .....	113
Figura 62. Filtro Vickers de 10 micrones .....	114
Figura 63. Motor FELM.....	115
Figura 64. Acople motor-bomba .....	116
Figura 65. Bomba de engranajes .....	116
Figura 66. Circuito Hidráulico del prototipo .....	117
Figura 67. Aceite hidráulico usado ISO 46.....	120
Figura 68. Sistema de recuperación sin estructura .....	121
Figura 69. Muestras enviadas al laboratorio.....	121
Figura 70. Contador óptico Parker .....	122
Figura 71. Resultados de conteo de partículas.....	123
Figura 72. Filtro 20 micrones.....	124
Figura 73. Filtro 10 micrones.....	125
Figura 74. Filtro centrífugo.....	126
Figura 75. Disminución de partículas >4 micrones.....	127
Figura 76. Porcentaje de Reducción del filtrado >4 micrones .....	127
Figura 77. Disminución del número de partículas >6 micrones.....	128
Figura 78. Porcentaje de Reducción del filtrado >6 micrones .....	128
Figura 79. Disminución del número de partículas >14 micrones .....	129
Figura 80. Porcentaje de Reducción del filtrado >6 micrones .....	129

## NOMENCLATURA

$Q_{prom}$	Caudal promedio [ <i>gpm</i> ]
$\eta_{mec}$	Eficiencia mecánica
$Re$	Número de Reynolds
$V_{prom}$	Velocidad promedio en la tubería [ $\frac{m}{s}$ ]
$A$	Área transversal de la tubería [ $m^2$ ]
$V_1$	Velocidad promedio en la tubería [ $\frac{m}{s}$ ]
$A_1$	Área transversal del tubo de ¼" [ $m^2$ ]
$A_2$	Área de salida del eyector [ $m^2$ ]
$V_2$	Velocidad de salida del eyector [ $\frac{m}{s}$ ]
$P_1$	Presión de la bomba [ <i>psi</i> ]
$P_2$	Presión del chorro eyectado [ <i>psi</i> ]
$\rho$	Densidad del aceite hidráulico [ $Kg/m^3$ ]
$V$	Velocidad del fluido [ $\frac{m}{s}$ ]
$F_x$	Fuerza aplicada en el rodete [ <i>N</i> ]
$C_1$	Velocidad del chorro [ $\frac{m}{s}$ ]
$U$	Velocidad del rodete [ $\frac{m}{s}$ ]
$B$	Ángulo del rodete [ $^\circ$ ]
$D$	Diámetro de la tubería [ <i>m</i> ]
$\nu$	Viscosidad cinemática del aceite [ $m^2/s$ ]
$\lambda$	Coefficiente de pérdidas en tubería
$H_{pérdidas}$	Altura de pérdidas [ <i>m</i> ]
$L$	Longitud de la tubería [ <i>m</i> ]
$D$	Diámetro de la tubería [ <i>m</i> ]
$P_{pérdidas}$	Presión con pérdidas [ <i>psi</i> ]
$D_a$	Densidad del aceite ISO 46 [ $Kg/m^3$ ]
$M$	Masa de aceite [ <i>Kg</i> ]
$V$	Volumen de aceite en el tanque [ $m^3$ ]
$H$	Altura tanque [ <i>m</i> ]
$R$	Radio tanque [ <i>m</i> ]
$V_T$	Volumen tanque [ $m^3$ ]

## RESUMEN

### TITULO

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PORTÁTIL PARA LA RECUPERACIÓN DEL ACEITE HIDRÁULICO USADO DE BASE MINERAL DEL LABORATORIO DE SISTEMAS OLEONEUMÁTICOS\***

### AUTORES:

MENESES SUÁREZ Christian Adrian  
ROMERO VILLALBA Danis Alberto. \*\*

### PALABRAS CLAVES:

Aceite hidráulico usado, recuperación, filtración mecánica.

### DESCRIPCION

El presente proyecto tiene por objetivo diseñar y construir un prototipo portátil que proporcione al laboratorio de Potencia Fluida de una herramienta para la recuperación del aceite hidráulico usado de base mineral en cada uno de los bancos de pruebas.

El uso de aceite hidráulico de base mineral recuperado, reduce los efectos dañinos de la contaminación en el sistema hidráulico, favoreciendo su eficiencia, reduciendo costos de mantenimiento y garantizando la protección de la salud humana, la conservación del medio ambiente y la preservación de recursos naturales.

Proponemos una solución viable a la problemática surgida en el laboratorio de Potencia Fluida y fomentamos la aplicación de este sistema en pro del desarrollo tecnológico en la industria colombiana.

El diseño conceptual está basado bajo la normativa ISO 4406:1999 Códigos de Limpieza, que da el direccionamiento del análisis a realizar al aceite tanto usado como recuperado, además de la escogencia de las etapas de filtración.

La realización del proyecto conlleva una etapa de investigación tribológica, normativa legal vigente para el manejo de éstos residuos además de métodos de recuperación de dichos aceites, con la finalidad de proveer de bases para el diseño detallado del prototipo.

Ramas de la ingeniería como el diseño de máquinas, mecánica de fluidos, sistemas hidráulicos y la economía juegan un papel muy importante en el desarrollo del prototipo, generando así un proyecto de grado en el que se demuestran las capacidades ingenieriles de los autores.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica .Director Ing. Carlos Borrás Pinilla.

## ABSTRACT

### TITLE

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF PORTABLE PROTOTYPE FOR MINERAL BASE HYDRAULIC OIL RECUPERATION IN FLUID POWER LABORATORY\***

### AUTHORS

MENESES SUÁREZ Christian Adrian  
ROMERO VILLALBA Danis Alberto.\*\*

### KEYWORDS

Used Hydraulic Oil, recovery, mechanical filtration.

### DESCRIPTION:

This Project aims to design and build a portable prototype that gives to Fluid Power laboratory a tool for mineral base used hydraulic oil recovery in each one of testing equipments.

The utilization of recovery mineral base used hydraulic oil, reduce harmful effects of contamination in the hydraulic system, helping its efficiency, reducing maintaining costs and warranting the protection of human health, environment conservation and natural resources preservation.

We propose a viable solution to arose problematic in Fluid Power Laboratory and foment the application of this system favorable to technological development of Colombian industry.

Conceptual design is based under ISO 4406:1999 Cleanliness Codes, which gives a direction about analysis to do as used oil as recovered oil, besides the choose of the filtration stages of prototype.

Making of project needs a stage of trybological research, valid legal standards to the management of those remains besides recovery methods of used oil, with the purpose to provide bases to detailed prototype design.

Several branches of engineering like design of machines, material resistance, mechanics of fluids, hydraulic systems and economics play a very important part on mineral base used hydraulic oil recovery prototype, generating a graduation project that proves engineer's skills of authors.

---

\* Graduation project.

\*\* Faculty of Physical-Mechanical Engineering. Mechanical Engineering School. Director Ing. Carlos Borrás Pinilla.

## INTRODUCCIÓN

Los aceites lubricantes son líquidos transmisores de potencia que se utilizan para transformar, controlar y transmitir los esfuerzos mecánicos a través de una variación de presión o de flujo. Los lubricantes se interponen entre las dos superficies en movimiento, de esta manera forman una película separadora que evita el contacto directo entre ellas y el consiguiente desgaste. Es conveniente señalar que el lubricante no elimina totalmente el rozamiento, aunque sí lo disminuye notablemente. Los lubricantes también desempeñan otras importantes misiones para asegurar un correcto funcionamiento de la maquinaria, manteniéndola en estas condiciones durante mucho tiempo. Entre estas otras funciones, cabe destacar que sirve como refrigerante, para eliminar impurezas, como sellante, anticorrosivo y antidesgaste, transmisor de energía, entre otros. Los lubricantes se componen de aceites base y una serie de aditivos modificadores de las propiedades de estos aceites. Los aceites base pueden provenir del refinado del petróleo o bien de reacciones petroquímicas. Los primeros son los denominados aceites minerales y los segundos son conocidos como aceites sintéticos.

Los aceites base de tipo mineral (bases minerales) están constituidos por tres tipos de compuestos: parafínicos, nafténicos y aromáticos, siendo los primeros los que se encuentran en mayor proporción (60 - 70%), por tener las mejores propiedades lubricantes, pero siempre hay compuestos nafténicos y aromáticos que aportan propiedades que no tienen las parafinas (comportamiento a bajas temperaturas, poder disolvente, etc.).

Debido al manejo y al uso del aceite lubricante de base mineral, estos adquieren concentraciones elevadas de metales pesados producto principalmente del desgaste de la maquinaria que lubricó. Los aceites son considerados potencialmente peligrosos para el ambiente debido a su persistencia y su habilidad para esparcirse en grandes áreas de suelo y del agua, formando un film que no permite el ingreso de oxígeno, lo que produce rápidamente una significativa degradación de la calidad del ambiente.

En el caso de los aceites usados existe el riesgo adicional de la liberación de los contaminantes tóxicos presentes como es el caso de los metales pesados. El vertido de aceite en el terreno, además de contaminar el suelo, puede infiltrarse contaminando el agua subterránea, o escurrir o ser arrastrado por el agua de lluvia y contaminar los cursos de aguas. Si bien el vertido en la red de saneamiento no es una práctica muy difundida, así como tampoco la disposición en el terreno, una fracción menor de los aceites lubricantes usados es eliminada por estas vías.

Debido a que generalmente el aceite usado es comercializado como combustible alternativo debido a su poder calorífico, el principal problema ambiental se

concentra en la mala gestión del aceite que se origina en la combustión en condiciones no adecuadas. Este procedimiento genera la degradación del ambiente por la gran cantidad de contaminantes, particularmente aquellos asociados con contenidos de metales como cadmio, cromo, plomo, entre otros, que son emitidos a la atmósfera durante el proceso de combustión. Estos compuestos químicos producen un efecto directo sobre la salud humana y varios de ellos son cancerígenos.

Las prácticas inadecuadas, derivan del desconocimiento de los impactos que generan y de los procedimientos técnicos para su regeneración, de la ausencia de normativas sobre su reutilización industrial (carencia de estándares de consumo en calderas, hornos y secadores) y del mercado informal existente con estos productos. Esto hace necesario la implementación de políticas dirigidas a su disposición final, a los métodos usados para la combustión de los mismos y a la realización de equipos como este, que busca dar solución a estos problemas que afectan al ser humano y al medio ambiente.

Durante el desarrollo de este proyecto se llevo a cabo la investigación y el estudio sobre Tribología y métodos de recuperación de aceites hidráulicos usados de base mineral, que conlleve a la preparación documental de una propuesta de recuperación de aceites hidráulicos usados de base mineral en Colombia. Finalmente se aplicaron todos los conocimientos ingenieriles para desarrollar y aplicar el mejor diseño en nuestro prototipo.

Este prototipo se diseñó y se construyó, usando la re-utilización mediante el método mecánico, como técnica de menor impacto ambiental; éste método dispone de estos aceites, de forma tal que se puedan volver a usar como lubricantes. Se aplicó un tratamiento tendiente a recuperar sus condiciones como aceite y las características propias. Consisten básicamente en la aplicación de las siguientes etapas:

- a)** extracción de partículas gruesas mediante filtración.
- b)** remoción de partículas finas, mediante proceso de centrifugación.

## 1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

### 1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La problemática de la gestión de aceites usados radica en la consideración de estos aceites como un residuo especial o residuo tóxico y peligroso, dado su alto contenido de metales pesados y su alta capacidad de contaminación, estipulado en el anexo I, numerales 8 y 9 del Convenio de Basilea, aplicado en Colombia mediante la Ley 253 de enero 9 de 1996 del Ministerio de Medio Ambiente.

La propuesta investigativa respecto al reciclado del aceite hidráulico de base mineral en Colombia es mínima aun viéndose la potencialidad de estos recursos existiendo los medios para aprovecharlos. Es importante recalcar el gran uso de aceite hidráulico de base mineral en la industria colombiana aproximadamente a 226.739 barriles por año.

**Tabla 1. Ventas de aceite hidráulico en Colombia**

<b>TIPO</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
<b>Aviación</b>	1.731	1.558
<b>Industriales</b>	137.489	139.912
<b>Maquinaria pesada</b>	80.141	85.269
<b>Total</b>	219.361	226.739

Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Colombia, 2009.

Por desconocimiento de procedimientos técnicos para su adaptación, por ausencia de normatividad sobre su reutilización industrial, por la carencia de estándares de consumo en calderas, hornos y secadores y por el mercado negro existente con estos productos, se presume que los manejos dados a los aceites usados, son inadecuados, no solo ambiental, sino técnicamente. En la gráfica 1 se muestra la disposición final de aceites hidráulicos usados en Colombia:

**Figura 1. Prácticas de disposición final de los aceites usados**

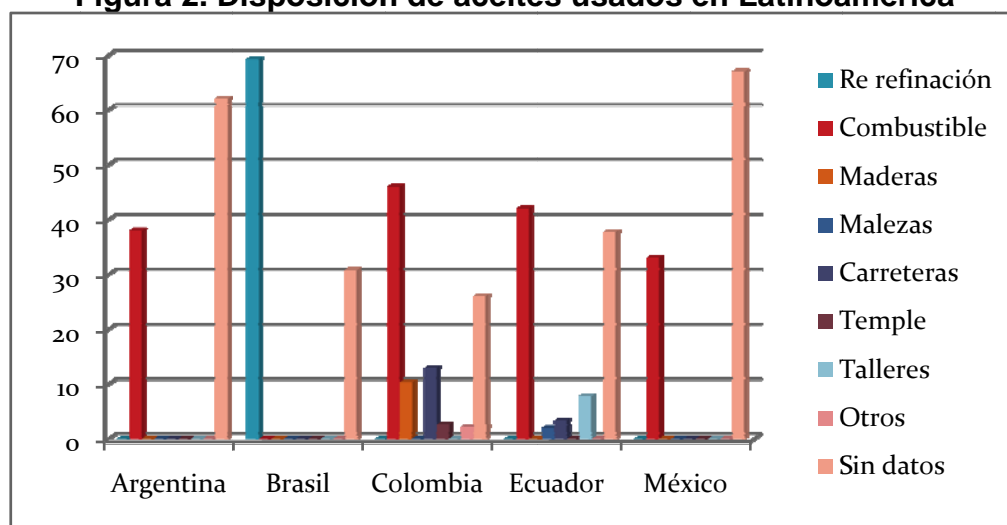


Fuente: Unidad De Planeación Minero-Energética UPME, Ministerio de Minas Y Energía. Colombia, 2001.

La industria tiene la responsabilidad de promover la adopción de medidas para reducir al máximo la generación de estos desechos, así como establecer políticas y estrategias para que su manejo y eliminación se ejecuten sin menoscabo del medio ambiente y se reduzcan sus propiedades nocivas mediante técnicas apropiadas.

En la figura 2 se muestra la disposición de aceites usados en Colombia, Argentina, Brasil, Ecuador y México:

**Figura 2. Disposición de aceites usados en Latinoamérica**



Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Colombia, 2009.

Se puede observar que Brasil es el único país que implementa la refinación del aceite hidráulico usado en un 69.2%, demostrando así que es uno de los países más desarrollados de la región, gracias a su investigación y aplicación de tecnologías en recuperación de aceites hidráulicos. Por lo contrario Colombia muestra su deficiencia en estos avances, ya que el destino que da a los aceites hidráulicos usados no es el mejor, utilizando un 46% de estos residuos como combustible industrial, trayendo como consecuencia mayores índices de contaminación ambiental.

La escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander cuenta con un completo laboratorio de potencia fluida. Para el manejo de este laboratorio es indispensable la utilización de aceite hidráulico como elemento de transmisión de potencia en los bancos. Este fluido disminuye sus características y propiedades, debido al poco manejo, la humedad presente en los tanques por falta de purga, falta de cambio de filtros, reventones en mangueras y la presencia de impurezas y partículas contaminantes causadas por el deterioro en los sistemas hidráulicos.

Al finalizar cada periodo académico, los técnicos de mantenimiento de la Escuela de Ingeniería Mecánica toman estos residuos y los utilizan para limpieza de los talleres, lubricación de equipos y maquinaria de los laboratorios y el restante es depositado en contenedores por lo cual este almacenamiento no cumple con las normas ambientales vigentes.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA**

La contaminación es el principal factor que influye en la disminución del rendimiento y de la vida útil de un sistema hidráulico. Esto representa un gasto inútil de tiempo, de recursos financieros y de mayor consumo de energía (tiempo de paro, funcionamiento incorrecto, cambio de componentes averiados y aumento de consumo de aceite o de la frecuencia de cambio del mismo).

El uso de un aceite hidráulico de base mineral recuperado, reduce los efectos dañinos de la contaminación en el sistema hidráulico, favoreciendo su eficiencia, reduciendo costos de mantenimiento y garantizando la protección de la salud humana, la conservación del medio ambiente y la preservación de recursos naturales.

La política de recuperación de aceite en sus bases primarias está atrasada, lo que genera un lugar de acción investigativa, encaminada a la gestión responsable de recursos naturales. En su misión investigativa la ingeniería mecánica llena los requisitos para proveer soluciones viables a esta problemática que coadyuvan en el desarrollo del país.

Siguiendo esta visión, la Escuela de Ingeniería Mecánica ha enfatizado en el sostenimiento cada vez más óptimo de sus laboratorios, proporcionando así un

campo de acción en el cual sus estudiantes puedan desarrollar métodos de conservación de recursos. En los últimos años en los países desarrollados han aparecido nuevos procesos y tecnologías que permiten la reutilización y reciclaje de residuos o desechos peligrosos, transformándolos en sustancias susceptibles de ser utilizadas o aprovechadas. La Ingeniería Mecánica ha tomado un papel fundamental en la investigación de la recuperación de aceites hidráulicos usados de base mineral; esto nos lleva a la aplicación de estos avances a nuestro entorno, ya que hoy en día es deficiente en el país.

Mediante el diseño y construcción de un prototipo de recuperación de aceites hidráulicos usados de base mineral, proponemos una solución viable a la problemática surgida en el laboratorio de sistemas Oleoneumáticos y fomentamos la aplicación de este sistema en pro del desarrollo tecnológico en la industria colombiana.

### **1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO**

#### **1.3.1 Objetivo General**

- Continuar con la misión de la Universidad Industrial de Santander de formar personas de alta calidad ética, profesional e investigativa, para el mejoramiento de la calidad de vida de la comunidad e industria nacional, fomentando la generación e innovación de herramientas de ingeniería para el aprovechamiento efectivo de recursos, contribuyendo a la sostenibilidad económica y ambiental de los sistemas hidráulicos del laboratorio de potencia fluida de la escuela de Ingeniería Mecánica y promoviendo el desarrollo del Centro de Investigaciones en Sistemas Dinámicos Multifísicos, Control y Robótica DICBOT.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Realizar un estudio sobre Tribología y métodos de recuperación de aceites hidráulicos usados de base mineral, que conlleve a la preparación documental de una propuesta de recuperación de aceites hidráulicos usados de base mineral en Colombia, siguiendo el formato para la presentación de proyectos de investigación científica y tecnológica de Colciencias, a través del Centro de Investigaciones en Sistemas Dinámicos Multifísicos, Control y Robótica DICBOT.
- Diseñar y construir un prototipo portátil para la recuperación del aceite hidráulico del laboratorio de Sistemas Oleoneumáticos, que cumpla las siguientes especificaciones técnicas:
  - Soporte estructural tubular montado sobre ruedas, ergonómico para su manejo y transporte y con un tablero de control con interruptores para encendido/apagado.
  - Motor con bomba volumétrica de engranajes (0.5-1 GPM @ 2 HP).

- Filtros de cartucho con parte superior intercambiable, con capacidad de filtración de 10 y 20 micrones.
- Filtro centrífugo (Autopropulsado).
- Manómetro para señalización de obstrucción del filtro.
- Capacidad de 0.5-1 GPM.
- Peso inferior a 40 kg para el fácil desplazamiento del equipo dentro del laboratorio.
- Diseñar el prototipo portátil completo en el software SolidWorks 3D CAD y emplear el software ANSYS como herramienta para la simulación de cargas y esfuerzos a las que se encuentra sometida la estructura del prototipo.
- Realizar ajustes y puesta en marcha del prototipo en el laboratorio de Sistemas Oleoneumáticos, para la extracción de muestras del aceite hidráulico usado recuperado.
- Realizar un estudio cualitativo y análisis microscópico visual de los aceites usados en los bancos del laboratorio de Sistemas Oleoneumáticos, comparando las características de aceite nuevo, usado y recuperado, bajo la norma ISO 4406 Cleanliness Codes.
- Cumplir con la normativa ambiental vigente, ley 253 de 1996, resolución número 1446 de 2005, respecto al tratamiento de aceites hidráulicos usados.
- Elaborar un manual de uso y mantenimiento del equipo para el usuario.

## 2. MARCO TEORICO

### 2.1 FLUÍDOS HIDRÁULICOS

Los aceites hidráulicos son líquidos transmisores de potencia que se utilizan para transformar, controlar y transmitir los esfuerzos mecánicos a través de una variación de presión o de flujo. Su principal función es la transmisión de energía.

Funciones secundaria:

- Lubricar los mecanismos y piezas en movimiento.
- Sellar interiormente los asientos metálicos directos.
- Proteger las partes del sistema contra la oxidación.
- Soportar presiones y temperaturas elevadas fluctuantes.
- Evacuar al exterior el calor desarrollado en el sistema.
- Evitar la formación de espuma
- Evacuar el agua, aire y otros contaminantes.
- Conservarse inalterable.
- Eventualmente ser anti inflamable.
- No atacar las partes componentes del sistema.

Para cumplir las funciones anteriormente descritas, los aceites hidráulicos deben tener propiedades determinadas:

#### ***Densidad:***

La densidad de un aceite lubricante se mide por comparación entre los pesos de un volumen determinado de ese aceite y el peso de igual volumen de agua destilada, cuya densidad se encuentra definida en valor igual a 1 (UNO), a igual temperatura. Para los aceites lubricantes normalmente se indica la densidad a 15°C.

#### ***Untuosidad:***

La untuosidad es la propiedad que representa mayor o menor adherencia de los aceites a las superficies metálicas a lubricar y se manifiesta cuando el espesor de la película de aceite se reduce al mínimo, sin llegar a la lubricación límite.

#### ***Viscosidad:***

Para equipos hidráulicos se utilizan fluidos cuyas viscosidades no son menores de 8 cSt y no pasan de 200 cSt. Los más usuales se encuentran en el rango: 22 a 100 cSt.

La elección de la viscosidad apropiada del fluido depende de muchos factores como ser: el tipo de bombas, motores y válvulas, la temperatura de operación, la temperatura ambiente, etc. En éste punto deben seguirse las recomendaciones

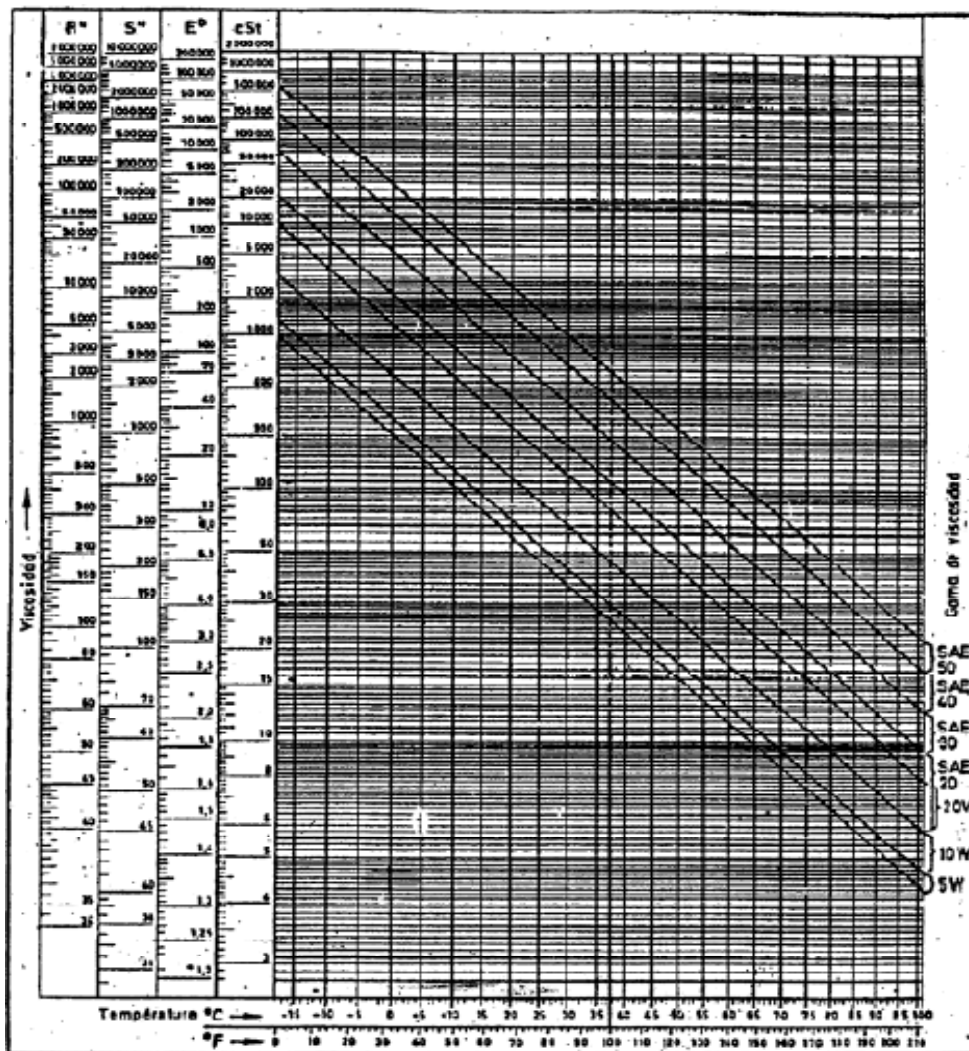
dadas por el fabricante. La viscosidad de un líquido es función de la temperatura (en menor medida, de la presión).

Existen diferentes expresiones para expresar dicha relación, como la ecuación 1:

$$\ln\left(\frac{\mu}{\mu_0}\right) = a + b\left(\frac{T}{T_0}\right) + c\left(\frac{T}{T_0}\right)^2 \quad \text{Ecuación 1}$$

En un ábaco ASTM en el que se representa la viscosidad frente a la temperatura la ecuación es una línea recta, si bien para los fluidos cargados de aditivos se pierde la linealidad.

Figura 3. Grafica Viscosidad vs Temperatura



Fuente: Tribología y lubricación Industrial y automotriz. Bucaramanga, 1993.

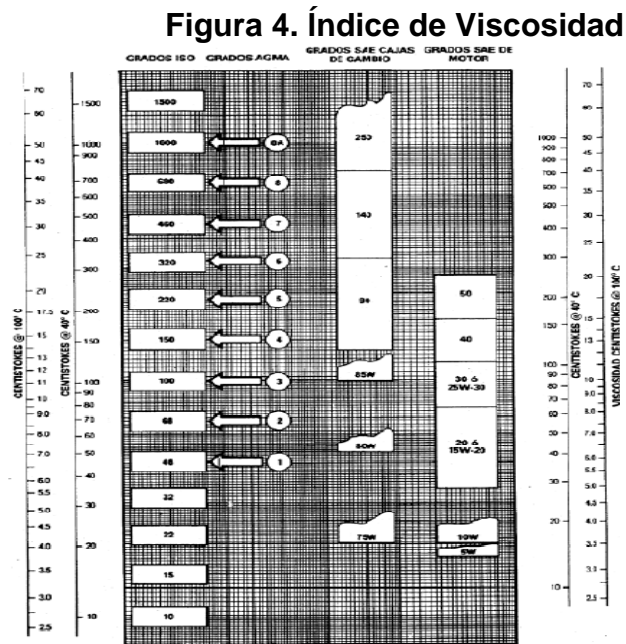
**Índice de viscosidad:**

Indica la capacidad del aceite a variar su viscosidad con la temperatura. Para ello se definen dos viscosidades patrones, y se ubica el aceite en estudio dentro de ese margen.

IV 100 – fluido patrón con “poca” variación de la viscosidad con la temperatura.

IV 0 – fluido con “mucho” variación de la viscosidad con la temperatura.

Se determina el índice de los fluidos comerciales midiendo su variación de viscosidad con la temperatura y comparándola con la variación de los aceites de referencia. Para el uso en los equipos hidráulicos no se recomiendan fluidos cuyo índice sea inferior a 90. En la figura 4 se muestran escalas equivalentes, también utilizadas en la práctica para fluidos con índice de viscosidad igual a 95.



Fuente: Tribología y lubricación Industrial y automotriz. Bucaramanga, 1993.

**Compresibilidad:**

Variación del volumen con el aumento de la presión. Característica importante en los fluidos para equipos hidráulicos de muy alta presión.

**Solubilidad del aire:**

La posibilidad de que los aceites puedan mantener aire disuelto consigo es importante por dos razones:

- Primero: porque el aire disuelto se desprende formando burbujas y por lo tanto creando similares efectos que la cavitación en las zonas de baja presión.

- Segundo: porque al tener aire disuelto aumenta la compresibilidad y deja de comportarse como fluido ideal en el que su volumen es invariable frente a las distintas presiones.

***Propiedades antiespumantes:***

Es importante que un fluido evite la formación de espuma en la superficie pues ella puede llegar a impedir la liberación del aire de las burbujas, mezclarse estas con el fluido y entrar por la aspiración originando erosión en las bombas y válvulas, donde el fluido pasa a velocidades altas.

***Propiedades demulsificantes:***

Los equipos hidráulicos absorben humedad del medio ambiente la cual contamina el fluido.

Por éste motivo se agregan aditivos para que se provoque la separación del agua incorporada.

***Propiedades antioxidantes:***

La estabilidad química del aceite es esencial.

Las condiciones tan severas a que están sometidos los fluidos hidráulicos por las variaciones de presión y temperatura hacen que en los sistemas de servicio más severos se deba recurrir a fluidos que tienen aditivos antioxidantes para mantener la estabilidad del mismo.

***Anticorrosión:***

Siempre puede presentarse corrosión en un sistema hidráulico por la presencia del aire y agua mezclados con el aceite. Para evitar la corrosión se agregan también aditivos especiales.

***Formación de gomas:***

Los aceites para equipos hidráulicos deben tener un número bajo de neutralización tal que garantice su estabilidad química. Si así no fuese el fluido se degrada formando gomas que aumentan su viscosidad, lo cual trae aparejado obstrucciones y posibilidades de cavitación en la aspiración.

***Punto de Inflamación:***

El punto de inflamación de un aceite lo determina la temperatura mínima a la cual los vapores desprendidos se inflaman en presencia de una llama.

***Punto de Combustión:***

Al prolongar el ensayo de calentamiento del punto de inflamación, se nota que el aceite se incendia de un modo más o menos permanente, ardiendo durante unos segundos, entonces es cuando se ha conseguido el punto de combustión.

***Punto de Congelación:***

Es la temperatura a partir de la cual el aceite pierde sus características de fluido para comportarse como una sustancia sólida.

***Acidez:***

Los diferentes productos terminados, obtenidos del petróleo bruto pueden presentar una reacción ácida o alcalina. En un aceite lubricante, una reacción ácida excesiva puede ser motivo de un refinado en malas condiciones. A esta acidez se le llama acidez mineral.

***Índice de Basicidad T.B.N.:***

Es la propiedad que tiene el aceite de neutralizar los ácidos formados por la combustión en los motores. El T.B.N. (total base number) indica la capacidad básica que tiene el aceite. Al analizar un aceite usado el T.B.N residual puede indicar el tiempo (en horas) que se pueden prolongar los cambios de aceite en ese motor.

**2.2 ACEITES USADOS****2.2.1 Definición**

Aceite usado es todo aceite industrial que se haya vuelto inadecuado para el uso al que se le hubiera asignado inicialmente, en particular, los aceites minerales usados de los motores de combustión y de los sistemas de transmisión, los aceites minerales usados de los lubricantes, los de turbinas y de los sistemas hidráulicos, así como las mezclas y emulsiones que los contengan. En todo caso quedan incluidos en esta definición los residuos de aceites correspondientes a los códigos 13 01, 13 02, 13 03, 13 05 y 13 08 de la Lista Europea de Residuos (LER).

Los aceites usados son residuos peligrosos, de acuerdo con lo establecido en el artículo 3.c) de la Ley 10/1998, de 21 de abril, de España.

**2.2.2 Historia del Aceite Usado**

El aceite usado es un desecho que se genera con bastante frecuencia en establecimientos industriales, mineros y del sector transporte entre otros, una vez que este producto cumplió su ciclo (vida útil) debe ser dispuesto de manera adecuada para no generar problemas a la salud de la población y al medio ambiente.

En el año 1981 la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) estimó que se vendían en ese país 2,9 billones de galones, los que a su

vez, generaron 1,2billones de galones de aceites usados. El reporte informaba que el 50% del aceite usado era utilizado como combustible, mientras que el 30% era depositado directamente en la tierra o el alcantarillado, el 8% restante era refinado para producir aceite base para lubricantes reformados o utilizado como lo que en Chile se conoce como mata polvo en caminos de tierra. Si realizamos una analogía con el caso Chileno podemos estimar, a partir de la venta de aceite lubricante (135.000 m<sup>3</sup>/año), que el total de aceite usado es de 56.700 m<sup>3</sup>/año, 28.350 m<sup>3</sup>/año serían quemados sin control, 17.010 m<sup>3</sup>/año serían depositados en la tierra o alcantarillado y 4.536 m<sup>3</sup>/año, se utilizarían para re-refinación y uso como mata polvo.

En el año 1999, Monier y Labouze estimó que la cantidad de aceite usado recuperado en la UE incrementó en un 50%, el aceite de motor representa un 65%, el aceite industrial ligero es el 25% y el aceite industrial negro es el 10%.

### **2.2.3 Contaminación en los Aceites**

Los aceites se contaminan durante su utilización con diferentes productos y materiales. Cuando esto ocurre, tienen que ser reemplazados por otros nuevos generando un residuo que denominamos aceite usado. En la práctica, el aceite usado es un líquido más o menos viscoso de color negro que puede contener numerosas sustancias peligrosas disueltas en él. Es una mezcla muy compleja de compuestos orgánicos derivados de los procesos de oxidación y partículas resultantes del desgaste de los metales que conforman la maquinaria.

Algunos de los contaminantes que pueden encontrarse en los aceites usados son los que se recogen en la tabla 2:

**Tabla 2. Contaminantes en los aceites usados**

CONTAMINANTES	EJEMPLO	ORIGEN
Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares		Petroleo - Base lubricante
Hidrocarburos Aromáticos Mononucleares	Alquibenzenos	Petroleo - Base lubricante
Hidrocarburos Aromáticos Dinucleares	Naftalenos	Petroleo - Base lubricante
Hidrocarburos Clorados	Tricloretoano	Utilización aceite contaminado
Metales	Bario	En aditivos
	Aluminio	En motores
	Plomo	En combustible
	Zinc. Cromo	
Acidos inorgánicos derivados de cloro, azufre, nitrógeno		
Compuestos orgánicos como aldehidos, ácidos, etc.		

Fuente: Guía para la reducción del impacto ambiental de los aceites industriales usados. España, 2007.

Los aceites industriales que después de su utilización se convierten en aceites usados, están constituidos por bases lubricantes y aditivos que han sido desarrollados específicamente para la lubricación y quedan unas características especiales al aceite. Las bases lubricantes son mayoritariamente hidrocarburos, mientras que los aditivos, en un porcentaje entre el 15% y 20% del total del aceite, contienen compuestos orgánicos derivados del azufre, nitrógeno y también metales.

### ***Aceite Base***

Es un producto derivado del petróleo que sirve como base para la fabricación del lubricante.

### ***Bases Minerales***

Son una mezcla compleja de hidrocarburos procedentes del refinado del petróleo.

### ***Bases Sintéticas***

Son obtenidas por vía química, en un proceso de polimerización, con lo que se consiguen características mejoradas respecto a las bases minerales.

### ***Bases Vegetales***

Obtenidas a partir de plantas oleaginosas, constituyen los denominados "biolubricantes".

### ***Aditivos***

Se trata de compuestos químicos que mejoran las prestaciones generales de los lubricantes, bien sean de base mineral o de base sintética.

**Tabla 3. Aditivos**

TIPO DE ADITIVO	COMPUESTOS UTILIZADOS	RAZONES PARA SU EMPLEO
Mejoradores de índice de viscosidad	Polimetacrilatos Copolímeros de olefinas Copolímeros mixtos Derivados de isopreno de estireno-butadieno	Reducen el cambio de viscosidad con la temperatura y permiten un arranque en frío más fácil.
Detergente - dispersantes	Succinamidas Ésteres Alquilaminas Ésteres fosforados Poliamidas	Mantienen en suspensión lodos, fangos, carbonillas y otras sustancias en el aceite, facilitando de este modo su evacuación en el drenado.
Reserva alcalina	Compuestos alcalinos	Previenen los fenómenos de corrosión por ataque ácido.
Antidesgaste, modificadores de la fricción	Dialquitiolfosfatos de Zn Fosfatos orgánicos Compuestos clorados	Crean películas protectoras en ciertas zonas del motor o transmisión. Reducen los desgastes y ruidos y agarrotamientos.
Inhibidores de la oxidación	Dialquitiolfosfatos de Zn Fenoles Compuestos N y S	Proviene y controlan la oxidación del aceite, evitando la formación de barnices, fangos y compuestos orgánicos corrosivos. Limita el aumento de viscosidad que aparece cuando el tiempo de uso del aceite es elevado.
Inhibidores de la corrosión y la herrumbre	Aminas, ácidos grasos Fosfatos, ésteres	Previenen de la herrumbre y corrosión a las superficies metálicas mediante la formación de películas protectoras o la neutralización de ácidos.
Depresores del punto de congelación	Productos sulfurados Aminas Derivados fenólicos	Rebajando el punto de congelación, aseguran el flujo del aceite a bajas temperaturas.
Untuosantes	Polímeros de alto peso molecular (acrilatos) Ácidos grasos	Facilitan la permanencia de la película de aceite en la superficie de las piezas, mejorando su adhesividad.
Desemulsionantes		Separan aceite y agua.
Extrema - presión	Compuestos de azufre, cloro, plomo, zinc	Lubricación en régimen de capa límite.
Antiespumantes	Siliconas y ciertos poliacrilatos	Reducen la formación de espuma en los cárteres.

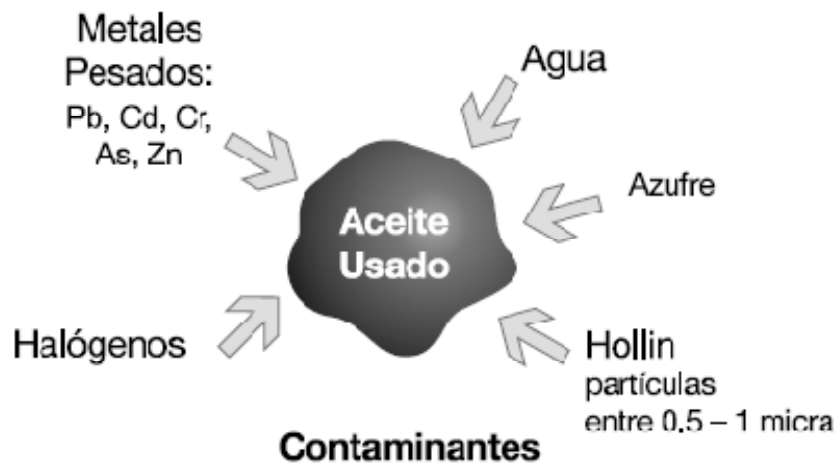
Fuente: Guía para la reducción del impacto ambiental de los aceites industriales usados. España, 2007.

## 2.2.4 Composición de los aceites usados y principales fuentes

Los aceites lubricantes usados adquieren concentraciones elevadas de metales pesados como plomo, cadmio, cromo, arsénico y zinc. El origen de estos metales es principalmente el desgaste del motor o maquinaria que lubricó. Otra fuente de metales es debida al contacto con combustibles, como es el caso de la presencia de plomo proveniente de la degradación del tetraetilo de plomo de las naftas.

Con frecuencia se encuentran solventes clorados tales como tricloroetano, tricloroetileno y percloroetileno, provenientes del proceso de refinación del petróleo y de la reacción del aceite con compuestos halogenados de los aditivos. Otros contaminantes presentes son el azufre y hollín generados en la combustión.

**Figura 5. Contaminantes presentes en aceites**



Fuente: Javier Martínez. Guía para la gestión integral de recursos peligrosos. Uruguay, 2005.

La descomposición de los aceites de motor se debe especialmente a una reacción de oxidación. En todos los casos, como consecuencia de su utilización se degradan perdiendo las cualidades que les hacían operativos y se hace necesaria su sustitución, generándose un residuo que puede ser variable en cantidad y composición, dependiendo de la procedencia.

Cabe destacar que la concentración de plomo varía significativamente en función del tipo de combustible utilizado en el parque automotriz. Los aceites lubricantes son productos de uso masivo, siendo consumido además por el sector industrial y las empresas de servicios, principalmente por empresas de transporte.

Los puntos de generación, así como los actores involucrados son muy diversos, destacándose en orden de relevancia por el volumen de generación las estaciones de servicio y talleres de mantenimiento de vehículos, seguidos por las plantas

industriales. Un porcentaje menor es generado por el recambio de aceite realizado por el propio usuario. En el caso de los vehículos se estima una vida útil del aceite lubricante equivalente a los 5000 km, mientras que en los usos industriales depende mucho del uso específico.

El parque automotriz genera alrededor del 65% del total de aceite usado generado, mientras que el restante 35% es de origen industrial. Información sobre sistemas de gestión de aceites usados en la Comunidad Europea reflejan que se pierde durante el uso el 50% de aceite por combustión, evaporación, residuos que quedan en los tanques de almacenamiento, derrames y pérdidas de maquinaria industrial.

## **2.3 EFECTOS SOBRE LA SALUD Y EL MEDIO AMBIENTE**

Dentro de la normativa actual europea, los aceites minerales usados están catalogados como residuos peligrosos por los efectos que pueden tener sobre la salud y el medio ambiente.

### **2.3.1 Efectos sobre la salud**

Además de contener aditivos muy peligrosos y tóxicos, durante su uso, los aceites incorporan a su composición gran cantidad de sustancias peligrosas para nuestra salud como son las partículas metálicas ocasionadas por el desgaste de piezas. Por otra parte, debido a la combustión de motores y por el calentamiento derivado de la fricción entre piezas de maquinaria, se pueden generar una serie de humos y gases.

Así pues, entre los efectos directos que pueden tener los aceites sobre la salud se incluyen:

- Irritaciones del tejido respiratorio por la presencia de gases que contienen aldehidos, cetonas, compuestos aromáticos, etc.
- La presencia de elementos químicos como Cl (Cloro), NO<sub>2</sub> (dióxido de nitrógeno), SH<sub>2</sub> (ácido sulfhídrico), Sb (antimonio), Cr (Cromo), Ni (Níquel), Cd (Cadmio), Cu (Cobre) afectan las vías respiratorias superiores y los tejidos pulmonares.
- Producción de efectos asfixiantes, impidiendo el transporte de oxígeno, por contener monóxido de carbono, disolventes halogenados, ácido sulfhídrico, etc.
- Efectos cancerígenos sobre próstata, vejiga y pulmón por presencia de metales como plomo, cadmio, manganeso, etc.

### **2.3.2 Sobre el medio ambiente**

Por lo que se refiere a los efectos directos sobre el medio ambiente se puede destacar su capacidad de contaminación de tierras, ríos y mares por su baja biodegradabilidad:

- Vertidos a las aguas: Originan una película impermeable entre la atmósfera y la superficie acuática que ocasiona una disminución del oxígeno disuelto en el agua. Prácticas como verter aceites a través de los sistemas de alcantarillado, provocan serios daños en las estaciones depuradoras.
- Vertidos en suelos: Recubren el suelo y provocan una disminución del oxígeno. El humus vegetal se va degradando y finalmente ocasiona una pérdida de la fertilidad. Por filtración pueden contaminar aguas subterráneas (contaminación de acuíferos, pozos, etc.).
- Emisiones a la atmósfera: La combustión de aceites usados, provoca emisiones a la atmósfera de metales como el plomo, gases tóxicos (compuestos de cloro, azufre y fósforo) y otros elementos, con los correspondientes efectos.

**Tabla 4. Emisiones a la atmosfera por combustión de aceites**

PARÁMETRO	UNIDAD	MIN / MAX	MEDIA
Valor calorífico	MJ/kg	9,7 - 48,2	39,1
Contenido de agua	%	0,1 - 35	10
Temperatura de inflamación	C °	21 - 232	55
Ceniza	%	1,3	s/i
Contenido de aceite	%	99	99
PCBs	mg/kg	0,06 - 237	0,6
Antimonio	mg/kg	0,13 - 9,0	0,9
Arsénico	mg/kg	0,1 - 14,0	1,0
Plomo	mg/kg	0,012 - 3000	15,5
Cadmio	mg/kg	0,08 - 5,0	0,1
Cromo (total)	mg/kg	1 - 76,6	5,0
Cobalto	mg/kg	0,5 - 6,0	0,6
Cobre	mg/kg	3 - 270	9,65
Manganeso	mg/kg	40	s/i
Niquel	mg/kg	1 - 40,2	50
Mercurio	mg/kg	0,01 - 5,0	0,1
Selenio	mg/kg	2,0	s/i
Teluro	mg/kg	0,1	s/i
Talio	mg/kg	< 0,1	< 0,1
Vanadio	mg/kg	2,0	s/i
Estaño	mg/kg	0,5 - 8,0	5,0
Zinc	mg/kg	26 - 8.000	340
Cloro	%	0,01 - 1,0	0,1

Fuente: Guía para la reducción del impacto ambiental de los aceites industriales usados. España, 2007.

## 2.4 GESTIÓN DE ACEITES HIDRÁULICOS USADOS

### 2.4.1 Alternativas de gestión de los aceites hidráulicos usados de base mineral

A continuación se presentan cuatro alternativas de gestión para los aceites usados, ordenadas de acuerdo a principios ambientales.

- **La re-utilización:** Si la calidad del aceite usado lo permite o previo tratamiento para remoción de contaminantes insolubles y productos de oxidación.
- **La regeneración:** Mediante distintos tratamientos es posible la recuperación material de las bases lubricantes presentes en el aceite original, de manera que resulten aptas para su reformulación y utilización.
- **La valorización energética mezclado con fuel-oil:** (en calderas industriales y hornos de cemento) ya sea por combustión directa o con pre-tratamiento del aceite (separación de agua y sedimentos). El aceite se constituye en uno de los residuos con mayor potencial para ser empleado como combustible por su elevado poder calorífico. Aunque la mayoría de calderas domésticas, calderas comerciales e industriales de baja potencia de generación, pueden quemar aceites usados, es una práctica no recomendable debido al problema de contaminación potencial del aire, por tratarse de quemas de productos sin control de especificaciones, quemado bajo condiciones no controladas y sin tratamiento de emisiones, especialmente por el contenido de metales pesados.
- **La destrucción en incineradores de residuos peligrosos:** En los casos que presenten niveles altos de contaminantes.

### 2.4.2 Tecnologías de recuperación para la re-utilización de aceites hidráulicos usados de base mineral

Para la recuperación de los aceites hidráulicos usados se aplican diferentes técnicas basadas en los procesos físicos y químicos y consisten en el tratamiento de aceite con el objetivo de eliminar impurezas. Tales métodos son los siguientes:

- **Mecánico:** Eliminar agua e impurezas sólidas del aceite mediante procesos de filtración, decantación, centrifugación, deshidratación, calefacción.
- **Físico-químicos:** Coagulación, adsorción.
- **Químicos:** Purificación de ácido y de álcali, oxidación de oxígeno, hidrogenización y también secamiento.

Dado el caso de la visión del proyecto y de nuestro enfoque como futuros ingenieros mecánicos, optamos por el método mecánico en la recuperación del aceite hidráulico usado.

### 2.4.3 Tipos de Filtración Mecánica

- **Filtración:** es un proceso de separación de fases de un sistema heterogéneo, que consiste en pasar una mezcla a través de un medio poroso o filtro, donde se retiene de la mayor parte de los componentes sólidos de la mezcla. Dicha mezcla son fluidos, que pueden contener sólidos y líquidos (como también gases). El aceite que circula debe depurarse de todos residuos y es aquí donde los filtros de aceite deben: eliminan rápidamente las partículas extrañas permitiendo tener un aceite limpio, incluso en condiciones extremas de utilización. La misión del filtro de aceite, es retener los residuos mezclados con el aceite, y lo consigue si el papel filtrante con el que está fabricado tiene la resistencia y porosidad adecuada, la superficie adecuada y si no se descompone el papel filtrante.
- **Decantación:** se basa en la diferencia de densidad entre los dos componentes que hace que al dejarlos en reposo, ambos se separen hasta situarse el menos denso en la parte superior del envase que los contiene. De esta forma, es posible vaciar el contenido más denso por la parte inferior del envase y transferirlo a un nuevo envase o filtro (si así lo requiere). Y es realizada con un decantador, el cual permite la separación de las mezclas heterogéneas, es decir, las mezclas que no se unen.

Durante la fase de pre tratamiento, y con objeto de acelerar y mejorar el proceso de decantación, se añaden algunos productos que propician la aglomeración y dan mayor peso a las partículas en suspensión. Entre éstos productos, podemos destacar el carbón activado en polvo, el cloruro férrico o los policloruros de aluminio y un polímero sintetizado que favorece la aglomeración de los flocúlos.

- **Centrifugación:** es un método por el cual se pueden separar sólidos de líquidos de diferente densidad mediante una fuerza rotativa, la cual imprime a la mezcla con una fuerza mayor que la de la gravedad, provocando la sedimentación de los sólidos o de las partículas de mayor densidad.

El objetivo de la centrifugación es separar sólidos insolubles (de partículas muy pequeñas difíciles de sedimentar) de un líquido. Para ello, se aplica un fuerte campo centrífugo, con lo cual las partículas tenderán a desplazarse a través del medio en el que se encuentren con la aceleración  $G$ .  $E = \text{velocidad angular}^2 \times \text{radio de giro}$ .

El filtro centrífugo de aceite, que como su nombre lo indica, emplean una fuerza centrífuga para empujar las partículas nocivas hacia un papel de filtro. Esta fuerza centrífuga es la encargada además de movilizar el aceite en su paso, llevándola a las paredes del filtro utilizando la presión de la misma, y llevándola automáticamente hacia ese filtro. Suelen adosársele imanes, que en caso de haber partículas metálicas dispersas en el aceite, tienen la misión de atraerlas fácilmente y evitar que dañen el filtro o pasen hacia el resto del circuito.

### **3. NORMATIVA LEGAL COLOMBIANA**

#### **“MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL RESOLUCIÓN NÚMERO 1446 DE 2005**

Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 415 del 13 de Marzo de 1998, que establece los casos en los cuales se permite la combustión de aceites de desechos usados y las condiciones técnicas para realizar la misma.

La Ministra de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en ejercicio de sus funciones legales, y en especial las conferidas en los numerales 2, 10, 11 y 14 del artículo 5° de la Ley 99 de 1993, y el artículo 24 del Decreto 948 de 1995 modificado por el artículo 1° del Decreto 1697 de 1997, y CONSIDERANDO: Que mediante la Resolución 415 del 13 de Marzo de 1998 de esta entidad, se establecen los casos en los cuales se permite la combustión de aceites de desecho o usados y las condiciones técnicas para realizar la misma; Que la Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible de este Ministerio consultó estudios realizados sobre el uso y tratamiento de aceites de desecho usados como son el Estudio sobre el Manejo de los Aceites Usados en Colombia (Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla), el estudio de la Unidad de Planeación Minero Energético denominado "Utilización en Colombia de Aceites Usados como Energéticos en Procesos de Combustión Segunda Fase", los realizados sobre aceites usados en el Valle de Aburrá por el Área Metropolitana, el denominado Análisis del Aceite Usado en Vermont, Estudio de emisiones de aceites usados en hornos preparado por la Agencia de los Recursos Naturales de Vermont (con la participación del Departamento de Conservación Ambiental, la División de Control de la Contaminación del Aire y la División para el Manejo de Materiales Peligrosos), así como también el Manual de Normas y Procedimientos para la Gestión de Aceites Usados publicado por el DAMA y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca; Que esta consulta le permite al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial establecer nuevas alternativas para el aprovechamiento como combustible de los aceites de desecho o usados en el territorio nacional; Que la Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible considera viable establecer modificaciones a los requisitos contemplados en Resolución 415 del 13 de Marzo de 1998, para los casos en los cuales se permite la combustión de aceites de desecho o usados y las condiciones técnicas para realizar la misma; Que en mérito de lo expuesto, RESUELVE:

Artículo 1°. Modifícase el artículo primero de la Resolución 415 del 13 de Marzo 1998 el cual quedará así:

Artículo 1°. Para la aplicación de la presente resolución, se adoptan las siguientes definiciones:

**Aceite de Desecho o Usado:** Todo aceite lubricante, de motor, de transmisión o hidráulico con base mineral o sintética de desecho que por efectos de su utilización, se haya vuelto inadecuado para el uso asignado inicialmente. Estos aceites son clasificados como residuo peligroso por el anexo I, numerales 8 y 9 del Convenio de Basilea, el cual fue ratificado por Colombia mediante la Ley 253 de Enero 9 de 1996.

**Aceite Usado Tratado:** Entiéndase como aceite usado tratado aquel que ha sido sometido mediante medios físicos, químicos o biológicos a un proceso de limpieza de elementos tales como sedimentos, compuestos de cloro, metales pesados, solventes y otros elementos provenientes de aditivos y de usos originales como aceite lubricante en vehículos o sistemas industriales, a excepción de aquellos usados como aceites dieléctricos en transformadores, equipos de refrigeración, entre otros, hasta niveles aceptables de tal forma que pueden ser usados para su aprovechamiento energético como combustibles en actividades industriales.

**Almacenador:** Persona natural o jurídica que cuenta con los permisos requeridos por las autoridades competentes de conformidad con la normatividad vigente, y que en desarrollo de su actividad almacena y comercializa aceites usados.

**Procesador o Tratador:** Persona natural o jurídica que debidamente autorizada por la autoridad ambiental competente recibe y trata aceites usados para transformarlos de residuos a productos para su adecuado aprovechamiento mediante procesos de combustión, re refinanciación, Producción de bases plastificantes o cualquier proceso aprobado mediante la Licencia Ambiental por la autoridad ambiental competente.

**Mezcla o Blending:** Hace relación a la mezcla de aceite usado con otros tipos de combustible como fuel oil (diésel, combustóleo) o crudos con bajas concentraciones de azufre, que permiten una mayor fluidez y ganancia calorífica.

**Tratamiento Primario:** Es el dado al aceite usado a través de un proceso de sedimentación (centrifugación o flotación, o uso de métodos químicos) y filtración.

**Tratamiento Secundario:** Es aquel en el cual mediante procesos químicos o térmicos son removidos en un porcentaje no menor al 80% los metales pesados y los compuestos de cloro, el agua y los solventes orgánicos."

**Artículo 2°.** Modifícase el artículo segundo de la Resolución 415 del 13 de Marzo de 1998 el cual quedará así:

**Artículo 2°.** Requisitos y condiciones para aprovechar el aceite de desecho o usado generado en el país, como combustible:

Para el aceite usado sin tratar

a) En el caso de calderas y hornos de tipo industrial o comercial, se podrá emplear mezclado con otros combustibles, en una proporción menor o igual al 5% en volumen de aceite usado.

b) En hornos cementeros, en la industria metalúrgica o en plantas de generación de energía, siempre y cuando tengan sistemas de control de emisiones de material particulado de alta eficiencia (mayor al 95%), como combustible único o mezclado con otros tipos de combustibles en cualquier proporción.

c) En ninguno de los casos anteriores, el aceite usado podrá contener concentraciones de bifenilospoliclorados (PCB) o terfenilospoliclorados (PCT) mayores a 50 ppm ni concentración de halógenos totales (expresado como HCl) mayores a 1.000 ppm.

Para el aceite usado tratado

a) En calderas y hornos de tipo industrial o comercial, se podrá emplear mezclado con otros combustibles, teniendo en cuenta los porcentajes y los límites máximos de contaminantes consagrados en la tabla prevista en el presente artículo.

a) Debe tener como mínimo tratamiento primario.

b) Los sistemas o equipos de alimentación de combustible deberán poseer mecanismos para su pulverización o atomización y control de alimentación de oxígeno.

**Tabla 5. Tabla de porcentaje para la mezcla y límites máximos de contaminantes en aceites usados tratados**

Contaminante	Máxima concentración de contaminante (ppm)	
	Para mezcla hasta del 40%	Para mezcla hasta del 80%
PCB	15	5
Halógenos orgánicos totales (como HCl)	650	400
Halógenos totales (Como HCl)	800	500
Cadmio	2	1
Cromo	8	3
Plomo	50	10
Arsénico	2	1
Níquel	1.5	1
Zinc	120	60
Estaño	5	3
Bario	3	1
Punto de chispa (°F, valor mínimo	> 170	> 170

Fuente: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, Colombia 2005.

La toma y preparación de muestras, análisis de laboratorio y registro de la información deberán realizarse siguiendo los procedimientos y técnicas establecidas en las normas y métodos ASTM.

Artículo 3°. El Tratador y el Almacenador de aceites de desecho o usados deberán realizar cada cuatro (4) meses la caracterización del aceite usado tratado o sin tratar según el caso, en el cual se determine la totalidad de los parámetros señalados en la tabla prevista en el artículo segundo de la presente resolución, cuyos resultados deben ser remitidos a la autoridad ambiental competente.

La toma de muestras y caracterización del aceite usado tratado o sin tratar, deberá ser realizada por un laboratorio que cuente con la capacidad analítica y con el personal idóneo debidamente capacitado. Dicho laboratorio deberá diligenciar un formato de custodia de muestras.

El Tratador y el Almacenador deberán archivar hasta por tres (3) años los resultados de los análisis de laboratorio practicados a los aceites usados. Tal

archivo debe estar a disposición de las autoridades ambientales cuando estas así lo requieran.

Parágrafo. Las actividades, obras o industrias consumidoras del aceite usado en sus dos modalidades tratado y sin tratar, deberán obtener del Almacenador o del Tratador los resultados de las caracterizaciones realizadas para la verificación de la calidad del aceite usado que está consumiendo y el cumplimiento de los requisitos y estándares requeridos, y tenerlos a disposición de la autoridad ambiental.

Artículo 4°. La violación a lo dispuesto en la presente disposición dará lugar a la imposición de las medidas preventivas y sancionatorias a que haya lugar, de conformidad con lo consagrado en el artículo 85 de la Ley 99 de 1993.

Artículo 5°. La presente resolución rige a partir de la fecha de su publicación en el Diario Oficial, y deroga el artículo tercero de la Resolución 415 del 13 de Marzo de 1998.

Publíquese y cúmplase.

Dada en Bogotá, D. C., a 5 de Octubre de 2005.

La Ministra de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial,  
Sandra Suárez Pérez.”

## 4. NIVELES DE LIMPIEZA ESTANDARES EN LA INDUSTRIA

El causante principal de cualquier falla en un elemento mecánico lubricado es la contaminación. Un control efectivo del desgaste se consigue controlando los contaminantes presentes en el lubricante. Un manejo adecuado de los niveles de limpieza del fluido mediante códigos estandarizados es la mejor manera de cuidar del sistema desde el punto de vista del aceite.

El conteo de partículas consiste en la medida de la contaminación sólida en el seno de un lubricante mediante el conteo del número de partículas y clasificación del grado de contaminación en función del tamaño/concentración de partículas. Conocer el grado de limpieza de un fluido es fundamental a la hora de realizar un control de la contaminación presente en el sistema. El conteo de partículas va en función de la proporción tamaño/concentración de partículas.

Este estudio estaba sólo recomendado para sistemas hidráulicos u otros sistemas limpios como turbinas, en los cuales los niveles de desgaste eran bajos. Si bien actualmente se está extendiendo a cualquier sistema lubricado, dada la gran correlación existente entre la contaminación por partículas y el fallo de los sistemas.

Existen diversas normas internacionales utilizadas para clasificar un fluido en función de la cantidad de contaminantes sólidos que posee en suspensión. La mayoría de estas clasifican el grado de limpieza del fluido según las cantidades de contaminantes existentes teniendo en cuenta unos tamaños determinados.

### 4.1 EQUIPOS DE ENSAYO

Existen diversos tipos de contadores de partículas. Desde los manuales a los automáticos, pasando por los ópticos y por los de bloqueo de poro entre otros. A continuación se hablara de los equipos contadores automáticos:

#### 4.1.1 Contadores ópticos

**a)** *Contadores ópticos automáticos por bloqueo de la luz blanca:*

En este tipo de contadores, las partículas pasan a través de la celda de detección y crea una sombra sobre el fotodetector. La caída en el voltaje producido en el fotodetector es directamente proporcional al tamaño de la sombra y por lo tanto el tamaño de la partícula que pasa a través.

El principio de funcionamiento consiste en proyectar un rayo de luz a través de la muestra. Si se encuentran partículas en el seno del fluido bloquearán la luz, lo cual hará caer la energía medida que es más o menos proporcional al tamaño de la partícula.

**b) Contadores ópticos automáticos por dispersión de luz:**

En los equipos láser, debido a la naturaleza prácticamente paralela del haz láser, la dispersión de la luz es mínima hasta que no pasa una partícula por el haz. Cuando el haz golpea la partícula se genera una dispersión de la luz que alcanza el fotodetector. El cambio en el voltaje observado es directamente proporcional al tamaño de la partícula.

Normalmente los detectores láser son más exactos y sensibles que los de luz blanca. Este es un tipo de contador de partículas más moderno. Como en los de bloqueo de luz, las partículas provocan una interferencia medible en la transmisión de la luz a través de la célula. Sin embargo, además de utilizar la luz blanca, este método utiliza un láser. La luz altamente enfocada emitida es interrumpida por una partícula, produciendo un efecto de dispersión. El aumento de la energía a través del área de muestra es medida con este tipo de contador, justo lo contrario que con el método de bloqueo de luz.

Una muestra de aceite puede contener en su seno multitud de compuestos, los cuales pueden interferir la medida y dimensionamiento de las partículas sólidas presentes. El problema más común es la entrada de burbujas de aire y gotas de agua, las cuales dispersan y bloquean la luz, proporcionando lecturas erróneas en los contadores ópticos automáticos.

Este método no es aplicable para las emulsiones de aceite y agua. Si no se realiza cierta preparación de muestra, un contador óptico no trabaja bien con fluidos oscuros o contaminados con una alta carga de sedimentos o carbonilla. Esto puede dar lugar a errores de medida, o bloquear totalmente el paso de luz. Se debe de matizar una serie de cuestiones sobre los contadores ópticos automáticos.

Las partículas provenientes de un aceite no son casi nunca esféricas. Esto puede crear una serie de problemas en el contador óptico a la hora de clasificar partículas con unas dimensiones X e Y muy diferentes. Para resolver este problema se ha definido el diámetro esférico equivalente. Mediante este método se mide la sombra de la partícula o el efecto de dispersión que produce y la asemeja a una esfera perfecta.

Otro concepto es el del falso positivo, por ejemplo burbujas de aire, agua libre o emulsionada, aditivos floculados, etc. Estos son tenidos en cuenta como si fuesen otra partícula más.

Como ejemplos de contadores de partículas que utilizan estos métodos se pueden destacar los siguientes:

- Eaton
- Emerson Process Management CSI-52PC
- Emerson Process Management CSI-5200C
- HIAC-PODS
- Hydac Technology-FCU 2000-4
- Internormen-Filter-CCS2
- MP Filtri USA-LPA2
- Pall Corp. PFC400W
- Pall Corp. PIM400
- Pamas GmbH-S-2
- Pamas GmbH-SBSS
- Pamas GmbH-S-40
- Pamas GmbH-OLS
- Pamas GmbH-OLMS
- Pamas GmbH-SVSS
- PDK-PALS
- Stauff Corp.-LasPaCI
- Webtec Products-DLPC

#### **4.1.2 Contadores por bloqueo de poro**

Una alternativa a los contadores ópticos por bloqueo o dispersión de la luz son los de bloqueo de poro. El principio básico es similar a los ópticos, lo que se quiere conseguir es que solo se midan las partículas sólidas. La presencia de aire y/o agua en el fluido no afecta a la exactitud de los contadores de partículas por bloqueo de poro, tampoco influye el color u opacidad de la muestra. Sin embargo, estos equipos deben de estimar la distribución de tamaños de las partículas por extrapolación, no mide exactamente la concentración de sólidos por encima de un tamaño de poro determinado. Para ciertos líquidos oscuros como aceites de motor diesel o altamente contaminados, los equipos por bloqueo de poro ofrecen muchas ventajas sobre los ópticos.

En este método se hace pasar un volumen de muestra a través de una malla con tamaño de poro claramente definido, normalmente 10  $\mu\text{m}$ . Existen dos equipos que usan este método:

- El primero de ellos mide la caída de flujo a lo largo de la membrana hasta que se colmata mientras se mantiene una presión constante, primero con partículas mayores de 10  $\mu\text{m}$ , y después con las partículas menores, cuando las grandes ya han colmatado la pantalla.

- El segundo mide el aumento de la presión diferencial a lo largo de la membrana mientras que el flujo se mantiene constante cuando la membrana se colmata de partículas.

Ambos equipos poseen un algoritmo que transforma la caída del flujo en el tiempo o el aumento de la presión en un grado ISO de acuerdo, entre otras, con la ISO 4406:99.

Aunque estos equipos no tienen los problemas de los falsos positivos que poseen los equipos ópticos, no poseen el mismo rango dinámico que los ópticos, además estiman la distribución de partículas de una manera aproximada, y dependen de la exactitud del algoritmo utilizado.

Como ejemplos de contadores de partículas que utilizan estos métodos se pueden destacar los siguientes:

- Desing Maintenance System Inc.-VIP
- PALL Corp. PCM400
- Rockwell Automation/Entek-Contam-Alert

#### **4.1.3 Contadores por análisis de imagen**

Esta técnica aborda de diferente manera el contaje de partículas. La muestra pasa a través del área de ensayo y es fotografiada digitalmente. Se mide el área superficial de la partícula en dos dimensiones, y a continuación se graba para su posterior medida en el contaje. A la vez que se cuentan las partículas se evalúan sus formas, mecanismo de desgaste por el cual han sido generadas, etc.

La morfología de la partícula permite al equipo excluir a las burbujas de aire o agua al ser completamente redondas. Así que, además de eliminar del contaje las partículas de aire y las de agua permite conocer la morfología y mecanismo de desgaste.

Como ejemplos de contadores de partículas que utilizan estos métodos se puede destacar el siguiente:

- Spectro Inc.-Lasernet FINES-C

Los contadores de partículas ópticos estiman el tamaño de cada partícula basándose en la energía de la luz que pasa a través del área del flujo de muestra por el instrumento.

Una gran pérdida de energía, en el caso de los contadores de partículas por bloqueo de luz, o un pico de energía si es un contador de partículas por dispersión de luz, sugiere una partícula proporcionalmente grande.

Se pueden dar errores debido a la orientación de la partícula y otra serie de factores, el método óptico es generalmente más efectivo a la hora de estimar el tamaño individual de cada partícula. Los contadores por bloqueo de poro no cuentan las partículas individualmente, sino que miden un colectivo de la totalidad de la población de partículas que pasan a través de la pantalla.

## **4.2 CÓDIGOS DE NIVELES DE LIMPIEZA**

A la hora de detectar o corregir problemas se debe de utilizar una escala de referencia de la contaminación presente en el sistema. Las escalas más utilizadas son ISO 4006 y NAS 1638, aunque existen otros métodos como el MIL-STD 1246C, NAVAIR 01-1 o CHA (RN) entre otros.

### **4.2.1 ISO 4406:1987 e ISO 4406:1999**

En la versión ISO 4406 de 1987 el resultado se expresa mediante un código compuesto por dos dígitos. El primero corresponde al número total de partículas de tamaño superior a 5 micras por mililitro de fluido, mientras que el segundo corresponde al número total de partículas superiores a 15 micras por mililitro de fluido.

También se ha expresado con un código de tres dígitos en el cual el primero corresponde al número total de partículas superiores a 2 micras por mililitro de fluido.

En la versión ISO 4406 de 1999 el resultado se expresa mediante un código compuesto por tres dígitos. El primero corresponde al número total de partículas de tamaño superior a 4 micras por mililitro de fluido. El segundo corresponde al número total de partículas de tamaño superior a 6 micras por mililitro de fluido. El tercero corresponde al número total de partículas superiores a 14 micras por mililitro de fluido.

Las partículas de >4 y >6 micras son indicativas de la tendencia a la formación de depósitos de partículas, mientras que las >14 micras indican la cantidad de partículas grandes presentes, las cuales contribuyen en gran medida a un posible fallo catastrófico de un componente.

**Tabla 6. Diferencia entre las normas ISO 4406 (1987) y ISO 4406 (1999)**

<i>ISO 4402 Anterior</i>	1	2	5	7	10	12	15	20	30	50
<i>Tamaño de Partículas (<math>\mu m</math>)</i>										
<i>ISO 4406 (1987)</i>		<b>R<sub>2</sub>/</b>	<b>R<sub>5</sub>/</b>				<b>R<sub>15</sub>/</b>			
<i>Nuevo ISO 11171</i>	4.2	4.6	6.4	7.7	9.8	11.3	13.6	17.5	24.9	38.2
<i>Tamaño de Partículas (<math>\mu m</math>)</i>										
<i>ISO 4406 (1999)</i>	<b>R<sub>4</sub>/</b>		<b>R<sub>6</sub>/</b>				<b>R<sub>14</sub>/</b>			

Fuente: Boletín Mensual sobre Lubricación y Mantenimiento. España, 2004.

Este cambio en los códigos de contaminación por partículas sólidas ISO ha llevado a la variación normalmente en el primer dígito en el resultado. Por ejemplo, un resultado ISO 14/12/10 con el código antiguo R2/R5/R15 pasa a ISO 15/12/10 con el código nuevo R4/R6/R14.

**Tabla 7. Grados de limpieza ISO 4406**

Rango de Número	Número de partículas/ml	
	Más de	Hasta e incluido
24	80000	160000
23	40000	80000
22	20000	40000
21	10000	20000
20	5000	10000
19	2500	5000
18	1300	2500
17	640	1300
16	320	640
15	160	320
14	80	160
13	40	80
12	20	40
11	10	20
10	5	10
9	2.5	5
8	1.3	2.5
7	0.64	1.3
6	0.32	0.64

Fuente: Boletín Mensual sobre Lubricación y Mantenimiento. España, 2004.

La razón por la que se ha cambiado el tamaño de las partículas de la clasificación no ha sido otro que el debido al cambio en el material de calibración. En la tabla 7 se muestra un resumen de las diferentes normas utilizadas antes y ahora con la nueva norma ISO 4406:1999.

**Tabla 8. Métodos ISO antiguos y nuevos para la calibración y codificación**

Aplicación	Antigua	Nueva
Método de calibración de los contadores de partículas automáticos para líquidos	ISO 4402	ISO 11171
Método de codificación del grado de contaminación por partículas sólidas	ISO 4406:1987	ISO 4406:1999
Material de calibración	ACFTD	ISO MTD

Fuente: Boletín Mensual sobre Lubricación y Mantenimiento. España, 2004.

En la tabla 9 se muestra la diferencia en la medida observada del método ISO nuevo frente al antiguo.

**Tabla 9. Cambios en la calibración de los contadores de partículas**

Tamaño de partículas ( $\mu\text{m}$ )	Calibración anterior de contaje de partículas (ISO 4402)	Calibración nueva de contaje de partículas (ISO 11171)	Relación de conteo
2	4170	24900	x 6
5	1870	3400	x 2
15	179	105	x 0.6
25	40	14	x 0.3

Fuente: Boletín Mensual sobre Lubricación y Mantenimiento. España, 2004.

Este cambio ha sido debido a:

- El nuevo patrón ISO MTD ayuda a corregir la inexactitud de ACFTD en la antigua calibración.
- El tamaño de las partículas antiguamente solo eran medidas en dos dimensiones, mientras que ahora se hace en tres.

#### **4.2 NAS 1638**

El código NAS 1638 se creó originalmente para componentes hidráulicos de la industria aeronáutica. El concepto del código está basado en la distribución de tamaños de partículas de una concentración sobre un rango de tamaños de  $>5$

hasta >100  $\mu\text{m}$ . A partir de los datos obtenidos de grados de limpieza en aviación se crearon 14 clases en función del grado de suciedad o limpieza. Cada vez que se aumenta un grado de suciedad la cantidad de partículas se duplica.

**Tabla 10. Grados de limpieza NAS 1638/AS 4059**

Clase	Cantidad máxima de partículas/100 ml en cada rango de tamaño específico ( $\mu\text{m}$ )				
	5-15	15-25	25-50	50-100	>100
00	125	22	4	1	0
0	250	44	8	2	0
1	500	89	16	3	1
2	1000	178	32	6	1
3	2000	356	63	11	2
4	4000	712	126	22	4
5	8000	1425	253	45	8
6	16000	2850	506	90	16
7	32000	5700	1012	189	32
8	34000	11400	2025	360	34
9	128000	22800	4050	720	128
10	256000	45600	8100	1440	256
11	512000	91200	16200	2880	512
12	1024000	182400	32400	5760	1024

Fuente: Boletín Mensual sobre Lubricación y Mantenimiento. España, 2004.

Al igual que ocurría con el código ISO, los nuevos patrones de calibración han provocado la definición de este nuevo código denominado AS 4059 en sustitución del NAS 1638.

**Tabla 11. Tamaños de partículas medidos en relación con el método de calibración utilizado**

	Tamaño de Partículas					
	>4	>6	>14	>21	>38	>70
ISO 1171-Tamaño $\mu\text{m}$	>4	>6	>14	>21	>38	>70
ISO 4402-Tamaño $\mu\text{m}$	>1	>5	>15	>25	>50	>100

Fuente: Boletín Mensual sobre Lubricación y Mantenimiento. España, 2004.

**Tabla 12. Grados de limpieza AS 4059**

Clase	Cantidad máxima de partículas/100 ml en cada rango de tamaño específico ( $\mu\text{m}$ )				
	>1	>5	>15	>25	>50
ISO 4402	>4	>6	>14	>21	>38
ISO 11171	A	B	C	D	E
000	195	76	14	3	1
00	390	152	27	5	1
0	780	304	54	10	2
1	1560	609	109	20	4
2	3120	1220	217	39	7
3	6520	2430	432	76	13
4	12500	4860	864	152	26
5	25000	9730	1730	306	53
6	50000	19500	3460	612	106
7	100000	38900	6920	1220	212
8	200000	77900	13900	2450	424
9	400000	156000	27700	4900	848
10	800000	311000	55400	9800	1700
11	1600000	623000	110000	19600	3390
12	3200000	1250000	222000	39200	6780

Fuente: Boletín Mensual sobre Lubricación y Mantenimiento. España, 2004.

En la tabla 13 se hace una comparación entre los Grados de limpieza ISO 4406 y NAS 1638:

**Tabla 13. Comparación Grados de limpieza ISO 4406 y NAS 1638**

Código ISO	Partículas/mililitro			NAS 1638
	$\geq 2 \mu$	$\geq 5 \mu$	$\geq 15 \mu$	
23/21/18	80000	20000	2500	12
22/20/18	40000	10000	2500	-
22/20/17	40000	10000	1300	11
22/20/16	40000	10000	640	-
21/19/16	20000	5000	640	10
20/18/15	10000	2500	320	9
19/17/14	5000	1300	160	8
18/16/13	2500	640	80	7
17/15/12	1300	320	40	6
16/14/12	640	160	40	-
16/14/11	640	160	20	5
15/13/10	320	80	10	4
14/12/9	160	40	5	3
13/11/8	80	20	2.5	2
12/10/8	40	10	2.5	-
12/10/7	40	10	1.3	1
12/10/6	40	10	0.64	-

Fuente: Boletín Mensual sobre Lubricación y Mantenimiento. España, 2004.

**Muestreo:**

Hay que tener mucho cuidado a la hora de analizar sistemas muy limpios, ya que se puede introducir suciedad en la muestra tanto en la etapa de muestreo de la

misma como en la de análisis. Para ello se debe utilizar botes con un certificado de grado de limpieza específico. Además, en el laboratorio de análisis se debe poseer un procedimiento de manejo de las muestras que eviten todas las fuentes posibles de entrada de suciedad en las muestras.

***Aplicaciones de los contadores de partículas:***

La medida del grado de limpieza o de contaminación que pueda poseer un lubricante puede ayudar a saber el estado tanto de la máquina como del propio lubricante.

- Permite el análisis del aceite en el laboratorio “on-condition”.
- Confirma el mantenimiento correctivo.
- Identifica malas reparaciones de máquinas.
- Verifica el funcionamiento de la bomba.
- Verifica el funcionamiento de la centrifuga.
- Confirma el flushing del sistema.
- Confirma la necesidad de un análisis ferrográfico.
- Realiza un seguimiento del desgaste de la máquina.
- Identifica un desgaste de engranajes anormal.
- Identifica la presencia de desgaste abrasivo.
- Detecta un desgaste corrosivo elevado.
- Verifica el estado de los cojinetes.
- Identifica el exceso de gases de cárter en el motor.
- Identifica presencia de contaminantes atmosféricos.
- Verifica el grado de limpieza del lubricante almacenado y/o confirma el grado de limpieza deseado.
- Verifica el funcionamiento del filtro.
- Determina el tiempo de uso de los filtros.
- Determina el punto adecuado de cambio de filtros.
- Identifica defectos en filtros nuevos.
- Verifica la idoneidad de selección del filtro.
- Reconoce el estado de los filtro by-pass.

### **4.3 INTERPRETACIÓN DEL VALOR DEL CONTAJE DE PARTÍCULAS**

#### **4.3.1 Interpretación de los resultados**

El Código ISO 4406-99 mostrará un valor alto si el contenido de partículas es elevado y será muy bajo si el aceite está limpio.

Algunos fabricantes de maquinarias proponen especificaciones de código ISO, otros los exigen para validar las garantías. Proveedores de rodamientos, turbinas y sistemas hidráulicos están cada vez más interesados en especificar un nivel de limpieza de aceites nuevos y aceites en uso. Esto implica, muchas veces,

establecer procesos de limpieza de aceites nuevos, antes de incorporarlos a los sistemas, para cumplir con aquellas especificaciones. Como consecuencia se ha desarrollado procesos de filtración de aceites en uso para mantener los niveles de limpieza adecuados. En todo caso, cualquier variación del Código ISO debe ser investigada, porque puede representar una anomalía.

Otro aspecto menos común y de menor desarrollo aún, es la interpretación y seguimiento de los valores obtenidos para cada rango de tamaños de partículas, permitiendo investigar anomalías o causas raíz de fallos en los sistemas lubricados, que pueden ser corregidas de forma prematura, incluso antes de que se inicie el fallo.

#### 4.3.2 Grados de limpieza necesarios para diferentes máquinas

Muchos de los fabricantes de equipos hidráulicos y de cojinetes especifican el grado óptimo de nivel de limpieza requerido para sus componentes. Los componentes que trabajan con un fluido con alto grado de suciedad acortan su vida.

En la tabla 15 se indican a modo orientativo los grados de limpieza recomendados para diferentes componentes. Esta información es útil a la hora de seleccionar el grado de limpieza deseado.

**Tabla 14. Limpieza de fluidos necesarios para componentes lubricados típicos**

Componente	Código ISO
Válvulas de Servo-control	16/14/11
Rodamiento	16/14/12
Válvulas Proporcionales	17/15/12
Cojinetes	17/15/12
Reductoras Industriales	17/15/12
Reductoras Móviles	17/16/13
Motor diesel	17/16/13
Turbina vapor	18/15/12
Bombas/Motores de pistón y paletas	18/16/13
Válvulas de control de presión y direccional	18/16/13
Máquina de papel	19/16/13
Motores/Bombas de engranajes	19/17/14
Válvulas de control de flujo, cilindros	20/18/15
Fluidos nuevos sin usar	20/18/15

Fuente: Boletín Mensual sobre Lubricación y Mantenimiento. España, 2004.

**Tabla 15. Estado del fluido en función del código ISO**

Código ISO	----	12/9	----	14/11	----	16/13	----	18/15	----	20/17	----	22/19	----	24/21	----	26/23
Fluidos Hidráulicos	Muy limpio			Limpio						Sucio						
Cajas de cambios				Muy limpio				Limpio								Sucio
Motores			Muy limpio					Limpio				Sucio				
Turbinas		Muy limpio				Limpio		Sucio								

Fuente: Boletín Mensual sobre Lubricación y Mantenimiento. España, 2004.

## 5. DISEÑO DEL PROTOTIPO

En este trabajo de grado se busca diseñar y construir un prototipo portátil para la recuperación del aceite hidráulico usado de base mineral en el laboratorio de Sistemas Oleoneumáticos, utilizando la normativa actual del Ministerio de Medio Ambiente y la normativa de limpieza ISO 4406. Además que pueda dar soporte para la aplicación, desarrollo e investigación de metodologías para la recuperación de estos aceites.

Con la construcción de este prototipo se consigue reducir los efectos dañinos de la contaminación en los sistemas hidráulicos del laboratorio, favoreciendo su eficiencia, reduciendo costos de mantenimiento y garantizando la protección de la salud humana, la conservación del medio ambiente y la preservación de recursos naturales. Además que pueda más adelante dar soporte para el mantenimiento de los bancos de pruebas del laboratorio de Sistemas Oleoneumáticos, pero en esta primera fase se enfocara en la infraestructura del prototipo y su sistema para recuperar el aceite hidráulico.

Este prototipo se diseñará y construirá para ser un preámbulo de la siguiente etapa investigativa, la cual puede ser:

Propuesta de recuperación de aceites lubricantes, vegetales y aceites sintéticos, siguiendo la línea de investigación de Tribología y Lubricación.

A continuación veremos dos alternativas para solución a esta problemática presentada para la recuperación del aceite hidráulico.

### 5.1 ALTERNATIVAS PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

#### **ALTERNATIVA 1: Comprar directamente el equipo**

Empresas importantes como la Vickers, Parker y Gunt que ofrecen la posibilidad de adquirir este banco de pruebas, a continuación se presenta una de estos.

En la figura 6 se puede observar el servosistema hidráulico que ofrece la empresa GUNT. Al adquirir directamente este banco de pruebas sería la primera opción ya que esta alternativa tiene varias ventajas.

**Figura 6. ZY High Efficient Vacuum Oil Purifier**



Fuente: <http://www.oilpurify.com>

**Ventajas:**

- *Se cuenta con todo el sistema ya instalado y en funcionamiento.*
- *Se asegura la correcta funcionalidad del equipo.*
- *Es portátil.*
- *Fácil de operar y larga vida.*

**Desventajas:**

- *Costo demasiado elevado.*
- *Costos de transporte e importación.*
- *Su peso supera los 40 Kg.*
- *Aún siendo portátil es difícil de transportar por un sólo operario.*
- *Está sobredimensionado para el uso que se le puede dar en el laboratorio.*
- *No posee un sistema de filtración centrifuga.*

**ALTERNATIVA No. 2: Diseño y construcción del prototipo portátil de recuperación de aceite.**

El diseño y la construcción del prototipo portátil de recuperación de aceite hidráulico usado presentan grandes ventajas en el momento de cumplir con los requerimientos que exige dotar a la escuela de Ingeniería Mecánica de esta herramienta.

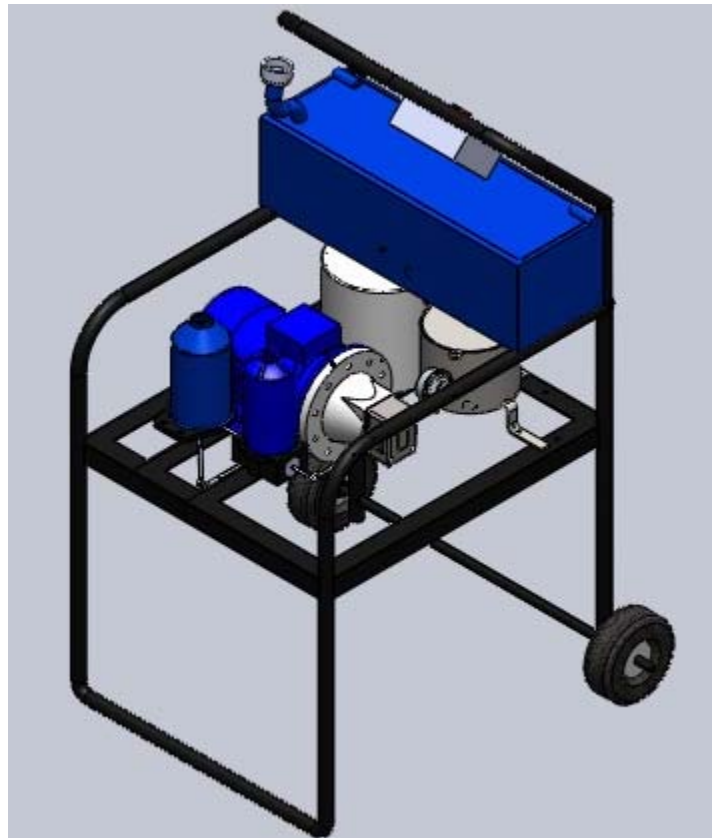
**Ventajas:**

- *Cumple con todas las necesidades del proyecto.*
- *Posee doble tipo de filtración (filtración fija y centrífuga).*
- *Más económico.*
- *Ergonómico y fácil de transportar.*
- *Diseñado bajo la norma ambiental colombiana.*
- *Al ser presentado como trabajo de grado da la posibilidad de realizar toda la investigación, adquisición de conocimientos y trabajo práctico que sirve como parte de nuestra formación ingenieril.*

A continuación se presenta dos bosquejos en SOLIDWORKS 2007 del prototipo portátil:

- **Bosquejo 1:**

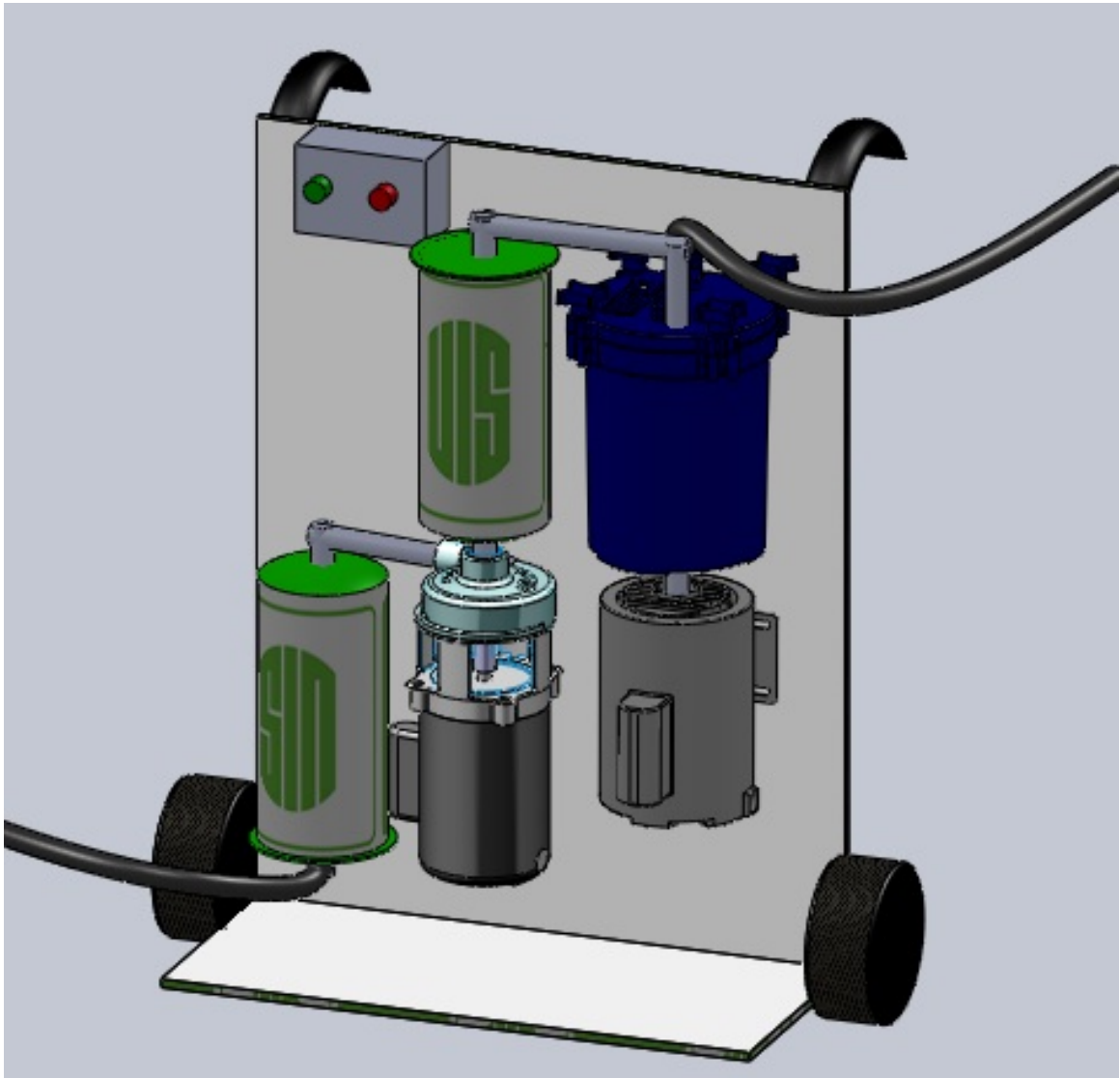
**Figura 7. Bosquejo 1 de prototipo portátil de recuperación de aceite hidráulico usado**



Fuente: Los autores

- **Bosquejo 2:**

**Figura 8. Bosquejo 2 de prototipo portátil de recuperación de aceite hidráulico usado**



Fuente: Los autores

## 5.2 SELECCIÓN FINAL DEL PROTOTIPO DE RECUPERACIÓN DE ACEITE HIDRÁULICO USADO DE BASE MINERAL

Realizando un análisis completo de las dos alternativas (comprar el dispositivo o diseño y construcción del prototipo), se puede concluir que la alternativa más viable es la No. 2, ya que es menos costosa y cumple a cabalidad los requisitos necesarios para el proyecto.

A pesar de que la primera alternativa presenta unas obvias ventajas al examinar los aspectos se observa que también tiene algunos factores negativos que al realizar el análisis general son los que determinan que la segunda alternativa sea más viable.

Ahora bien, de la alternativa 2 provienen dos tipos de diseño del prototipo, las cuales poseen diversas ventajas respecto a la otra

### **Bosquejo 1:**

Ventajas:

- *Mayor estabilidad*
- *Facilidad en el mantenimiento de los componentes*

Desventajas:

- *Ocupa mayor espacio*
- *Aumentan costos de construcción*

### **Bosquejo 2:**

Ventajas:

- *Equipo más económico de construir*
- *Ocupa un espacio más reducido*

Desventajas:

- *Posee una estructura más inestable*
- *Aumentan costos de mantenimiento*

Al analizar detenidamente los pros y los contras de los bosquejos se toma la decisión de diseñar y construir con relación al bosquejo 1, ya que la estabilidad es un elemento primordial en el diseño del prototipo, debido a las vibraciones causadas por la bomba. Además, un sistema de centrifugación autopropulsado genera más retos ingenieriles, provee de innovación y una mejora en eficiencia energética al quitar un motor, más aún con los factores estéticos que hace ver al bosquejo 1 como la opción adecuada.

### 5.3 DESPLIEGUE DE LA FUNCION DE CALIDAD (QFD)

#### **Requerimientos:**

El banco de pruebas de servosistemas hidráulicos con el que se busca dotar a la escuela debe tener ciertas características. A continuación se presentan cuales son los requisitos de los interesados en el producto.

- Fácil de operar.
- Funcionamiento seguro para operarios.
- Versatilidad.
- Confiabilidad.
- Portátil.
- Fácil instalación de elementos.
- Ocupar el menor espacio posible.
- Ergonómico.
- Larga vida útil.
- Repuestos fáciles de conseguir.
- Económico.
- Fácil mantenimiento.

#### **Matriz de Calidad.**

Los requerimientos anteriores son las necesidades que se introducen en la matriz de calidad en las respectivas filas. Estas necesidades tienen un valor que estima la importancia para el consumidor. Además se debe establecer los requisitos del proyecto como características de ingeniería, y estos parámetros se ubican en la parte superior de la matriz luego se relacionan estos parámetros representando un grado de importancia.

Tabla 16. Matriz de calidad de la función de calidad QFD



Matriz de relaciones: Equipo portátil para la recuperación de aceites hidráulicos usados de base mineral				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
				Sistema Portátil	Fácil operatividad	Dimensiones	Fácil instalación	Control de funcionamiento	Posibilidad de cambiar parámetros (Velocidad de giro, galonaje)	Cumplimiento de normas ambientales	Estético	Funcionamiento	Economía
Necesidad Superior	No	Necesidad del Cliente	Peso Ponderado										
Operación y seguridad.	1	Fácil de operar	10,0%	3	9		3	9	3	1	1	3	
	2	Funcionamiento seguro para operarios y equipos	9,0%	1	3		3	3	3	9	1	9	3
	3	Versatilidad	5,0%	3	1		3		9	3	1	1	3
	4	Confiabilidad	10,0%	3		1	9	3	3	9		9	3
Comodidad	5	Portátil	12,0%	9	3	9	3				3	1	9
	6	Fácil instalación de elementos	10,0%	3	1	1	3	1	1	1	1		
	7	Ocupar el menor espacio posible	5,0%	3	1	9	1		1		3	1	9
Vida útil	8	Ergonómico	8,0%	9	3	9	1			3	3	3	
	9	Larga vida útil	8,5%	3	1		3	1	3	9		9	3
	10	Repuestos fáciles de conseguir	7,0%	3			9		3	3		3	9
	11	Económico	9,5%	9		1		3	3	9		3	9
	12	Mantenimiento	6,0%	3	3		3	1	1	3	3	9	9
			100,0%										
				4,6	2,2	2,5	3,5	2,0	2,3	4,3	1,3	4,3	4,5

### Ponderación de resultados.

Luego de realizar la matriz de calidad, a continuación se evaluarán los resultados obtenidos, a fin de determinar cuáles son los parámetros ingenieriles más decisivos a la hora de seleccionar una alternativa. Para el siguiente análisis se seleccionan los parámetros y requisitos más importantes para la realización del proyecto.

**Tabla 17. Ponderación de resultados de la función de calidad QFD**

EQUIPO PORTATIL PARA LA RECUPERACION DE ACEITES HIDRAULICOS USADOS DE BASE MINERAL											
SISTEMA PORTATIL (27%)			ECONOMIA (26%)			NORMAS AMBIENTALES (23.5%)			FUNCIONAMIENTO (23.5%)		
Portátil	70%	0.189	Económico	70%	0.182	Funcionamiento seguro	50%	0.1175	Larga vida útil	60%	0.141
Ergonómico	30%	0.081	Repuestos fáciles de conseguir	30,00%	0.078	Confiability en el proceso.	50%	0.1175	Mantenimiento	40%	0.094

Fuente: Los autores

**Tabla 18. Tabla de resultados de la función de calidad QFD**

BANCO DE PRUEBAS DE SERVOSISTEMAS HIDRÁULICOS		
DESCRIPCIÓN	SUBGRUPO	VALOR
Portátil	SISTEMA PORTATIL	0.189
Económico	ECONOMIA	0.182
Larga vida útil	FUNCIONAMIENTO	0.141
Funcionamiento seguro	NORMAS AMBIENTALES	0.1175
Confiability en el proceso.	NORMAS AMBIENTALES	0.1175
Mantenimiento	FUNCIONAMIENTO	0.094
Ergonómico	SISTEMA PORTATIL	0.081
Repuestos fáciles de conseguir	ECONOMIA	0.078

Fuente: Los autores

### 5.4 DESCRIPCION DE LA PROPUESTA SELECCIONADA

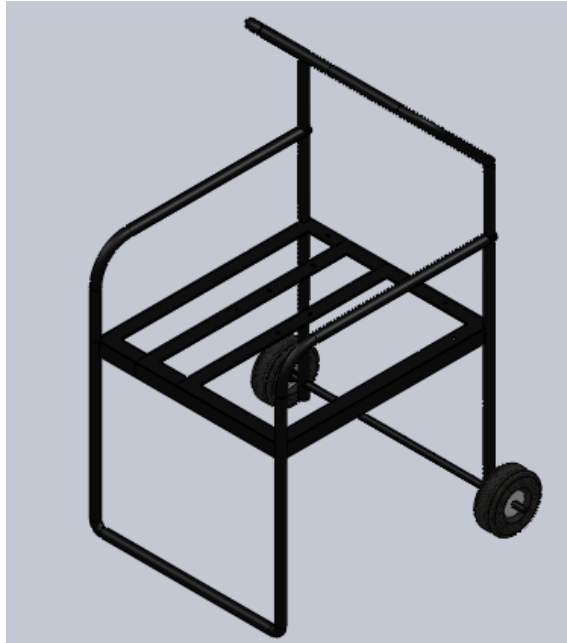
Después de haber analizado las propuestas anteriores, se determino que la mejor opción es la Alternativa 2 con bosquejo 1, por su facilidad en el diseño, construcción y prestaciones ofrecidas. En la figura 7 se muestra el modelo escogido.

A continuación se hace una descripción de los componentes estructurales más importantes del prototipo.

#### 5.4.1 Estructura principal

La estructura principal es uno de los elementos más importantes del diseño, ya que ahí se encuentran acopladas todas las partes del prototipo. Soporta el peso de todos los componentes y brinda estabilidad. Da la capacidad al prototipo de ser portátil al poseer ruedas, facilidad de uso y resistencia a las vibraciones mecánicas.

**Figura 9. Estructura principal**

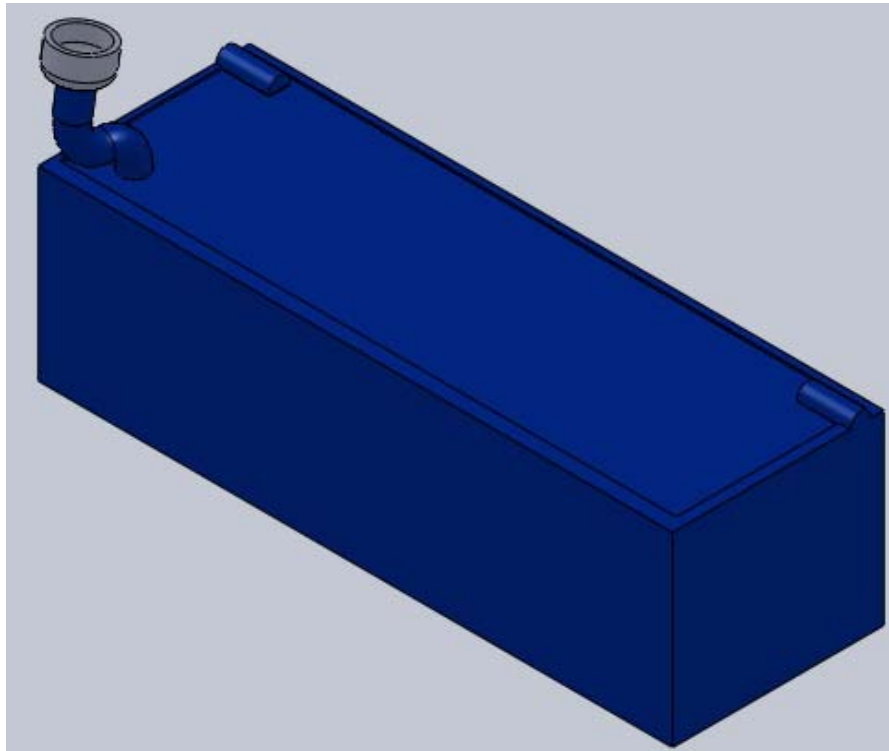


Fuente: Los autores

#### 5.4.2 Tanque de almacenamiento de prellenado

Este tanque de almacenamiento de aceite usado proporciona que los filtros y la bomba hidráulica se purguen y funcionen correctamente. Además es de gran ayuda a la bomba, ya que garantiza que la bomba mantenga una buena cabeza de presión, más vida útil y evitar una posible cavitación. Posee un visor que muestra al operario el nivel de aceite en el tanque, indicando cuando se puede apagar el prototipo. Se construyó con acero 1045 de calibre 16.

**Figura 10. Tanque de almacenamiento de prellenado**



Fuente: Los autores

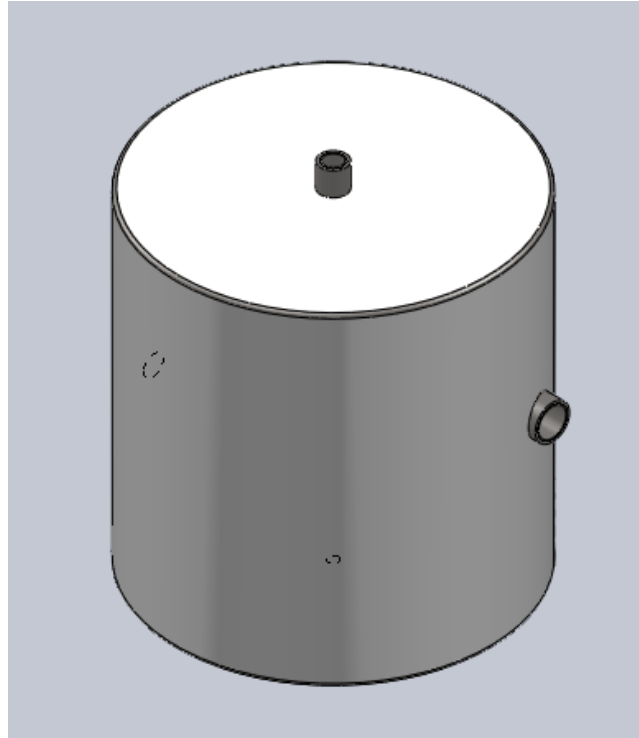
#### **5.4.3 Tanque de almacenamiento**

El tanque de almacenamiento acoplado al prototipo portátil cumple dos funciones importantes:

- a) Da una etapa de purga previa a la entrada de los filtros*
- b) Mantiene la continuidad del fluido para evitar la aireación en la succión de la bomba.*

Para mantener un diseño estético y a la vez resistente, se utilizó como material del tanque acero inoxidable AISI 304, que brinda además estabilidad química, esencial para que el aceite a limpiar no se contamine aún más.

**Figura 11. Tanque de almacenamiento** ¡Error! Marcador no definido.



Fuente: Los autores

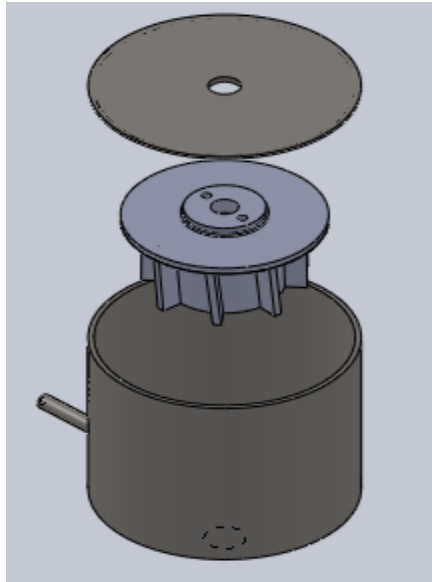
#### **5.4.4 Filtro centrífugo**

Uno de los componentes primordiales del diseño, el dispositivo de centrifugación tendría la capacidad de filtrar elementos de tamaño menor a 10 micrones. Consta de una carcasa construida en acero inoxidable AISI 304 y de un rotor del mismo material. Es autopulsado, utilizando el caudal de la bomba para hacer girar el rotor a manera de turbina, con un inyector que hace que el flujo de aceite llegue a una presión capaz de mover el rotor a una velocidad de rotación determinada.

La rotación alcanzada por el rotor hace que el aceite hidráulico se dirija hacia las paredes, estando la parte sucia y pesada y el agua más alejada del centro del filtro, además de golpear un papel filtrante que absorbe tal suciedad.

También posee un orificio de purga para sacar el agua y suciedad del filtro.

**Figura 12. Filtro centrífugo**



Fuente: Los autores

#### **5.4.5 Filtros de 10 y 20 micrones**

Los filtros de 10 y 20 micrones fueron escogidos para hacer cumplir la normativa ISO 4406:1999, que provee los estándares de limpieza para aceites hidráulicos.

**Figura 13. Filtros de 10 y 20 micrones**

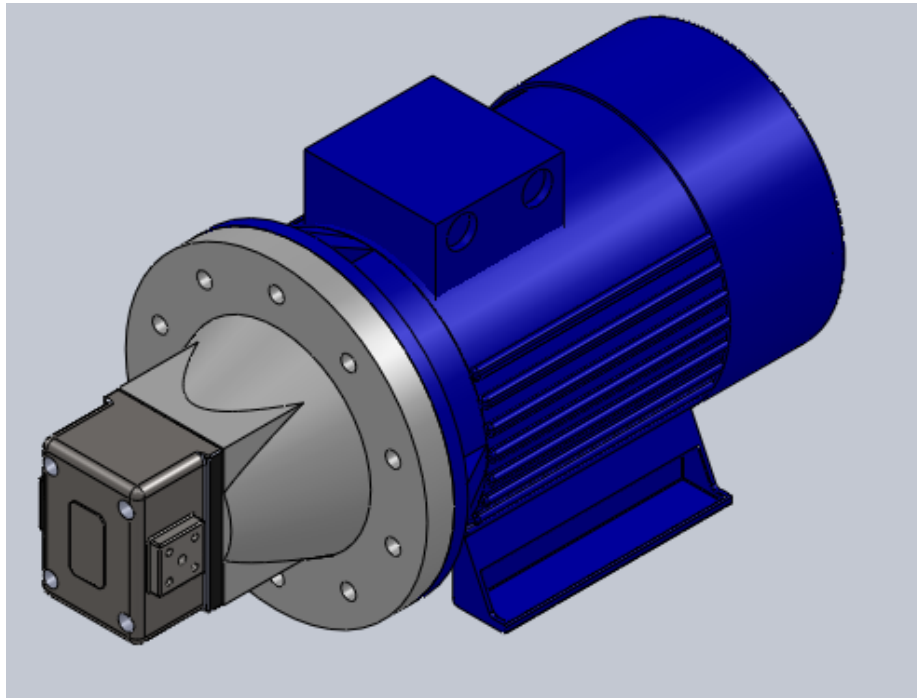


Fuente: Los autores

#### 5.4.6 Motobomba de engranajes

El conjunto motor-bomba que posee el prototipo, posee una potencia de motor de 2.3 HP, el motor gira a 1750 rpm a 220 V, y la bomba posee un caudal nominal de 0.5 gpm.

**Figura 14. Motobomba de engranajes**



Fuente: Los autores

### 5.5 DISEÑO MECANICO DEL PROTOTIPO

Para el análisis de la estructura principal del prototipo es indispensable conocer la magnitud de las fuerzas, momentos flectores, torques y demás acciones que externamente son aplicadas por los demás componentes y que actúan sobre ella. Un componente crítico dentro del sistema es el soporte de la bomba ya que está sometido a los grandes esfuerzos generados por la bomba, este debe ser capaz de resistir el peso de la bomba y garantizar una deformación mínima para evitar sacudidas que perturben la estabilidad del prototipo.

#### 5.5.1 Cálculo del caudal de la bomba

Para calcular experimentalmente el caudal de la bomba se tomó como referencia una vasija aforada de 500 ml, tomando además el tiempo que demoraba en llenarse dicha vasija con el aceite hidráulico. En la tabla 19 se muestra el tiempo tomado para diez pruebas:

**Tabla 19. Tiempo de prueba para cálculo de caudal**

Prueba	Tiempo (s)
1	16.5
2	16,9
3	17,08
4	17,1
5	16,9
6	15,7
7	16,45
8	16,33
9	16,22
10	15,85
<b>PROMEDIO</b>	16,5033333

Fuente: Los autores

Volumen de la muestra = 500 ml

500 ml = 0.5 l =  $5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$

Así, con el tiempo promedio se halla un caudal promedio, además del anexo D se saca:  $Q = 0.5 \text{ gpm}$  entonces:

$$Q_{prom} = \frac{\text{Volumen de muestra}}{\text{Tiempo promedio}} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$Q_{prom} = \frac{5 \times 10^{-4} \text{ m}^3}{16.5 \text{ s}} = 3.03 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0.48 \text{ gm}$$

$$\eta_{vol} = \frac{0.48}{0.5} = 0.96$$

### 5.5.2 Velocidad de Salida de Chorro de Aceite Hidráulico

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

$$Q_{prom} = V_{prom} * A \quad \text{Ecuación 3}$$

donde:

$V_{prom}$ —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 mm =  $6.35 \times 10^{-3} \text{ m}$ .

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

Utilizando la ecuación 3, despejamos y hallamos la  $V_{prom}$

$$V_{prom} = \frac{Q_{prom}}{A} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

$$V_{prom} = \frac{3.03 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{3.16 \times 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$V_{prom} = 0.96 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Ahora bien, teniendo una velocidad promedio en la tubería, procedemos a hallar la velocidad de salida de chorro en el eyector, para esto, sabemos que la masa permanece constante y utilizamos la ecuación de continuidad de Bernoulli, que es de la forma:

$$\frac{p_1}{\rho g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - \Sigma H_{1-2} + \Sigma H_b - \Sigma H_t = \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$Q_1 = Q_2 \quad \text{Ecuación 7}$$

$$V_1 * A_1 = V_2 * A_2 \quad \text{Ecuación 8}$$

donde:

$V_1$ — $V_{prom}$

$A_1$ —Área transversal del tubo de ¼"

$A_2$ —Área de salida del eyector

$V_2$ —Velocidad de salida del eyector

Sabemos que la salida del inyector posee un diámetro de 1 mm, es decir  $1 \times 10^{-3}$  m.

Con esta información y utilizando la ecuación 4 hallamos el área de salida del inyector:

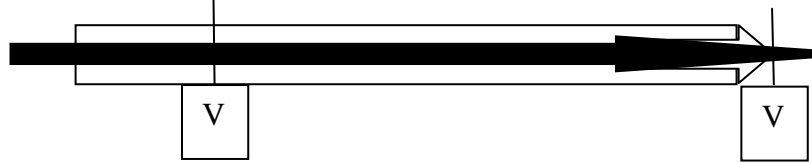
$$A_2 = \frac{\pi * (1 \times 10^{-3} \text{ m})^2}{4} = 7.85 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

Ahora se realiza el reemplazo en la ecuación 8:

$$V_2 = 0.96 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \frac{3.16 \times 10^{-5}}{7.85 \times 10^{-7}}$$

$$V_2 = 38.7 \frac{m}{s}$$

**Figura 15. Velocidad en la tubería de salida**



Fuente: Los autores

### 5.5.3 Presión de Salida del Chorro

Simplificando la ecuación 6 vemos que:

$$P_2 = \frac{\rho * V^2}{2} \quad \text{Ecuación 6.1}$$

Donde:

$P_2$ —Presión del chorro eyectado

$\rho$  – Densidad del aceite hidráulico ISO 46 TP a 15 °C igual 871 Kg/m<sup>3</sup>

$V$  – Velocidad de salida del chorro

Hallando la presión de chorro nos da:

$$P_2 = 871 \frac{Kg}{m^3} * \frac{(38.7 \frac{m}{s})^2}{2}$$

$$P_2 = 652244 Pa = 94.6 psi$$

### 5.5.4 Velocidad del Rotor

Para hallar la velocidad del rotor, se utilizan los fundamentos de cantidad de movimiento, donde se puede hacer la relación de velocidad de chorro con la fuerza aplicada a las aletas del rotor.

En este caso, se manejan las siguientes ecuaciones:

$$F_x = P * A = 1 N \quad \text{Ecuación 9}$$

donde:

$F_x$ —Fuerza del chorro al golpear el rodete

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:

$$F_x = Q * \rho * (C_1 - U) * (1 - \cos \beta) \quad \text{Ecuación 10}$$

donde:

$F_x$ —Fuerza aplicada en el rodete

$C_1$ —Velocidad del chorro

$U$ —Velocidad del rodete

$\beta$ —Ángulo del rodete

Despejando U:

$$U = C_1 - \frac{F_x}{Q \cdot \rho \cdot (1 - \cos \beta)} \quad \text{Ecuación 10.1}$$

$$U = 38.7 \frac{m}{s} - 1 N / \left( \left( 3.03 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s} * \frac{871 Kg}{m^3} \right) * (1 - \cos 6) \right)$$
$$U = 4.3 m/s$$

Con un radio de 0.0365 m, los álabes rotan debido a la fuerza tangencial aplicada por el chorro.

Con esta información, hallamos el número de rpm del rotor

$$rpm = \frac{U}{r} * \frac{1 \text{ revolución}}{2\pi \text{ rad}} * \frac{60 s}{1 \text{ min}} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$rpm = \frac{4.3}{0.0365} * \frac{1}{2\pi} * \frac{60}{1}$$

$$rpm = 1124$$

Comparando las rpm teóricas con aquellas halladas en la práctica, se halla la eficiencia mecánica:

$$\eta_{mec} = \frac{rpm \text{ reales}}{rpm \text{ teóricas}} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$\eta_{mec} = \frac{936}{1124}$$

$$\eta_{mec} = 0.83$$

### 5.5.5 Pérdidas en Tuberías y Accesorios

De la salida de la bomba a la salida del chorro, se pasa por una tubería de ¼", de longitud 10 cm.

Para calcular las pérdidas por tubería, debemos hallar el número de Reynolds correspondiente al flujo de aceite hidráulico.

$$Re = \frac{V * D}{\nu} \quad \text{Ecuación 13}$$

donde:

$V$ —Velocidad del fluido en la tubería

$D$ —Diámetro de la tubería

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

$$Re = \frac{0.96 \text{ m}}{\text{s}} * \left( \frac{1}{4} * 0.0254 \text{ m} \right) / 4.63 \times 10^{-5}$$

$$Re = 131.66 < 2000 \text{ Flujo Laminar}$$

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

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad \text{Ecuación 14}$$

donde:

$\lambda$  – Coeficiente de pérdidas en tubería

Entonces:

$$\lambda = \frac{64}{131.66} = 0.486$$

De aquí partimos para hallar la altura de pérdidas

$$H_{p\acute{e}rdidas} = \lambda * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ecuación 15}$$

donde:

$L$ —Longitud de la tubería = 0.1 m

$D$ —Diámetro de la tubería

$V$ —Velocidad del fluido

$$H_{p\acute{e}rdidas} = 0.35 \text{ m}$$

Expresando en presión

$$P_{p\acute{e}rdidas} = \rho * g * H_{p\acute{e}rdidas} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$P_{p\acute{e}rdidas} = 2991 \text{ Pa} = 0.43 \text{ psi}$$

### 5.5.6 Pérdidas Antes de la Bomba

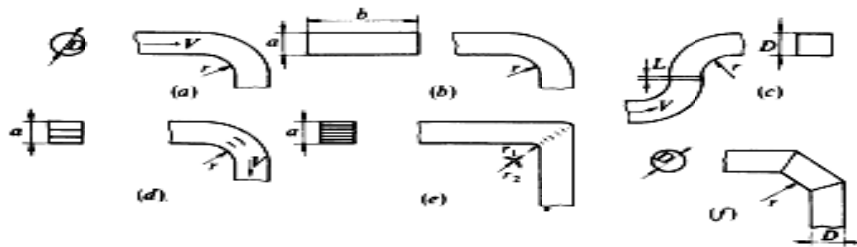
En esta parte, se debe mencionar los accesorios previos a la succión de la bomba.

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 0.5 m

Pérdidas en los codos:

Según la figura 15, encontramos los coeficientes de pérdidas en codos.

**Figura 16. 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

Fuente: Mecánica de Fluidos. Claudio Mataix. Ediciones del Castillo. 1982

Tomando el ejemplo a),  $r/D = 1/4" / 1/4" = 1$ ,  $\xi = 0.16$

Los filtros de 10 y 20 micrones tienen coeficientes de pérdidas aproximados, los cuales se suponen de 1 para sobredimensionar pérdidas.

La ecuación general de pérdidas está dada por:

— — **Ecuación 17**

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

\_\_\_\_\_

—

### 5.5.7 Cargas Sobre 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:

$$D = \frac{m}{v} \quad \text{Ecuación 18}$$

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

$$H = 0.18 \text{ m}$$

$$R = 0.1 \text{ m}$$

$$V = 3.14 * r^2 * h$$

**Ecuación 19**

$$v = \pi * 0.1^2 * 0.18 = 0.0056 \text{ m}^3$$

Entonces la masa es:

$$m = D * v \quad \text{Ecuación 20}$$

$$m = 871 * 0.0056 = 4.9 \text{ Kg}$$

Hallando las fuerzas ejercidas por los elementos:

$$F = m * g \quad \text{Ecuación 21}$$

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

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

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

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

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

Con estas fuerzas, ya podemos realizar el análisis estructural en el software ANSYS WORKBENCH©

### 5.5.8 Calculo de Ejes

- Eje del Rotor

El eje del rotor está sometido a una carga continua proveniente del inyector. Al chocar el fluido sobre el rodete, se genera un movimiento de rotación el cual es necesario mantener, así que para esto es necesaria una flecha resistente, además acorde con los materiales utilizados.

El material considerado para este eje es acero inoxidable AISI 304, que posee las propiedades:

*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)*

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

$$d = \left\{ 32 * \frac{N_f}{\pi} \left( (k_f * \frac{M_a}{S_f})^2 + \frac{3}{4} * (k_{fsm} * T_m / S_y)^2 \right)^{1/2} \right\}^{3/4} \quad \text{Ecuación 22}$$

donde:

*d*—Diámetro del eje

*N<sub>f</sub>*—Factor de seguridad

*K<sub>f</sub>*—Factor de concentración de esfuerzos de fatiga por flexión

*M<sub>a</sub>*—Momento flector en la flecha

*S<sub>f</sub>*—Módulo de elasticidad

*K<sub>fsm</sub>*—factor de concentración de esfuerzos por torsión

*T<sub>m</sub>*—Torque medio

*S<sub>y</sub>*—Resistencia a la cedencia

Tomando un factor de seguridad de 5, un factor de concentración de esfuerzos igual a 2.0, y despreciando las cargas flectoras procedemos a calcular el diámetro del eje:

$$d = \left( \frac{32N_f}{\pi} * \frac{3}{4} K_{fsm} * T_m / S_y \right)^{3/4} \quad \text{Ecuación 23}$$

$$T_m = f * r$$

donde:

*F*—Fuerza del fluido

*R*—Radio del rodete

$$Tm = 0.0365 m * 1.2 N = 0.038 N - m$$

$$d = 1,76 \times 10^{-6} m$$

El diámetro del eje es muy pequeño, aún con un factor de seguridad relativamente alto.

Por comodidad, se selecciona un eje de diámetro 3/4 in, que después de mecanizar llegó a un diámetro de 17 mm.

### 5.5.9 Selección de Rodamientos

Para la selección de rodamientos se utilizó el tamaño del eje del rotor como referencia, así se consiguió un rodamiento de 17 mm de diámetro interno, con la condición de ser cónico para un desarme sencillo del filtro centrífugo.

En el mercado fue fácil conseguir un rodamiento de 40 mm x 17 mm, marca Timken, al cual se le maquinó un buje para la sujeción de la pista externa.

**Figura 17. Catálogo de rodamientos Timken**;

	Cone (Inner)	Cup (Outer)	Dimensions (mm)			K Factor	Load Ratings (kN)	
			(d) Bore	(D) Outer Diameter	(T) Width		C1	C90
<input checked="" type="radio"/>	<b>30203</b>	30203	17.000	40.000	13.250	1.69	19.8	5.12
<input type="radio"/>	<b>A6067</b>	A6157A	16.993	39.982	12.014	1.11	12.4	3.22
<input type="radio"/>	<b>A6067</b>	A6157	16.993	39.992	12.014	1.11	12.4	3.22

Fuente: <http://www.timken.com>

### 5.5.10 Eje de Sujeción de las Ruedas de la Estructura

Dadas las condiciones de las ruedas, el diámetro del eje debe ser de 5/8", por lo tanto se debe seleccionar un material resistente a las cargas totales del prototipo. En el mercado se encuentran ejes de acero 1020, lo que suponemos un material aceptable para el proceso de diseño.

Ajunas de sus propiedades son:

*Dureza 111 HB*

*Esfuerzo de fluencia 205 MPa (29700 PSI)*

*Esfuerzo máximo 380 MPa (55100 PSI)*

*Elongación 25%*

*Reducción de área 50%*

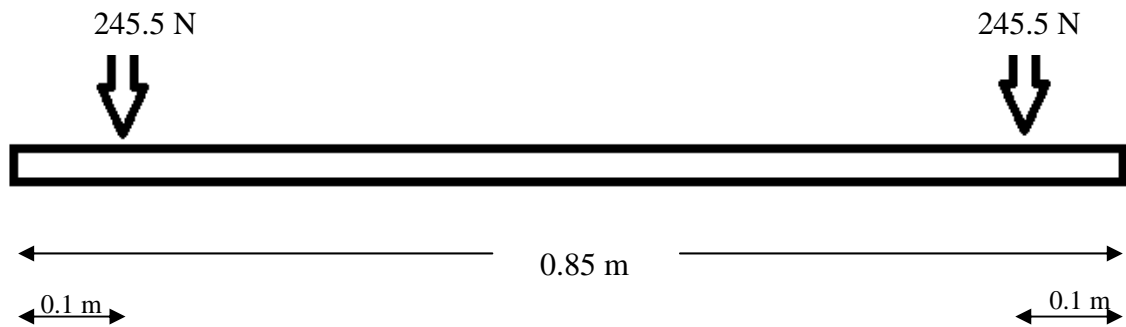
*Módulo de elasticidad 205 GPa (29700 KSI)*

*Maquinabilidad 72% (AISI 1212 = 100%)*

Ahora hallamos las fuerzas aplicadas en el eje.  
Peso total del prototipo: 50 kg

$$F_{\text{total}} = 50 * 9.81 = 491 \text{ N}$$

**Figura 18. Cargas sobre el eje**



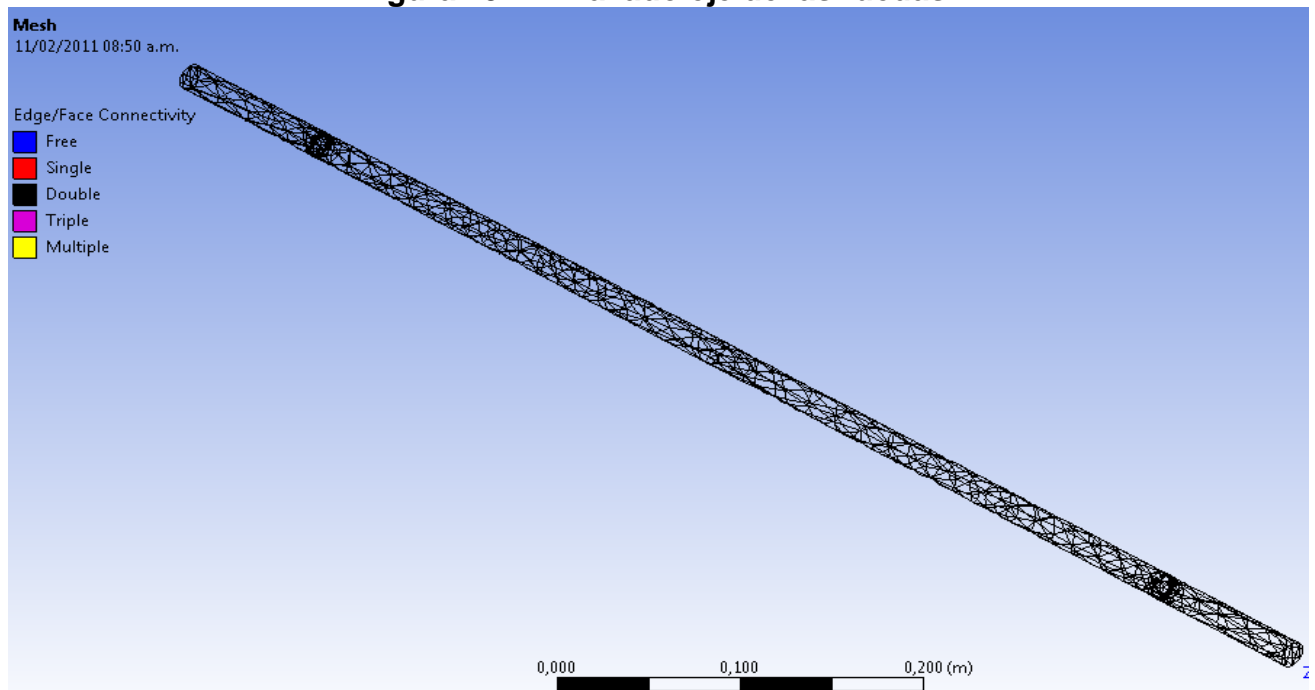
Fuente: Los autores

Con todos los datos se realiza el análisis en el software ANSYS WORKBENCH.

Enmallado:

Se realiza un enmallado automático con relevancia : 0

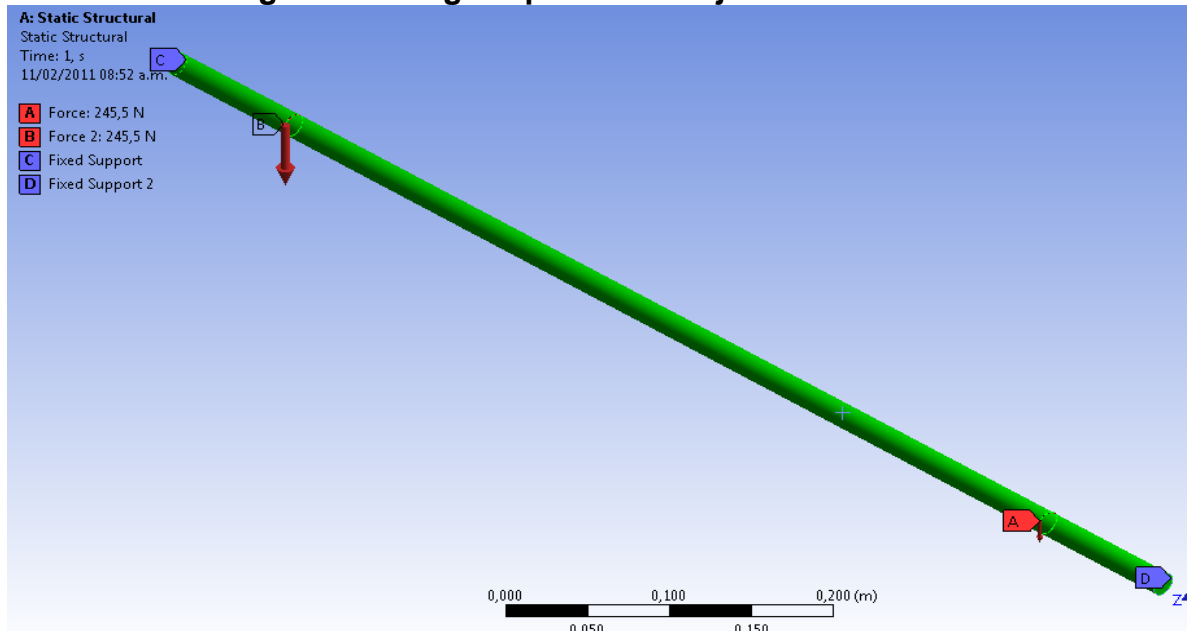
**Figura 19. Enmallado eje de las ruedas**



Fuente: Los autores

Cargas: Aplicamos en el programa las cargas que hay ejercidas sobre el eje.

**Figura 20. Cargas aplicadas al eje de las ruedas**

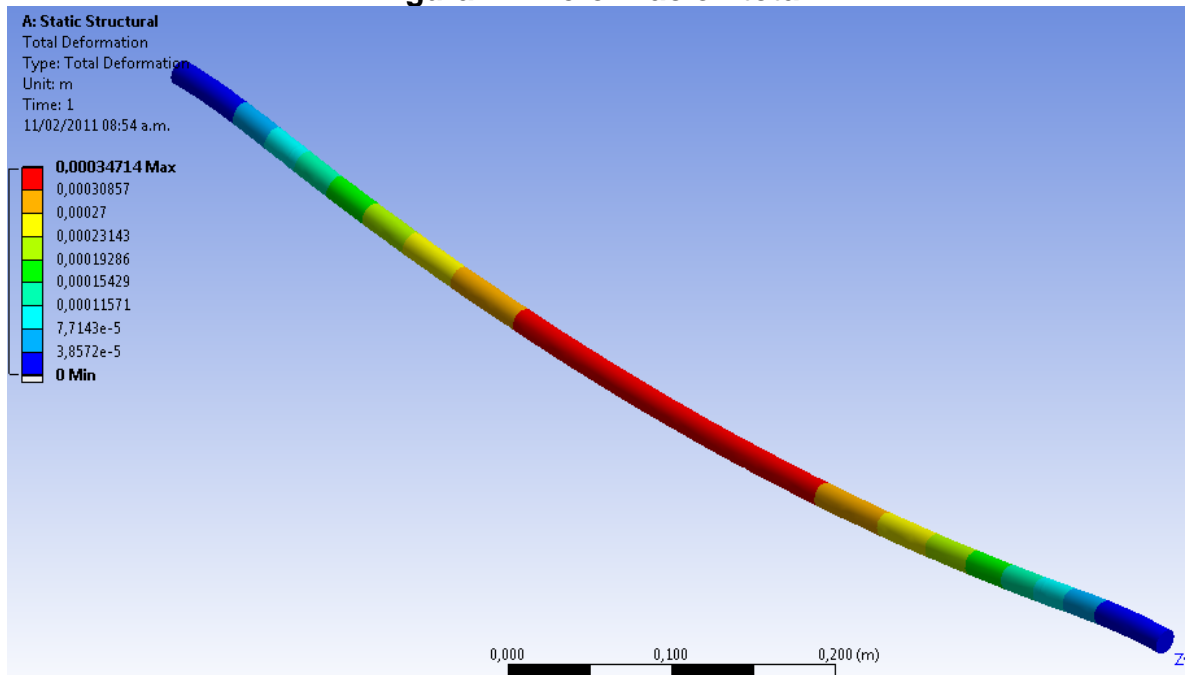


Fuente: Los autores

Resultados:

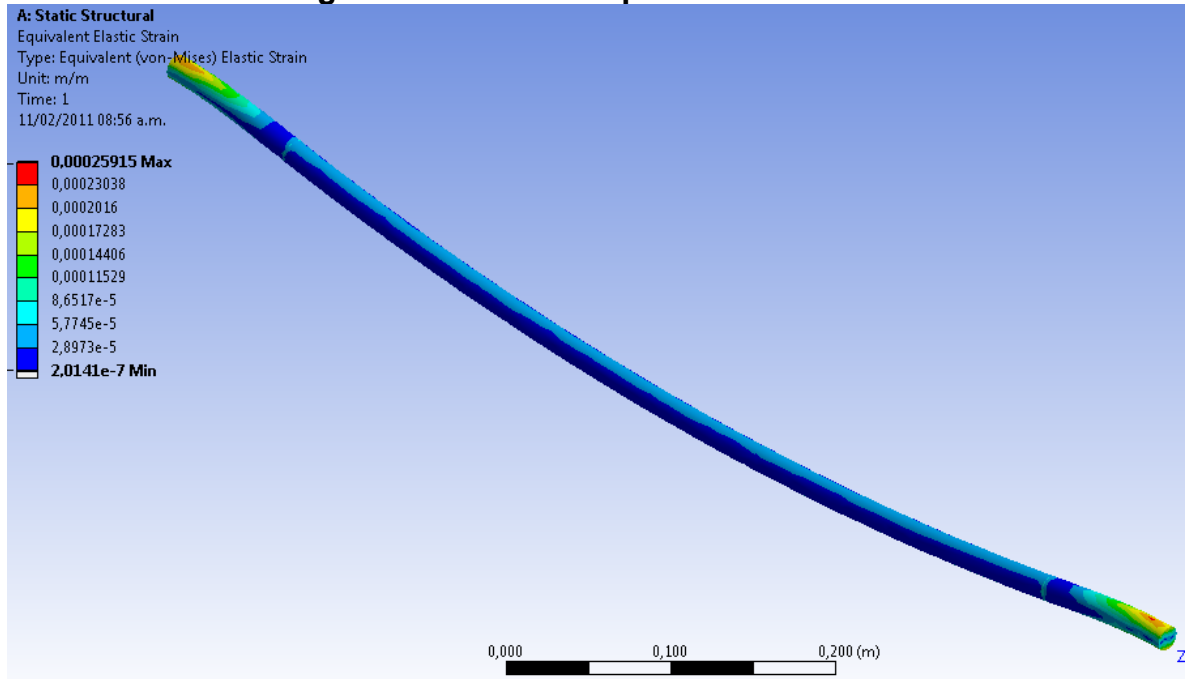
La deformación máxima total es de  $3,4 \times 10^{-4}$  m.

**Figura 21. Deformación total**



Fuente: Los autores

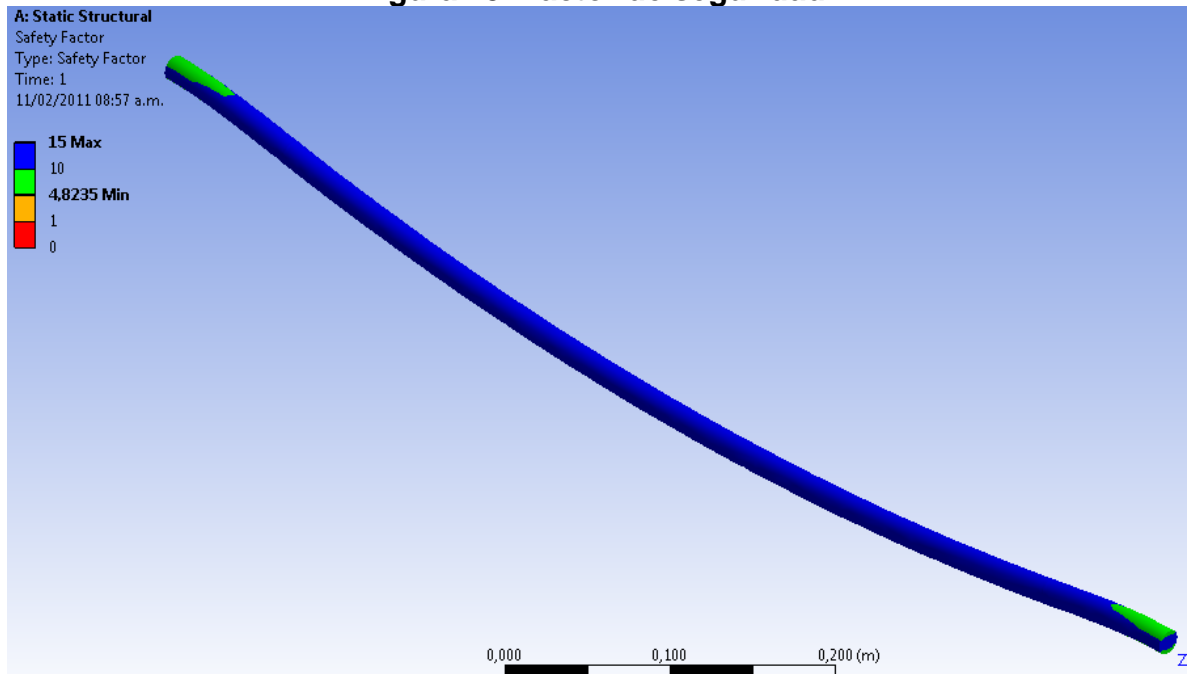
**Figura 22. Esfuerzo equivalente elástico**



Fuente: Los autores

El factor de seguridad mínimo es de 4,82, muy buen resultado.

**Figura 23. Factor de seguridad**



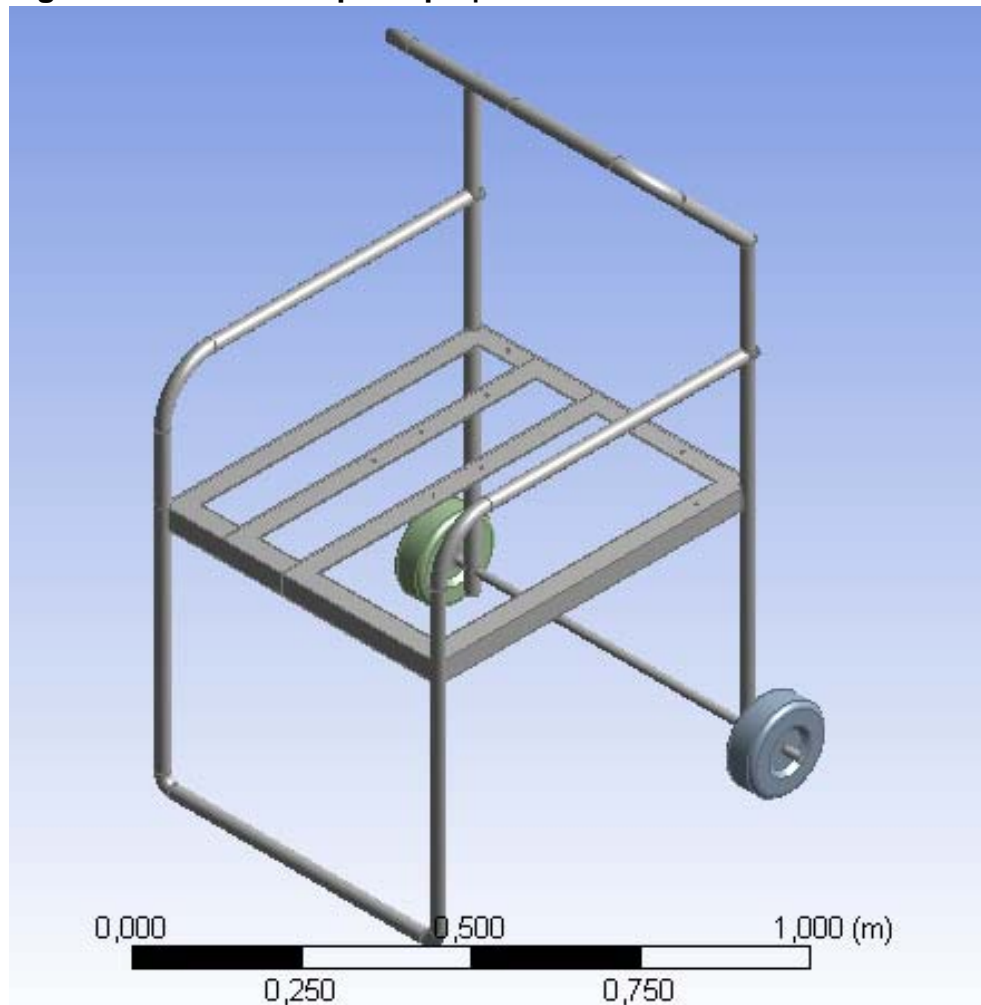
Fuente: Los autores

## 5.6 ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LA ESTRUCTURA PRINCIPAL

### 5.6.1 Geometría

Para los arreglos geométricos, se introdujo la estructura diseñada en el software SOLIDWORKS®, además de las propiedades de hierro dúctil presente en la librería de este programa.

Figura 24. Estructura principal; Error! Marcador no definido.

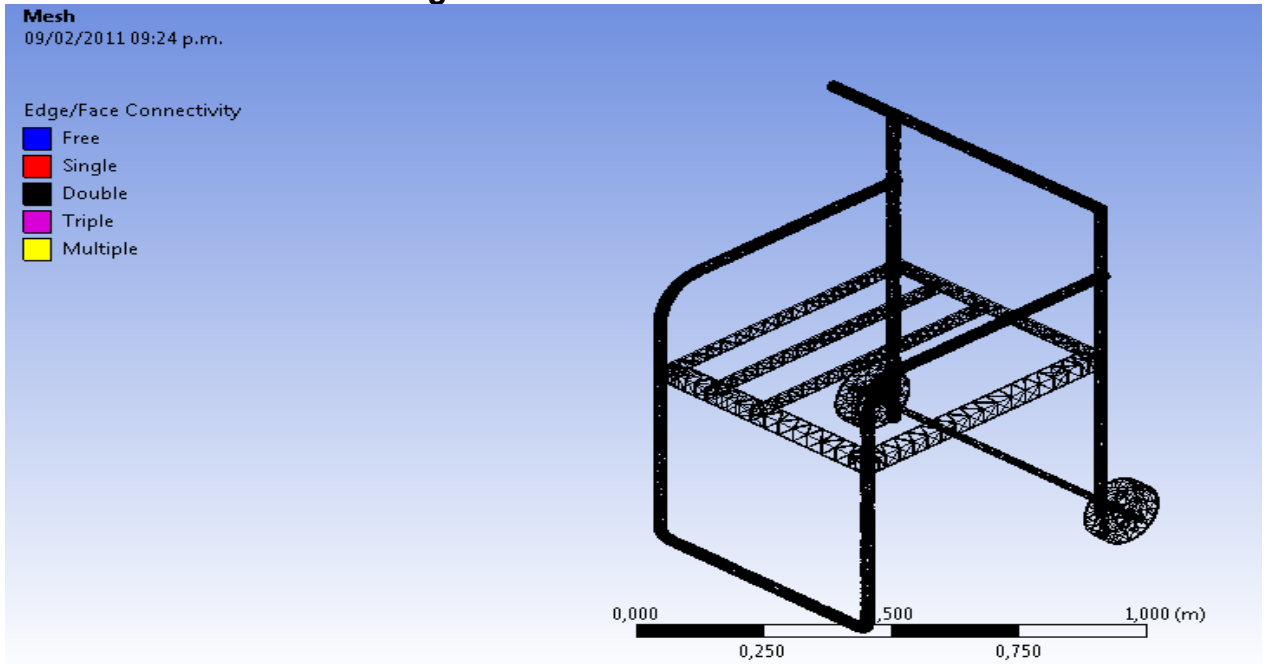


Fuente: Los autores

### 5.6.2 Enmallado

Debido a la irregularidad de la estructura se realizó un enmallado con referencia estructural de relevancia = 0, que nos permite resultados rápidos y ciertos del software.

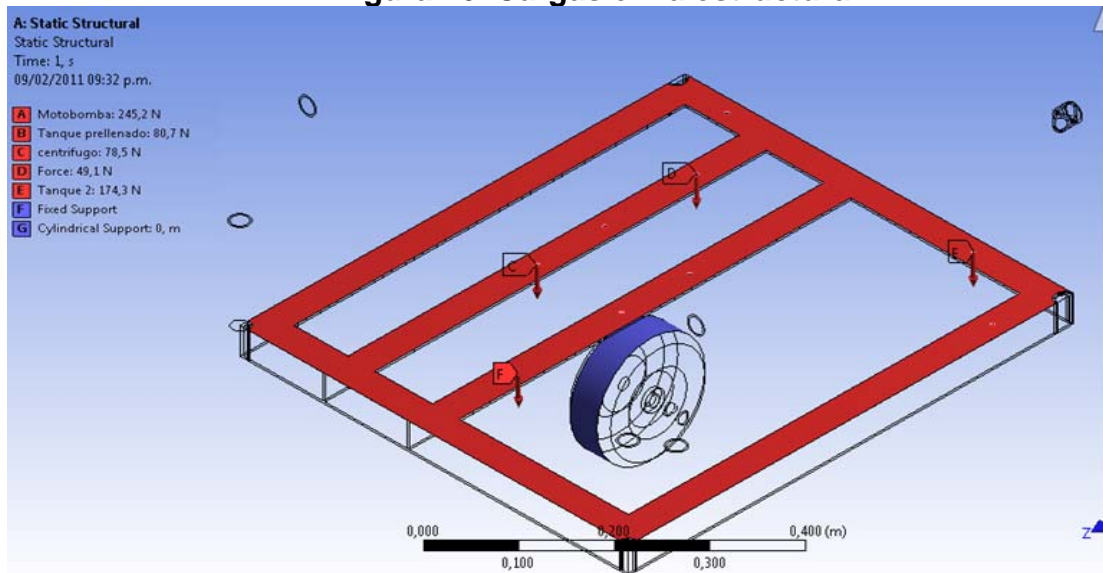
**Figura 25. Enmallado estructura**



Fuente: Los autores

A la simulación se le introdujeron las cargas anteriormente calculadas, así como el soporte natural en operación, es decir, la parte baja de la estructura y las ruedas.

**Figura 26. Cargas en la estructura**

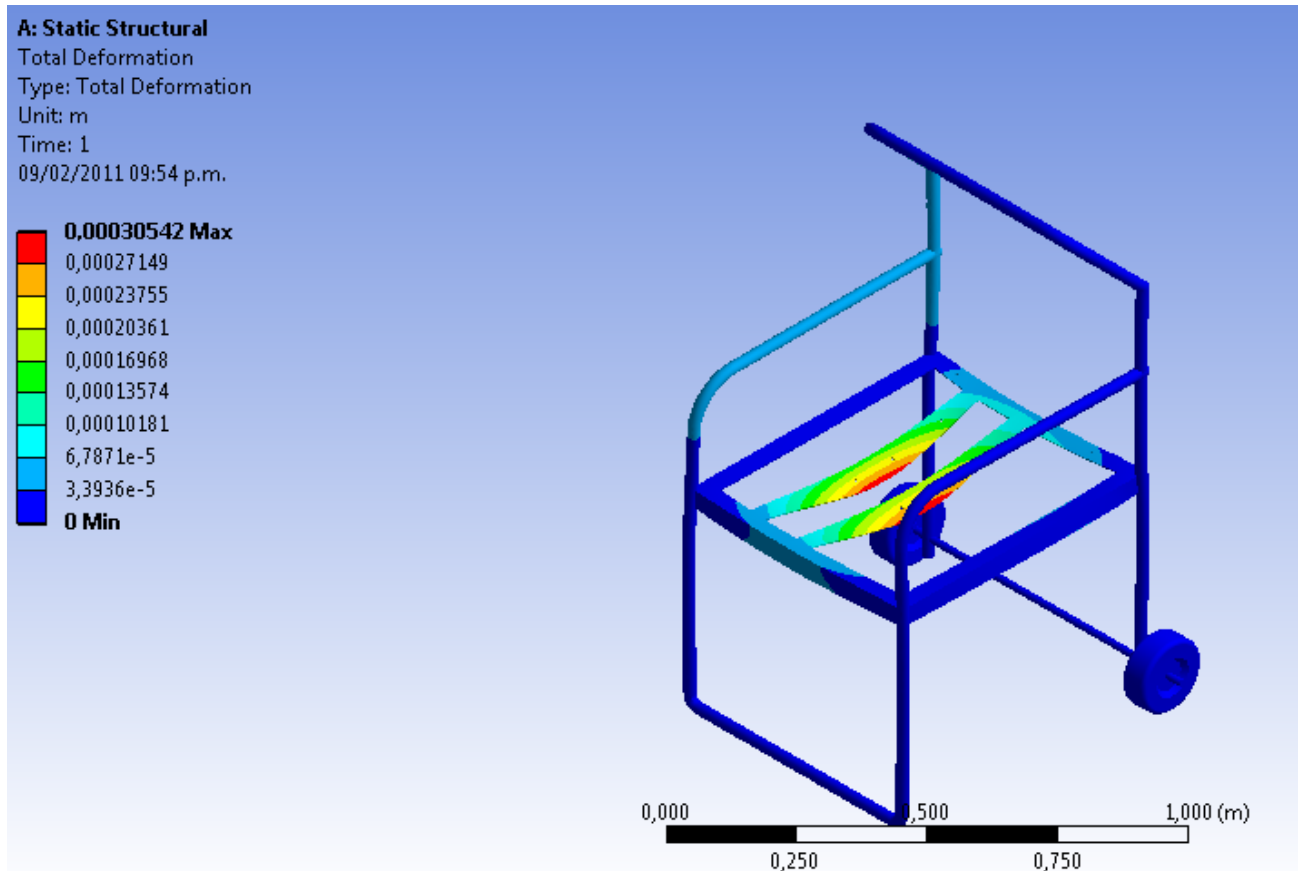


Fuente: Los autores

### 5.6.3 Resultados

Con todos estos datos, ANSYS WORKBENCH tiene la capacidad de dar solución al problema dado. ANSYS muestra los resultados mediante gama de colores, donde se representan los valores máximos de esfuerzos, deformaciones y demás procesos matemáticos necesarios. En nuestro caso observaremos los valores mínimos y máximos de esfuerzos, deformaciones y factor de seguridad de la estructura.

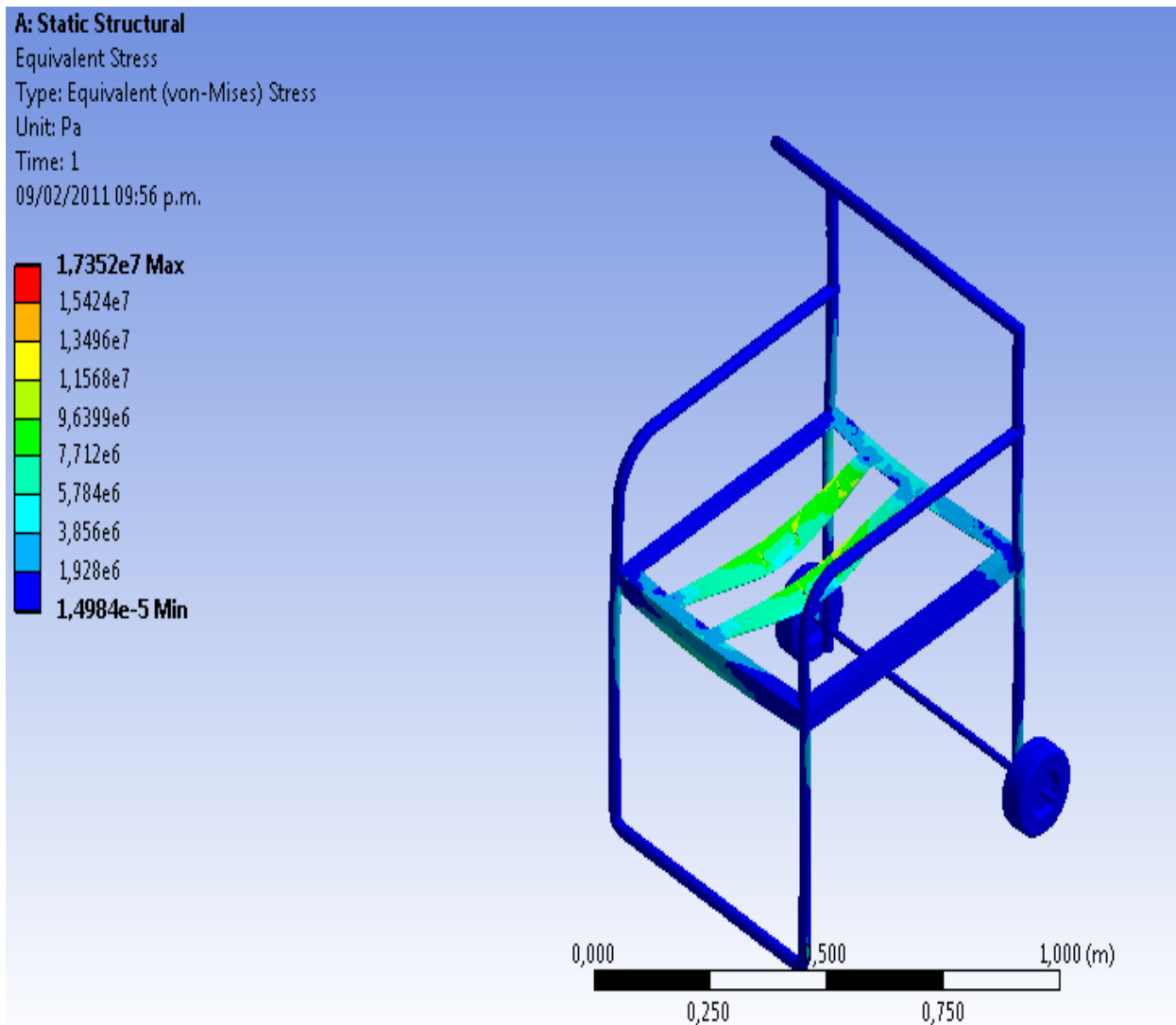
Figura 27. Deformación total



Fuente: Los autores

La deformación máxima es de  $3,0542e-4$  m, mínima en comparación con el tamaño de la estructura.

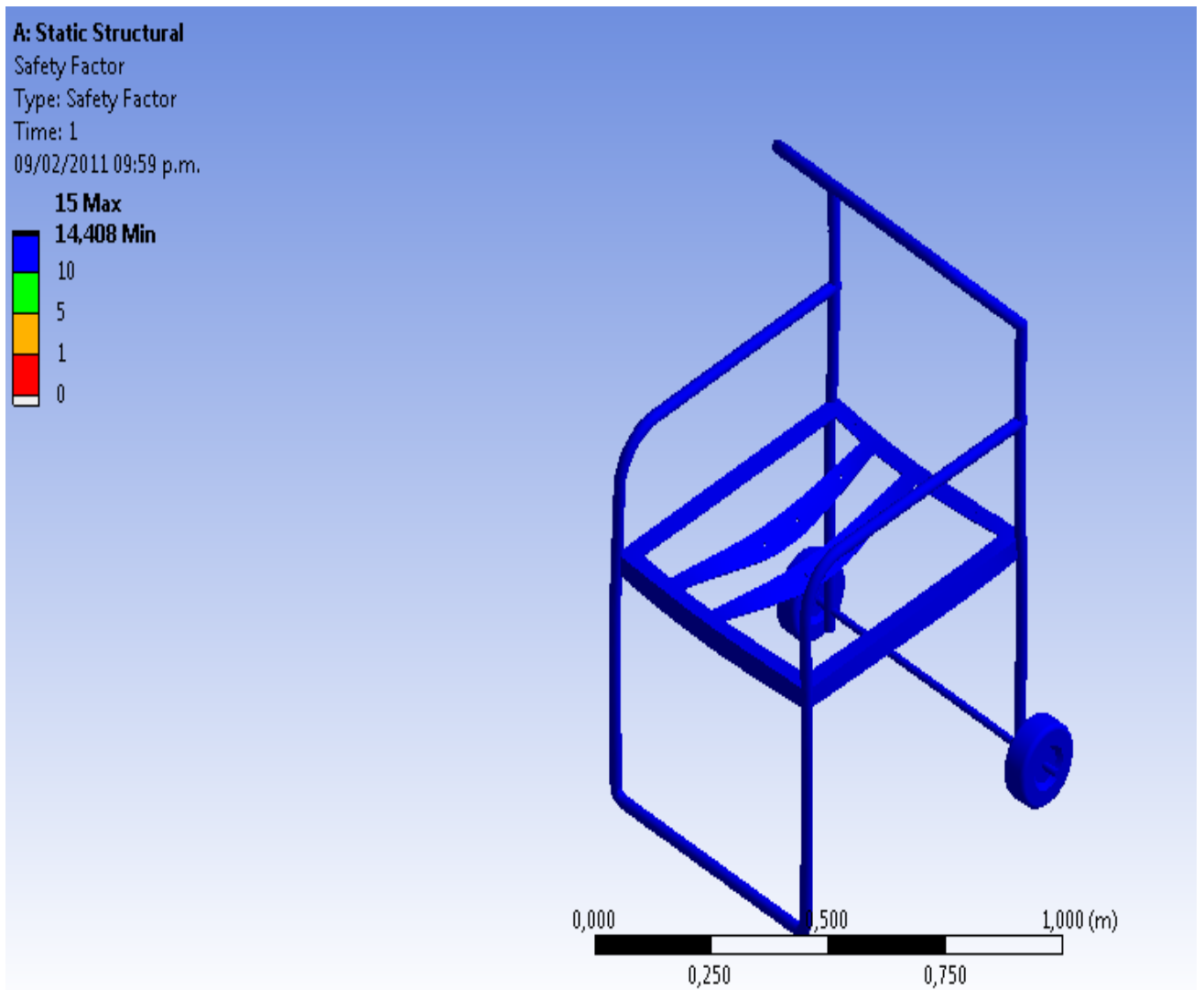
Figura 28. Esfuerzo equivalente



Fuente: Los autores

El esfuerzo máximo equivalente se presenta en la cercanía del sistema motor-bomba, lugar donde se encuentran los momentos flectores más altos, debido tanto al peso del motor como a la ubicación geométrica del soporte.

**Figura 29. Factor de seguridad de la estructura**



Fuente: Los autores

El factor de seguridad mínimo es de 14.408, lo que garantiza tanto las cargas producidas por el peso del equipo de filtración de aceite hidráulico, como por el movimiento o flujo de la máquina.

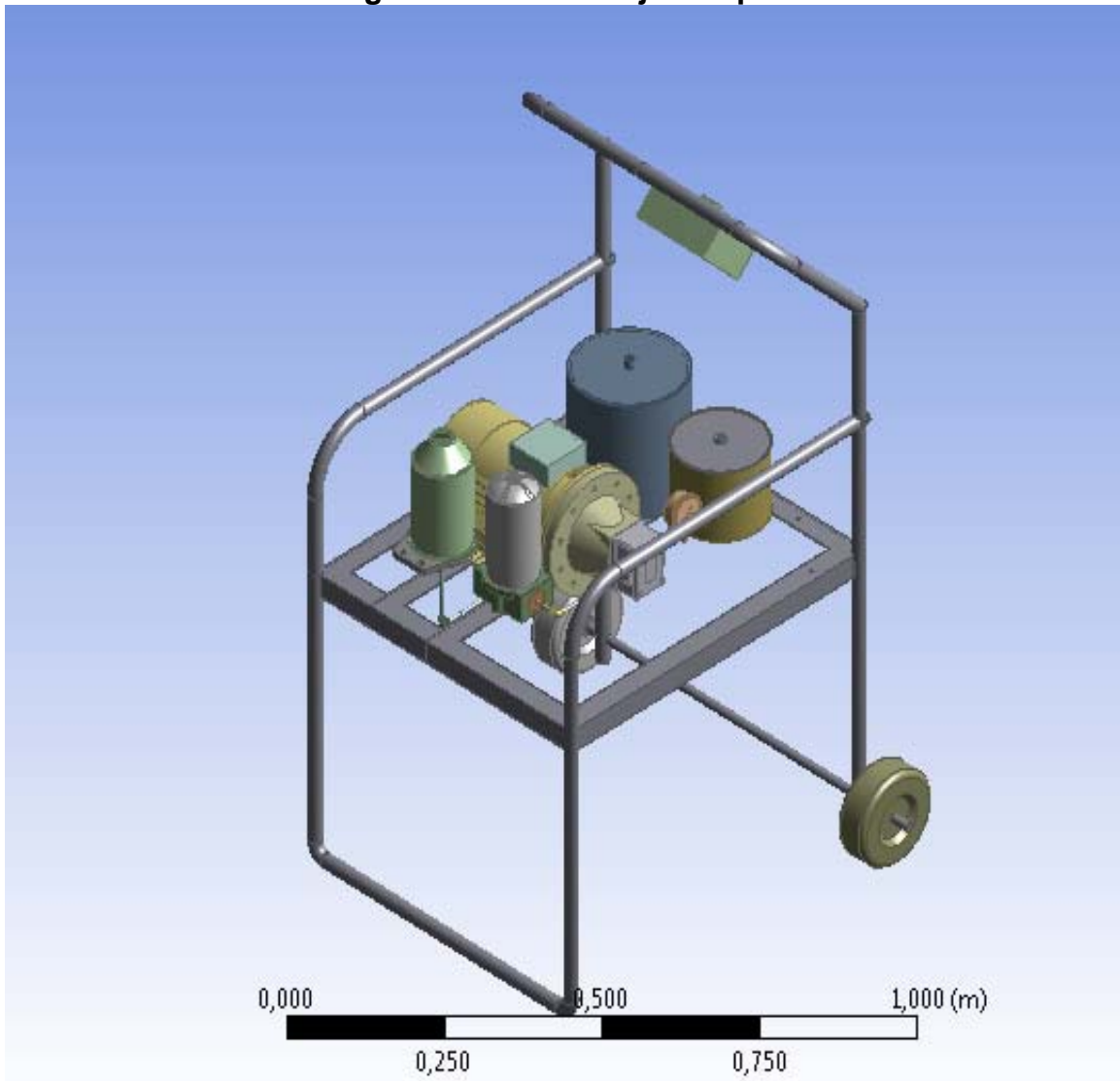
Para mayor información de la simulación de cargas en ANSYS por favor dirjase al Anexo E, Reporte estructural ANSYS.

## 5.7 MODOS DE VIBRACIÓN

### 5.7.1 Geometría

En el análisis modal se monta la estructura con todas las partes del prototipo, ya que la forma y la disposición de los componentes además de su masa específica.

**Figura 30. Ensamblaje completo**



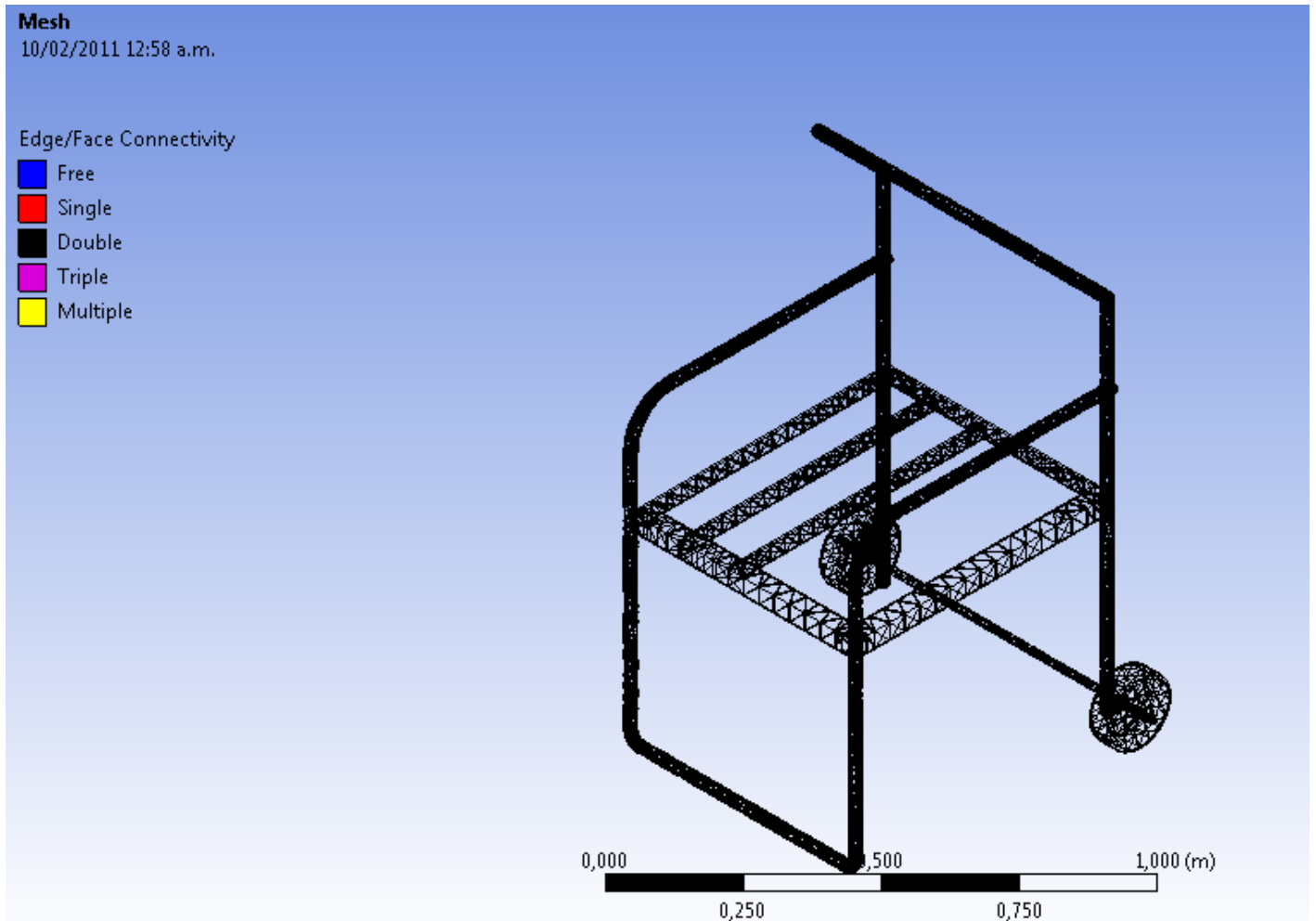
Fuente: Los autores



### 5.7.2 Enmallado:

Se utilizó un enmallado automático de relevancia 0, que da una muy buena aproximación de las frecuencias naturales del prototipo de recuperación de aceite hidráulico.

Figura 32. Enmallado estructura

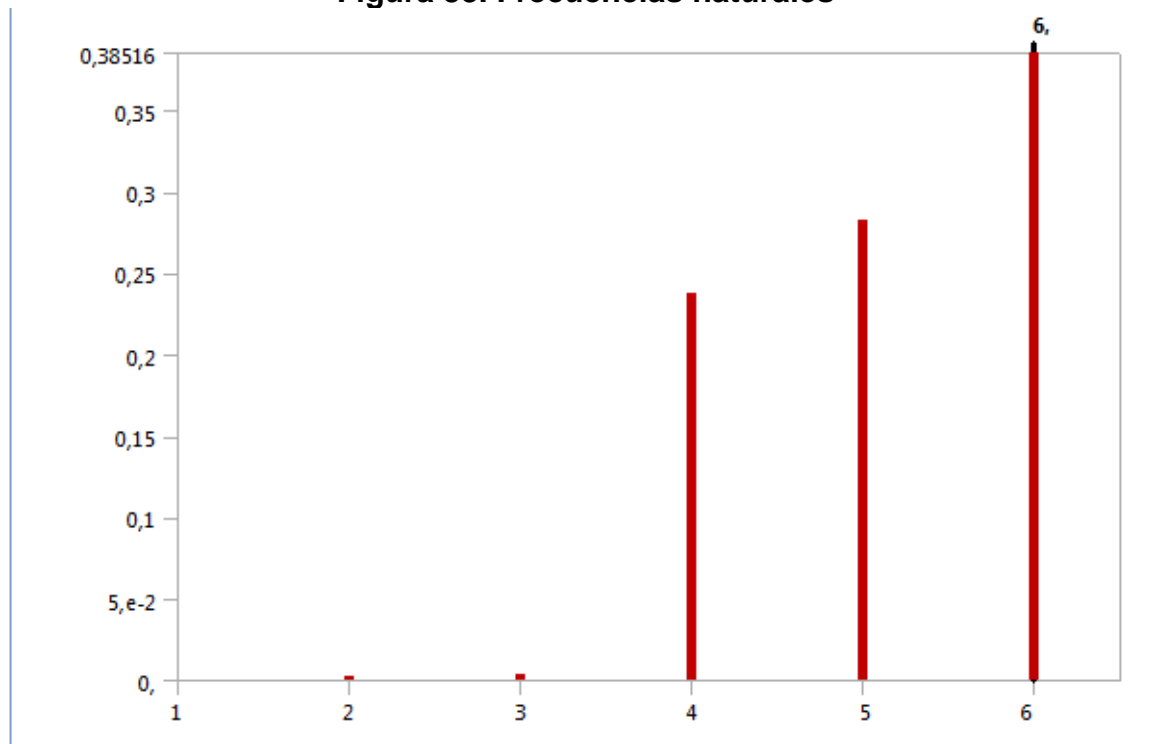


Fuente: Los autores

### 5.7.3 Solución y análisis de los resultados

Ya para finalizar el análisis modal del ensamblaje se muestra la figura 25, que presenta las frecuencias en cada uno de los primeros seis armónicos.

**Figura 33. Frecuencias naturales**



Fuente: Los autores

Se puede ver que las frecuencias naturales oscilan entre los 0 y los 0.38 Hz, dependiendo del armónico.

Para mayor información sobre el análisis, diríjase al Anexo E, Modos de vibración.

## 6. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

### 6.1 CONTRUCCÓN

Con el diseño ya establecido y corroborado se procede al proceso de construcción, donde se fabrican los elementos del prototipo y después se ensamblan. El objetivo es que dichos elementos sean elaborados con materiales y procesos disponibles en los talleres de la ciudad, de tal modo que sea cómodo y totalmente supervisado por los autores del proyecto, además de garantizar el óptimo funcionamiento después del ensamblaje.

Para realizar operaciones básicas de torneado, taladrado y soldadura para la construcción del prototipo, se utilizaron diversas máquinas con las que cuentan el taller que nos ofreció el señor Carlos Oviedo. A continuación se muestran algunas de estas máquinas:

**Figura 34. Torno Imoturn 5 Hp**



Fuente: Los autores

**Figura 35. Pulidora Black & Decker**



Fuente: Los autores

**Figura 36. Esmeril Black & Decker**



Fuente: Los autores

Para los procesos de soldadura, acudimos al taller El punto del inoxidable, ya que el material utilizado para dichos procesos es acero inoxidable AISI 304, como el tanque de almacenamiento y el filtro centrífugo lo que compete a la soldadura de argón.

**Figura 37. Equipo de soldadura de argón**



Fuente: Los autores

### **6.1.1 Estructura principal**

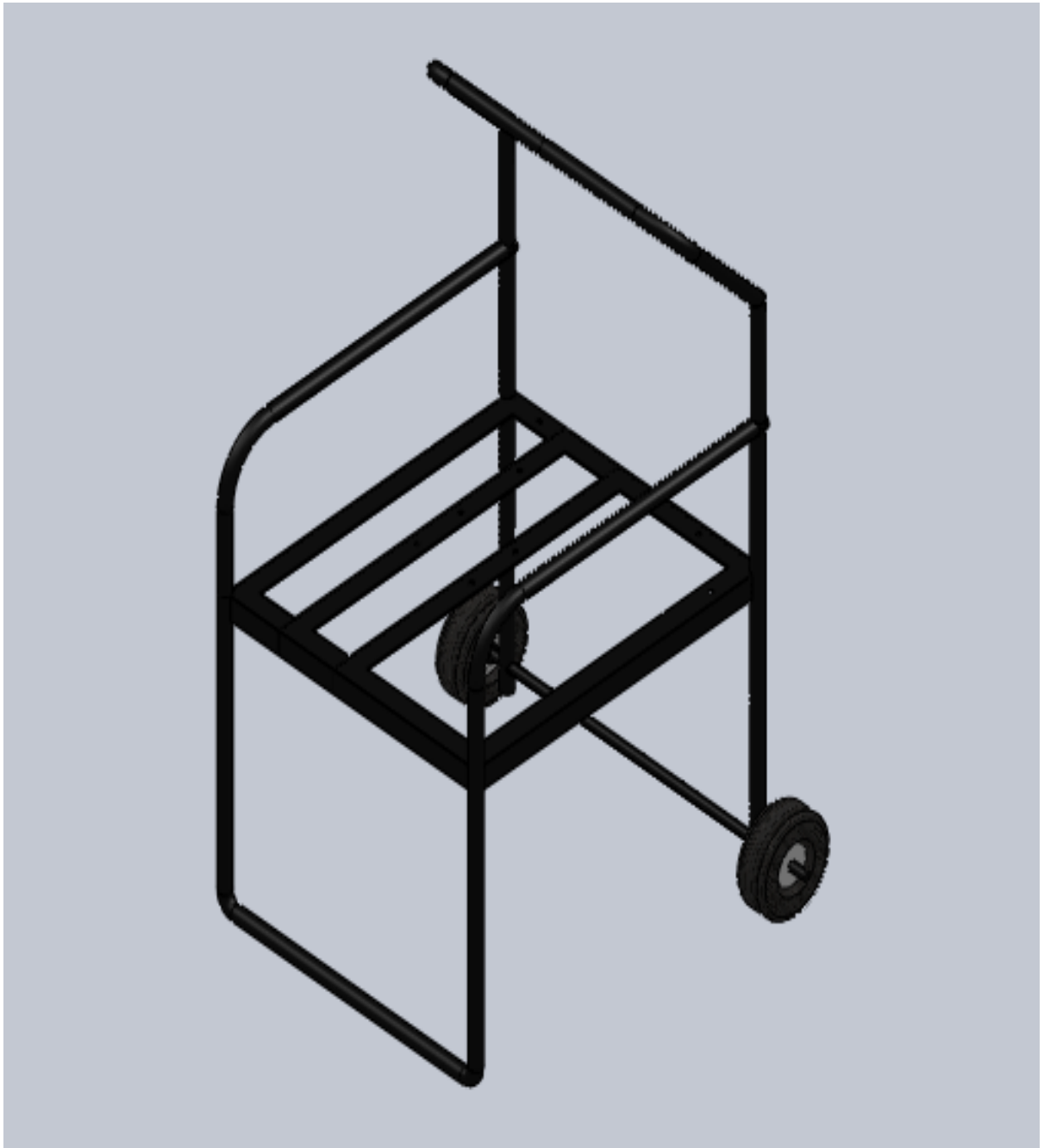
La estructura principal del prototipo está diseñada para resistir el peso del equipo, ser portátil y cómoda al ser transportada. Se optó por un diseño tubular completo de modo que sea también igual de sencillo realizar el mantenimiento del equipo.

La estructura consta de una tubería de 1 pulgada de diámetro y 3 mm de espesor, doblada en ángulos según el diseño preliminar en SOLIDWORKS 2007©, además de una estructura central de lámina calibre 18 soldada al tubo, en la que se pueden acoplar los elementos principales del equipo de filtración.

Posee dos ruedas de neumáticas 8x12 de rodamientos, con entrada para eje de 5/8", acoplada con rosca de 5/8".

En la construcción, se apegó completamente al diseño en computador, para garantizar el máximo ahorro de espacio.

**Figura 38. Diseño CAD de la estructura**



Fuente: Los autores

**Figura 39. Estructura tubular construida**



Fuente: Los autores

### **6.1.2 Sistema de transporte y estabilidad**

El prototipo fue diseñado especialmente para ser portátil, pero también debe ser tomado en cuenta que al trabajar debe estar debidamente nivelado y estabilizado, debido a las vibraciones producidas por el motor y el filtro centrífugo. Para cumplir con estos requerimientos se instalaron dos ruedas neumáticas 8x12, de un buen tamaño para su facilidad en manejo y que agrega un confort adicional al operario del equipo.

Figura 40. Ruedas neumáticas 8x12;Error! Marcador no definido.



Fuente: Los autores

Ya en el momento de operación del equipo, se diseñó la estructura tal que por su propio peso se estabilice, se logró alargando la tubería hacia abajo en forma de soporte, con la misma altura de las ruedas para que el equipo de filtración esté paralelo al piso, lo que da la estabilidad deseada.

**Figura 41. Soporte de la estructura**



Fuente: Los autores

La estructura principal viene totalmente soldada, a excepción de las ruedas, lo que da el beneficio de amortiguar las vibraciones mecánicas. Los acoples de los elementos del sistema de filtración van atornillados a la estructura, utilizando tornillos de acero inoxidable de  $\frac{1}{4}$ ".

**Figura 42. Orificios de acoplamiento a la estructura**



Fuente: Los autores

### **6.1.3 Sistema de anclaje**

Como se había mencionado en el capítulo de diseño, el sistema de filtración posee elementos que necesariamente deben ir anclados a la estructura, ya sea por su peso o por los movimientos inherentes a su funcionamiento.

Las partes más importantes a acoplar a la estructura son el tanque, el sistema motor-bomba y el filtro centrífugo. Estos elementos fueron modificados de tal manera que quedara fácil acoplarlos a la estructura y que en sentido estético dieran una buena apariencia.

**Figura 43. Platinas de sujeción del tanque**



Fuente: Los autores

**Figura 44. Platinas de sujeción del filtro centrífugo**



Fuente: Los autores

**Figura 45. Sistema de acople del sistema motor-bomba**



Fuente: Los autores

#### **6.1.4 Soporte del sistema motor-bomba, filtro centrífugo y tanque de almacenamiento**

El soporte de los elementos fue diseñado de tal forma que se pudieran acoplar todos los elementos a una sola estructura, lo cual se logró con platinas de calibre 18 atravesadas paralelas a los brazos de la estructura, con una altura de 50 cm respecto al piso, con el objetivo de dar caída a la manguera de salida del filtro centrífugo hacia un tanque de almacenamiento del aceite hidráulico limpio, la cual no posee presión del fluido alguna.

**Figura 46. Soporte de los elementos del sistema de filtración**



Fuente: Los autores

### **6.1.5 Tanque de almacenamiento**

El tanque de almacenamiento fue construido de forma cilíndrica, para dar estética al prototipo, con una capacidad de 1,5 galones, con un sistema de purga para dar un nivel más de limpieza al prototipo. El material del tanque es lámina de calibre 16 de acero inoxidable AISI 304, lo que provee de estabilidad química al prototipo, algo esencial para un equipo de limpieza. Las dimensiones del tanque se pueden observar mejor en el Anexo F, donde se encuentran los planos completos del prototipo.

**Figura 47. Tanque de almacenamiento**



Fuente: Los autores

#### **6.1.6 Tanque de almacenamiento de prellenado**

Se hizo con acero 1045, calibre 16. Sus dimensiones son 20x17x60 (cm). Tiene acoplado en la tapa un embudo que al su interior posee un filtro que elimina partículas muy grandes. Este tanque garantiza al sistema un buen funcionamiento y le da a la bomba una larga vida útil.

**Figura 48. Tanque de almacenamiento**



Fuente: Los autores

### **6.1.7 Filtro centrífugo**

Dadas las condiciones de operación y limpieza del equipo, se optó por utilizar un tubo de acero inoxidable AISI 304 de calibre 14, con un diámetro exterior de 163 mm. El rotor y el eje del rotor también fueron construidos con acero inoxidable AISI 304.

**Figura 49. Carcasa del filtro centrífugo**



Fuente: Los autores

### **6.1.8 Rotor**

El rotor consiste de una serie 8 de platinas de calibre 18 de acero inoxidable soldados a un tubo de 51 mm de diámetro, además de dos bujes de sujeción para acoplar el par de rodamientos cónicos que le permiten girar alrededor de su eje. A cada una de las platinas que sirven como álabes se les dio una inclinación de  $6^{\circ}$  para poder absorber la energía del chorro a presión y a la vez tirar el aceite hidráulico hacia las paredes del filtro, donde se encuentra el papel filtrante. Más detalles en el Anexo F.

**Figura 50. Rotor del filtro centrífugo**



Fuente: Los autores

### **6.1.9 Panel de control y circuito eléctrico**

El panel de control se encuentra acoplado a la estructura principal, lo que permite un manejo seguro del sistema motor-bomba. Posee dos botones, encendido y apagado cada uno con su color característico (Rojo apagado, negro encendido). Cuenta también con un disyuntor, el cual su función es proteger al motor en caso de que éste sufra un recalentamiento, sobrecargas, desfases en el voltaje o en caso de que exista un corto fuera del circuito. Es un sistema práctico, seguro y fácil de usar por cualquier persona.

**Figura 51. Disyuntor Telemecanique**



Fuente: Los autores

Figura 52. Panel de control del prototipo



Fuente: Los autores

La fuente de energía del prototipo viene de las redes del laboratorio, necesariamente de 220 V, voltaje del motor, la cual llega al prototipo por medio de un enchufe acoplado al panel de control, con una extensión de cable de 2 m.

**Figura 53. Enchufe del prototipo**



Fuente: Los autores

**Figura 54. Caja de protección de disyuntor**



Fuente: Los autores

### 6.1.10 Tuberías y accesorios

No es menos importante mencionar la tubería y los accesorios que posee el prototipo de recuperación. La tubería ha sido seleccionada respecto a las boquillas de entrada y salida de la bomba de engranajes. El diámetro de la tubería es de  $\frac{1}{4}$ ", de acero inoxidable AISI 304, para mantener la estabilidad química del aceite, además para mantener la uniformidad del equipo. Aunque son más costosos, los tubos de acero inoxidable son la opción más viable para la construcción del prototipo.

**Figura 55. Tubería de acero inoxidable AISI 304  $\frac{1}{4}$ "**



Fuente: Los autores

Accesorios como codos, copas, uniones, tapones y bushings son necesarios para el correcto acople de los elementos del prototipo, lo cual es necesario para prevenir fugas y posibles entradas de aire a la bomba.

**Figura 56. Accesorios del prototipo**



Fuente: Los autores

El inyector fue construido a partir de un tapón roscado de  $\frac{1}{4}$ " de bronce, al cual se le perforó un hueco de 1 mm de diámetro, se aprovecha el mecanizado del interior del tapón, el cual tiene una disminución de diámetro gradual hasta la cabeza del hueco.

**Figura 57. Inyector**



Fuente: Los autores

Las mangueras de succión y de salida fueron seleccionadas por recomendación del profesor Carlos Borrás, el cual dio su concepto de comprar mangueras acordes a las usadas en el laboratorio de Sistemas Oleoneumáticos.

La manguera de succión es R2 de  $\frac{3}{4}$ " de diámetro y 1.2 m de longitud y la de salida de 1" de diámetro y 1 m de longitud.

**Figura 58. Mangueras de succión y salida**



Fuente: Los autores

## 6.2 MONTAJE DE LOS COMPONENTES

Una de las ventajas que posee el diseño de este prototipo es la facilidad de montaje. La disposición de los elementos da un fácil manejo para el desarme y mantenimiento del equipo.

**Figura 59. Prototipo desarmado**



Fuente: Los autores

El proceso de armado del prototipo es sencillo, requiere herramientas convencionales como llaves mixtas y de copas de 1/4", 9/16", 3/8", llave Bristol de 5 mm, llave expansiva y llave de tubería. El tiempo de armado oscila de 30 minutos a 1 hora, cuidando especialmente el armado de tuberías para evitar fugas y entrada de aire al sistema de bombeo. Se recomienda cambiar el teflón cada vez que se desarme la tubería. Para mayor información favor acceder al Anexo A, Manual de usuario.

A continuación se presentan algunas figuras del prototipo completamente armado.

**Figura 60. Conjunto ensamblado**



Fuente: los autores

## 6.3 FILTROS Y SISTEMA MOTOR-BOMBA

### 6.3.1 Filtros

Una de las partes más importantes del prototipo, los filtros de 10 y 20 micrones llevan como responsabilidad impedir el paso de partículas de sus respectivos tamaños, con cartuchos de papel intercambiables, dispuestos en serie en el circuito hidráulico, primero el más grueso (20 micrones).

La selección del tamaño de filtración se realizó acorde a los requerimientos de la norma ISO 4406:1999 que establece los estándares de limpieza en aceites hidráulicos.

**Figura 61. Filtro de 20 micrones**



Fuente: Los autores

**Figura 62. Filtro Vickers de 10 micrones**



Fuente: Los autores

### **6.3.2 SISTEMA MOTOR-BOMBA**

Para la selección de la bomba se tuvo en cuenta el caudal y la potencia del motor. Debido a la dificultad de conseguir en el mercado una bomba con una capacidad de 1 – 2 gpm, se optó por disminuir el caudal a 0,5 gpm, bomba que si se encontraba en el comercio cuya adquisición era fácil. Igualmente este no repercutía en la eficiencia del sistema. Ver Anexo D, catalogo de la bomba.

El sistema motor-bomba comprende un motor de 2.36 HP de potencia acoplado a una bomba de engranajes con una capacidad de 0.5 gpm.

El motor tiene las siguientes especificaciones:

**Tabla 20. Especificaciones del motor**

Marca: FELM	Voltaje: 220 V	Corriente: 7,8 A
RPM: 1800	Cos $\beta$ : 0,79	Frecuencia: 60 Hz
Serial: CTRCF90L	1,79 Kw	IP55

Fuente: Placa de motor

**Figura 63. Motor FELM**



Fuente: Los autores

**Figura 64. Acople motor-bomba**



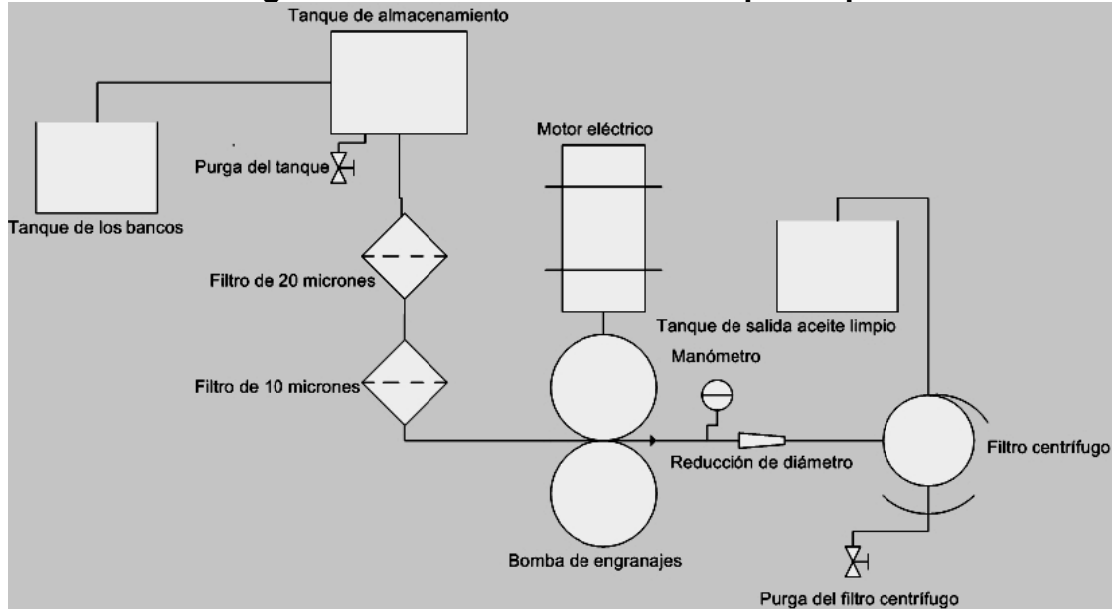
Fuente: Los autores

**Figura 65. Bomba de engranajes**



Fuente: Los autores

**Figura 66. Circuito Hidráulico del prototipo**



Fuente: Los autores

## 6.4 PRESUPUESTO

El prototipo de recuperación de aceite hidráulico usado de base mineral ha sido construido con materiales y elementos obtenidos en el mercado local. Partiendo de cero, se han construido o comprado todos los componentes. La evaluación de costos del prototipo también cuenta la mano de obra realizada por los autores, la mano de obra realizada en los talleres locales y la asesoría brindada por el Ing. Carlos Borrás.

En la tabla 21 se muestran los presupuestos parciales por elemento del sistema para finalmente agrupar en una tabla general que no dará el gran total.

**Tabla 21. Presupuesto filtro centrífugo**

FILTRO CENTRIFUGO			
CANT.	DESCRIPCIÓN	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
1	Tubería acero inoxidable AISI 304 164 mm x 180 mm	44000	44000
1	Unión 1/4"	5000	5000
2	Discos acero inoxidable AISI 304 170 mm x 6 mm	20000	40000
1	Buje 60 mm x 20 mm	8000	8000
1	Buje 50 mm X 50 mm	10000	10000
1	Platina acero inoxidable 1/2" x 1 m	15000	15000
1	Tubo acero inoxidable AISI 304 60 mm x 90 mm	17000	17000
2	Rodamientos Timken 40 mm x 17 mm	16000	36000
	<b>TOTAL</b>		<b>175000</b>

Fuente: Los autores

**Tabla 22. Presupuesto tanque de almacenamiento**

<b>TANQUE DE ALMACENAMIENTO</b>			
<b>CANT.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR UNIT.</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
1	Lámina acero inoxidable calibre 16 18 cm x 52 cm	50000	50000
1	Unión 1/2"	5000	5000
2	Discos acero inoxidable AISI 304 160 mm x 6 mm	20000	40000
1	Unión 3/4" acero inoxidable AISI 304	8000	8000
1	Niple 1/4" x 5 cm	5000	5000
1	Unión 1/4"	5000	5000
1	Tapón 1/2"	7000	7000
2	Válvulas para purga	25000	50000
	<b>TOTAL</b>		170000

Fuente: Los autores

**Tabla 23. Presupuesto Estructura**

<b>ESTRUCTURA</b>			
<b>CANT.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR UNIT.</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
1	Tubería de hierro dúctil 1" x 6 m	20000	20000
1	Perfil cuadrado acero 1045 4 cm x 3 mm x 3 m	15000	15000
1	Lámina acero 1045 50 cm x 20 cm calibre 16	20000	20000
2	Rueda neumática 8 x 12	25000	50000
1	Eje acero 1020 5/8" x 1 m	10000	10000
1	Caja acero inoxidable AISI 304	15000	15000
	<b>TOTAL</b>		130000

Fuente: Los autores

**Tabla 24. Presupuesto Tuberías y accesorios**

<b>TUBERÍAS Y ACCESORIOS</b>			
<b>CANT.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR UNIT.</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
1	Tubería de acero AISI 304 niple 1/4" varios tamaños	100000	100000
2	Bushing acero inoxidable AISI 304 1" a 1/4"	8000	16000
1	Manómetro de glicerina 0 3000 PSI	29000	29000
1	Copa acero inoxidable 1/2" a 1/4"	5000	5000
1	Teflón x 20 m	3000	3000
16	Tornillos acero inoxidable AISI 304 1/4"	250	4000
	<b>TOTAL</b>		157000

Fuente: Los autores

**Tabla 25. Presupuesto sistema de filtración**

<b>SISTEMA DE FILTRACIÓN</b>			
<b>CANT.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR UNIT.</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
1	Filtro 20 micrones más carcasa y soporte	100000	100000
2	Filtro Vickers 10 micrones más carcasa y soporte	120000	120000
1	Motor FELM y Bomba PEDRO ROQUET	700000	700000
1	Papel filtrante 5 micrones	30000	30000
	<b>TOTAL</b>		<b>950000</b>

Fuente: Los autores

**Tabla 26. Mano de obra prototipo portátil**

<b>MANO DE OBRA PROTOTIPO PORTÁTIL</b>			
<b>CANT.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR UNIT.</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
1	Tanque de almacenamiento	100000	100000
2	Filtro centrífugo	250000	250000
1	Estructura	160000	160000
1	Producción intelectual autores del proyecto	2500000	2500000
1	Asesoría Ing. Carlos Borrás	2500000	2500000
	<b>TOTAL</b>		<b>5510000</b>

Fuente: Los autores

**Tabla 27. Gastos varios**

<b>GASTOS VARIOS</b>			
<b>CANT.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR UNIT.</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
1	Transporte	200000	200000
1	Papelería	200000	200000
1	Imprevistos	300000	300000
1	Computadores	200000	200000
1	Diseño logotipo	150000	150000
	<b>TOTAL</b>		<b>1050000</b>

Fuente: Los autores

**Tabla 28. Presupuesto general del proyecto**

<b>PRESUPUESTO GENERAL</b>			
<b>CANT.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR UNIT.</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
1	Tanque de almacenamiento	170000	170000
2	Filtro centrífugo	175000	175000
1	Estructura	130000	130000
1	Accesorios	157000	157000
1	Sistema de filtrado	950000	950000
1	Mano de Obra	5510000	5510000
1	Gastos varios	1050000	1050000
	<b>TOTAL</b>		<b>8`142`000.00</b>

Fuente: Los autores

## 7. PRUEBAS Y RESULTADOS

Debido a la naturaleza del proyecto, la prueba principal radica en el conteo de partículas presentes antes y después del paso por el sistema de filtrado. No es fácil contar este tipo de partículas, además de que existen lineamientos y normativas rigurosas que no nos permitieron hacerlos a cuenta propia. Existe entonces la necesidad de tomar muestras del aceite (usado y regenerado) y enviarlas a un laboratorio especializado.

Servicios ecológicos integrales latinoamericanos SEILA Ltda, laboratorio radicado en la ciudad de Bogotá presta el servicio de conteo de partículas basados en la norma ISO 4406:1999, norma indicada en el proyecto de grado como regente de las pruebas y análisis.

Las muestras fueron tomadas con aceite hidráulico usado ISO 46 TP, marca Lubrigras, utilizado en el laboratorio de sistemas Oleoneumáticos de la Universidad industrial de Santander.

**Figura 67. Aceite hidráulico usado ISO 46**



Fuente: Los autores

Para sacar las pruebas, se acopló sólo el sistema de filtrado, ya que en momento no se encontraba construida la estructura, igual era necesaria debido al tiempo necesario para que el laboratorio enviara los resultados de conteo de partículas.

**Figura 68. Sistema de recuperación sin estructura**



Fuente: Los autores

A continuación, se sacaron las dos muestras necesarias para el análisis. En la figura 59 se muestran las dos muestras, donde la tapa roja es el aceite sucio y la tapa azul es el fluido ya filtrado.

**Figura 69. Muestras enviadas al laboratorio**



Fuente: Los autores

## **7.1 RESULTADOS**

Los resultados de las pruebas fueron dadas y certificadas por el laboratorio, donde se realizaron acorde a la norma ISO 4406:1999. Para el análisis de las muestras se utilizó un contador de partículas óptico marca Parker, con capacidad de conteo de partículas de tamaño menores a 2 micrones.

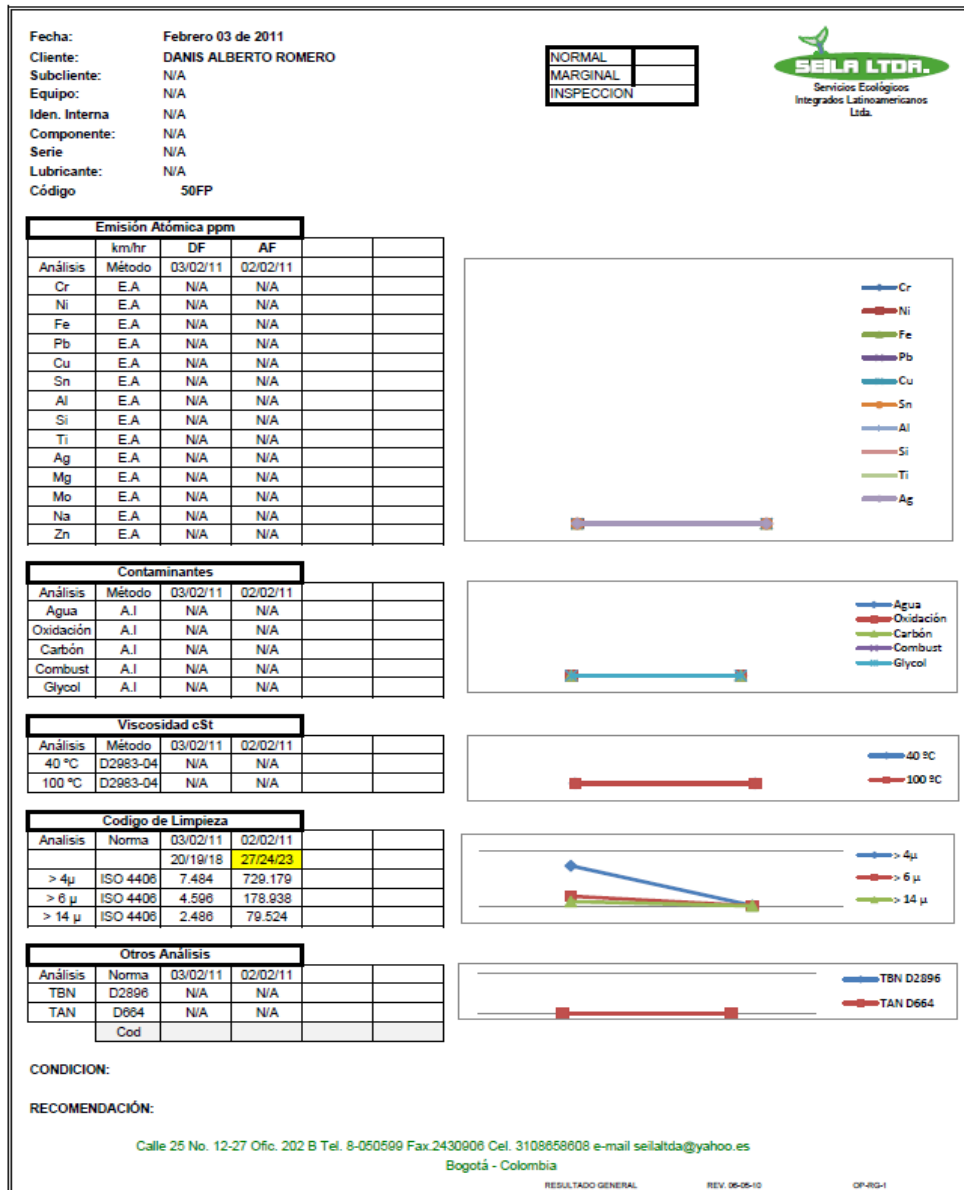
**Figura 70. Contador óptico Parker**



**Fuente: SEILA Ltda.**

## 7.2 CERTIFICADO DE CONTEO DE PARTICULAS ISO 4406

Figura 71. Resultados de conteo de partículas



Fuente: Seila Ltda

## 7.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La comparación de los códigos de limpieza se hace respecto a la cantidad de partículas presentes en el fluido hidráulico (ver tabla 7).

En nuestro caso partimos de un aceite sucio de código 27/24/23, con un conteo total de.

>4μ: 729179 ppm  
>6 μ: 178936 ppm  
>14 μ: 79524 ppm

El código del aceite limpio llegó a 20/19/18 lo que nos da un conteo total de:

>4μ: 7484 ppm  
>6 μ: 4596 ppm  
>14 μ: 2486 ppm

#### 7.4 PORCENTAJE DE REDUCCION DEL FILTRADO

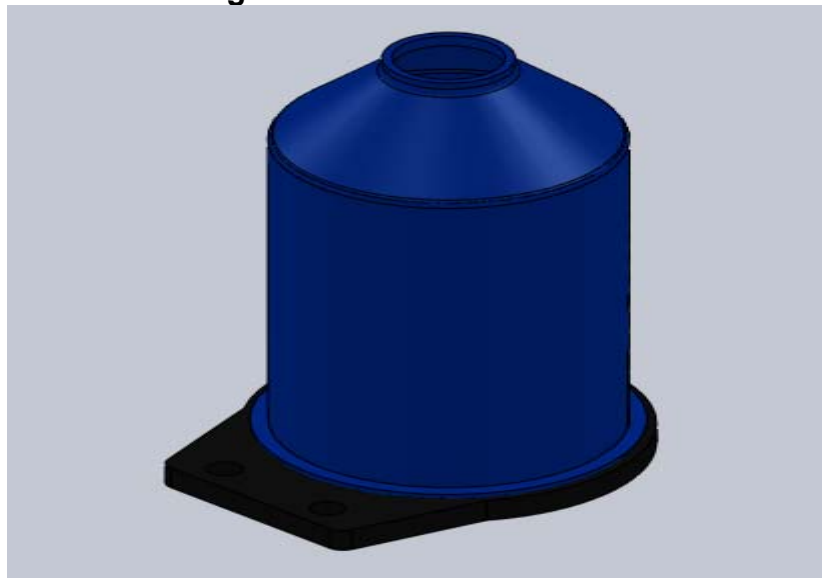
Con los datos obtenidos procedemos a calcular la eficiencia parcial de cada filtro, el cual fue puesto para disminuir partículas de determinado micraje.

- **Filtro de 20 micrones**

Aquí se toman los valores de contaje de partículas mayores de 14 micrones, antes y después de la prueba.

$$\% \text{ Reduccion filtro 20 micrones} = \frac{\text{contaje antes}}{\text{contaje después}} * 100\% \quad \text{Ecuación 22}$$
$$\% \text{ Reduccion} = \frac{79524}{2486} * 100\% = 3198\%$$

**Figura 72. Filtro 20 micrones**



Fuente: Los autores

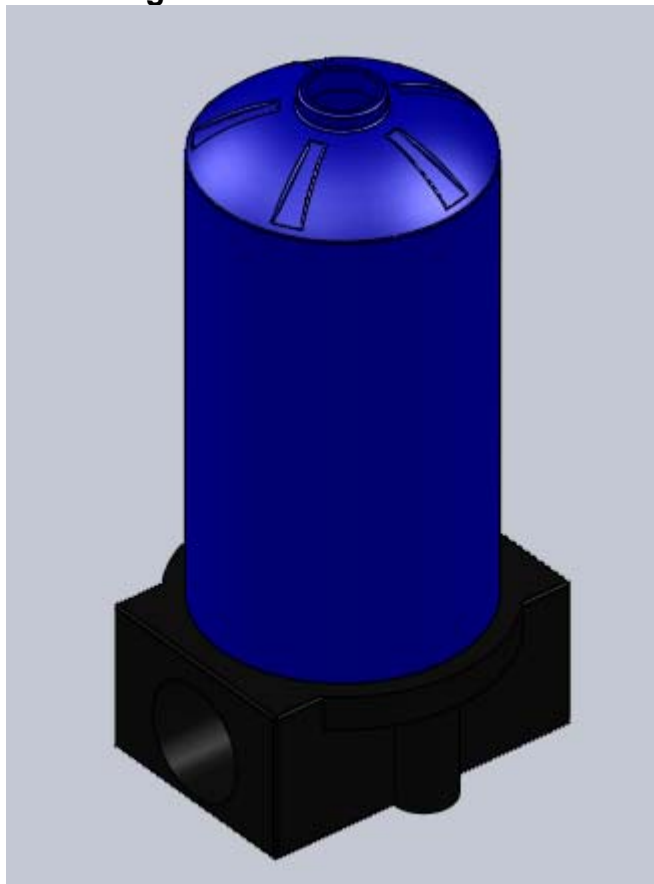
- **Filtro de 10 micrones**

Se toman los valores de contaje de partículas mayores 6 de micrones, antes y después de la prueba.

$$\% \text{ Reduccion filtro 10 micrones} = \frac{\text{contaje antes}}{\text{contaje después}} * 100\%$$

$$\% \text{ Reduccion} = \frac{178936}{4596} * 100\% = 3893\%$$

**Figura 73. Filtro 10 micrones**



Fuente: Los autores

- **Filtro centrífugo**

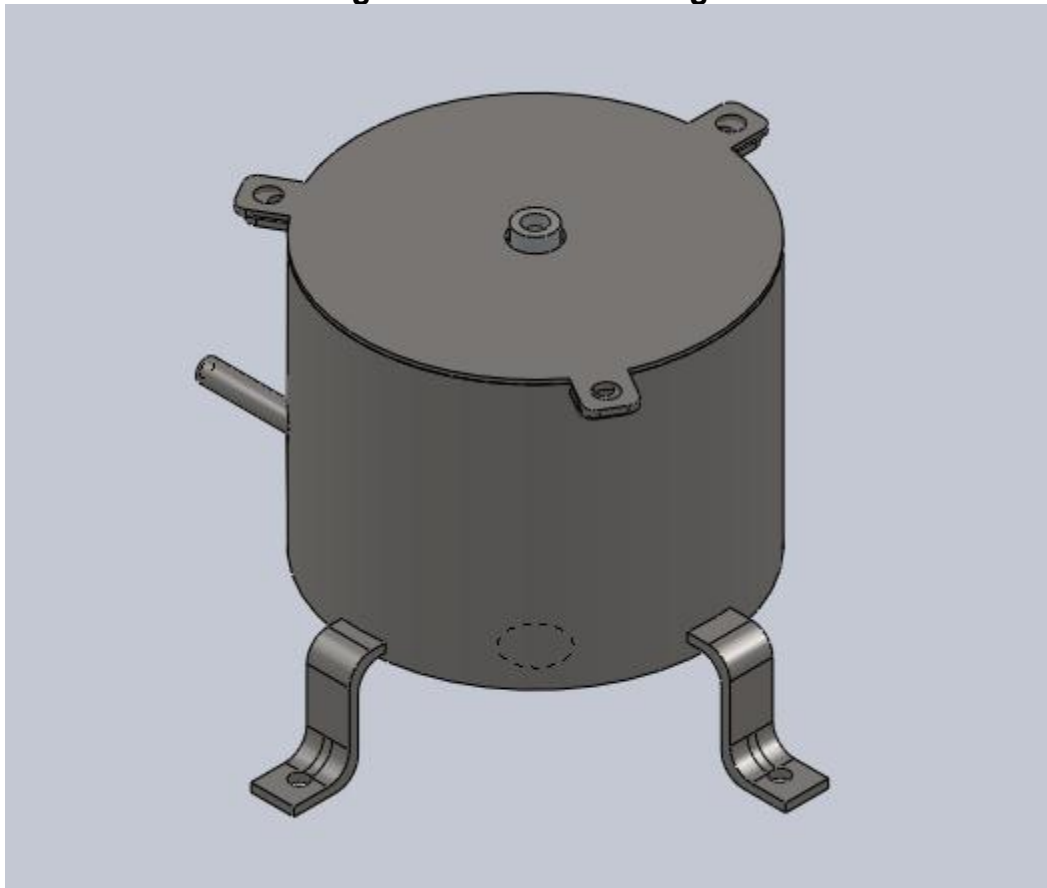
Se toman los valores de contaje de partículas mayores 4 de micrones, antes y después de la prueba.

$$\% \text{ Reduccion filtro centrífugo} = \frac{\text{contaje antes}}{\text{contaje después}} * 100\%$$

$$\% \text{ Reduccion} = \frac{729179}{7484} * 100\% = 9473\%$$

Las eficiencias de los filtros son altísimas, lo que indica la rigurosidad del código de limpieza.

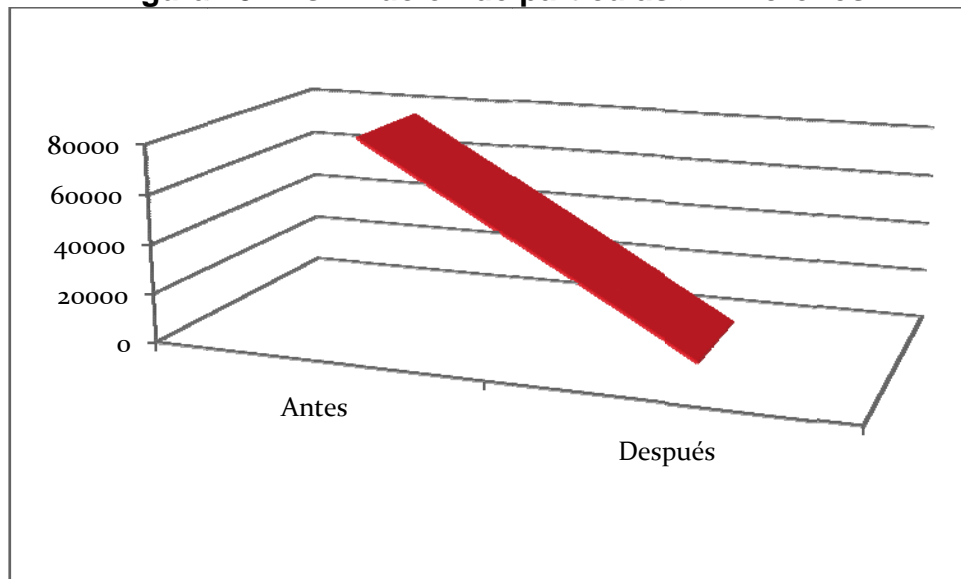
**Figura 74. Filtro centrífugo**



Fuente: Los autores

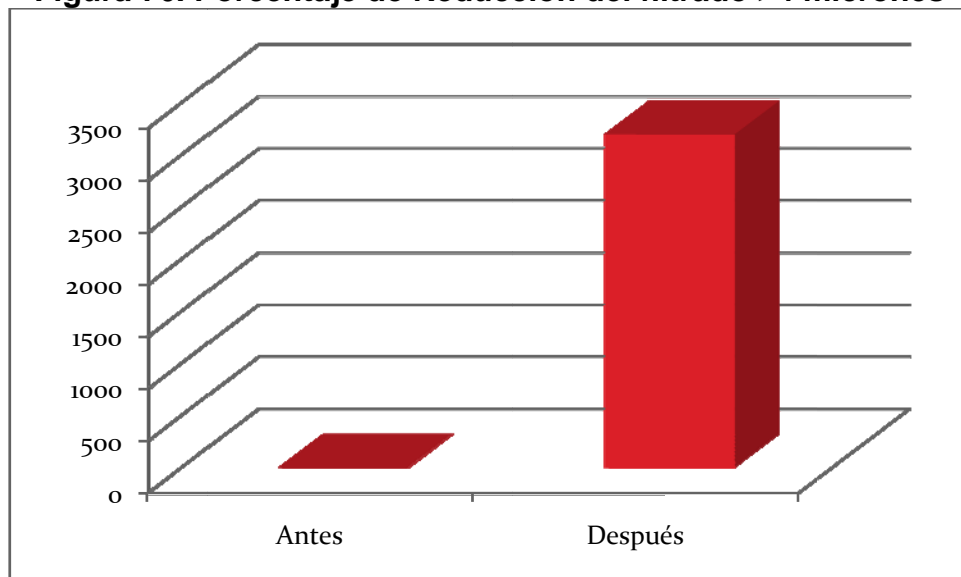
## 7.5 REPRESENTACION GRAFICA DE LOS RESULTADOS

**Figura 75. Disminución de partículas >4 micrones**



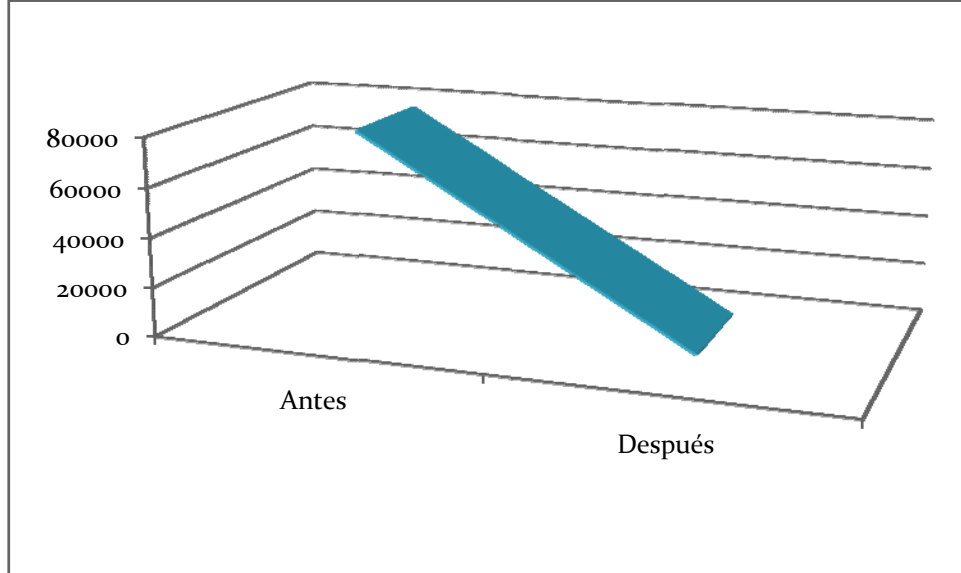
Fuente: Los autores

**Figura 76. Porcentaje de Reducción del filtrado >4 micrones**



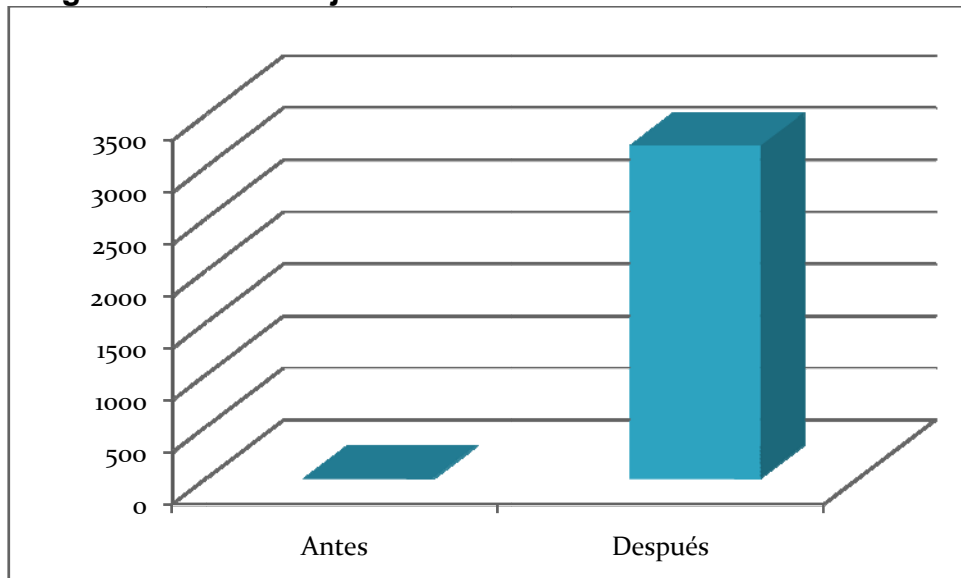
Fuente: Los autores

**Figura 77. Disminución del número de partículas >6 micrones**



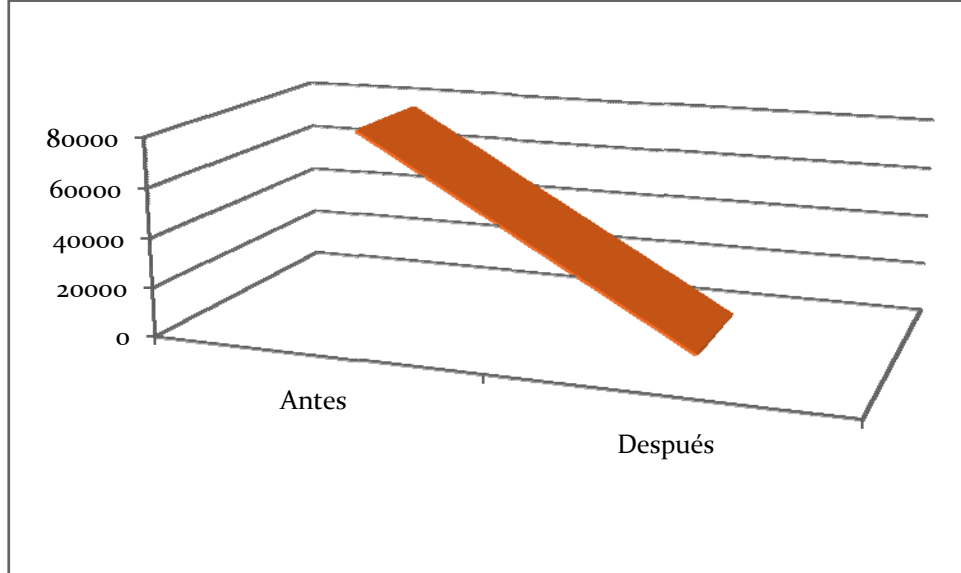
Fuente: Los autores

**Figura 78. Porcentaje de Reducción del filtrado >6 micrones**



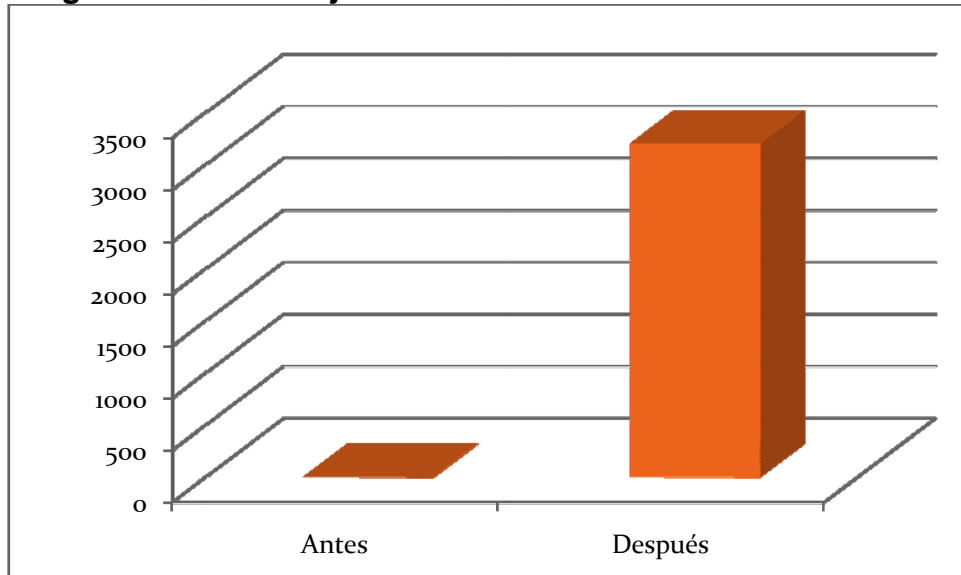
Fuente: Los autores

**Figura 79. Disminución del número de partículas >14 micrones**



Fuente: Los autores

**Figura 80. Porcentaje de Reducción del filtrado >6 micrones**



Fuente: Los autores

## CONCLUSIONES

- Se demuestra la importancia de la recuperación de aceite hidráulico usado, visto desde el punto de vista económico y ambiental. Un aceite sucio es sinónimo de pérdida, limitación y desmejoramiento de las condiciones de operación de cualquier máquina.
- El prototipo de filtración cumple a cabalidad con las expectativas de recuperación de aceite, se acercó a los estándares de limpieza de un aceite nuevo y eliminó una abrumadora cantidad de partículas en cada una de sus etapas de filtración, haciéndolo un equipo altamente eficiente.
- Se da una base para la realización de futuras optimizaciones, aplicando otros principios de filtración, aumentando el número de etapas, diseñando filtros centrífugos más eficientes y proponiendo opciones para eliminar sustancias como el agua, frecuentemente presentes en este tipo de aceite.
- El diseño está formulado para un mantenimiento sencillo, con la capacidad de cambiar filtros en el momento en que disminuya su eficiencia. Proveemos a la escuela de ingeniería mecánica de una herramienta necesaria, fácil de usar, con elementos de calidad y durabilidad garantizada.
- La versatilidad del prototipo nos da un punto a favor de otras opciones de recuperación, ya que se puede desplazar directamente a los bancos de pruebas, eliminado prácticamente la presencia de canecas de aceite usado en laboratorio de Sistemas Oleoneumáticos, mejorando el aspecto del laboratorio.
- La capacidad de la bomba juega a favor de la recuperación del aceite hidráulico, ya que al tener un caudal bajo, la carga sobre los elementos filtrantes disminuye, permitiendo una mayor acumulación de partículas sobre el papel.
- La experiencia lograda con el diseño y construcción del prototipo de recuperación de aceite hidráulico usado de base mineral nos da grandes herramientas para nuestro desempeño profesional.

## RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES

- Se recomienda operar el prototipo de recuperación siguiendo el manual de operación y mantenimiento (Anexo A) para no sobrepasar las condiciones de trabajo y hacer la limpieza y recuperación del aceite hidráulico satisfactoriamente.
- El objetivo principal del prototipo de recuperación de aceite hidráulico usado de base mineral es la eliminación de impurezas de determinado micraje, cumpliendo con la norma ISO 4406:1999, siendo un proceso de filtrado puramente mecánico, sin quitar al 100% elementos como el agua o impurezas inferiores a 1 micrón, que normalmente son despreciables en el funcionamiento de la máquina, a no ser que se presenten en cantidad excesiva.
- Si se optara una optimización del sistema de filtración, se recomienda una adaptación de más etapas, colocando arreglos de filtros tales que se eliminen un mayor número de partículas, igualmente no se recomienda utilizar principios térmicos para la eliminación del agua y otros líquidos, ya que las altas temperaturas degradan al aceite hidráulico, dejándolo prácticamente inservible para su recuperación
- Es importante enunciar que la eficiencia del equipo depende directamente del mantenimiento de este, y de su cuidado por parte de los usuarios.
- En el momento de realizar el cambio de los cartuchos de los filtros, tratar en lo posible conseguir estos con un papel filtrante de menor micraje, para lograr así una mayor eficiencia en el prototipo.

## BIBLIOGRAFIA

- **ALBARRACIN A. Pedro.** Tribología y lubricación Industrial y automotriz Tomo I 2ª Edición, Bucaramanga, 1993.
- **PÉREZ S. Luciano-PANEQUE R. Pedro.** Comportamiento del aceite hidráulico y la influencia de su contaminación en los sistemas hidráulicos de los tractores. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, año/vol. 16, número 001. Universidad Agraria de La Habana. La Habana, Cuba. 2007.
- **REYES MENDEZ, Gloria Amparo.** Aplicación del proceso PROP modificado para la recuperación de aceites lubricantes usados. Facultad Ciencias, Escuela de Química, Universidad Industrial de Santander, Colombia, 1987.
- **NORIEGA RANGEL, Jairo – DUARTE BARRERA, Gladys.** Estudio sobre regeneración de aceites lubricantes. Facultad de Ingenierías Físico-químicas, Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Colombia, 1982.
- **GUILLÉN FERNÁNDEZ, Luis Fernando.** Procedimiento para el análisis de muestras de aceite usado en la agroindustria. Facultad De Ingeniería, Escuela de Estudios de Postgrado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2007.
- **MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.** Resolución número 1446 de 2005, Colombia, 2005.
- **ISO 4406 CLEANLINESS CODES.** ISO International. Estados Unidos. 2009.
- **MARSICOBERETE, D.** Alternativas de selección de regeneración de aceites usados, XLII Reunión a nivel de expertos de ARPEL, Barrancabermeja, Colombia, 1981.
- **MARKS.** Manual del ingeniero mecánico 8ª edición. Mc Graw Hill, 1989.
- **FARRIS, John A.** Extending Hydraulic Fluid Life by Water and Silt. Removal President of Pall Industrial Hydraulics Corporation, USA, 1994.
- **DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE DE CCOARAGÓN.** Guía para la reducción del impacto ambiental de los aceites industriales usados. Zaragoza España, 2007.

- **GOYAL**, Megh R. Manejo de Riego Por Goteo. Profesor en Ingeniería Agrícola y Biomédica, Universidad de Puerto Rico – Recinto de Mayagüez, Puerto Rico, 2005.
- **TUTOR DE LUBRICACION SHELL**. Lubricantes para Sistemas Hidráulicos, Módulo Cinco, Colombia, 2009.
- **TRANSFORMACION DE LOS ACEITES USADOS PARA SU UTILIZACION COMO ENERGETICOS EN PROCESOS DE COMBUSTION**. Unidad De Planeación Minero-Energética UPME, Ministerio de Minas Y Energía, República de Colombia, Colombia, 2001.
- **CRANE**, Flujo de Fluidos en Válvulas. Accesorios y Tuberías. Mc Graw Hill, 1987.
- **VICKERS**. Manual de Oleohidráulica Industrial. Barcelona: Editorial Blume, sine facta.
- **GESTION DE ACEITES USADOS EN BOGOTA**, Grupo hidrocarburos SAS – DAMA, Bogotá, Colombia, 2005.
- **MATAIX**, Claudio. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas 2ª edición. Ediciones del Castillo S.A, 1986.
- **BOLETÍN MENSUAL SOBRE LUBRICACIÓN Y MANTENIMIENTO**. España, 2004

## **ANEXOS**

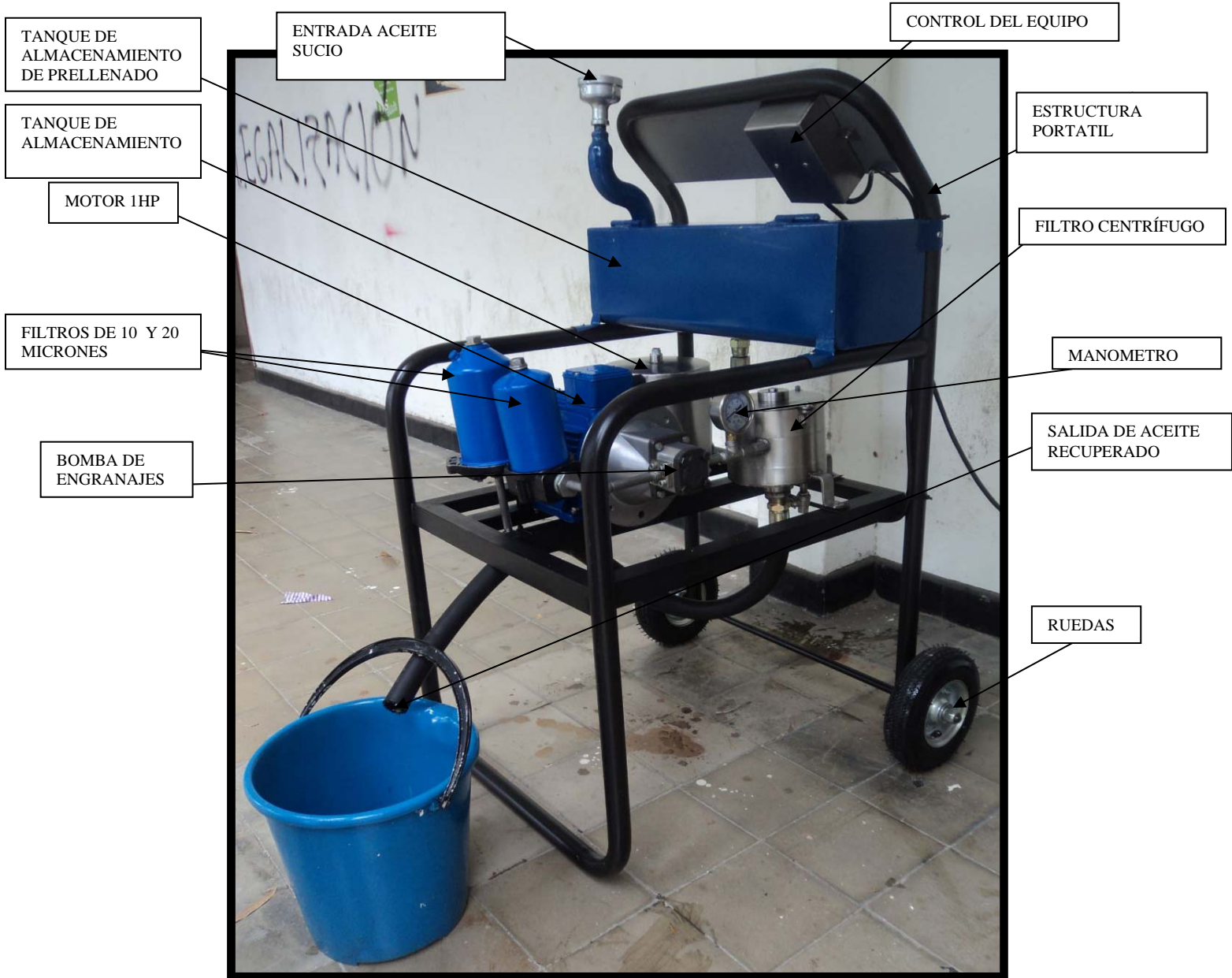
**ANEXO A**  
**MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL PROTOTIPO PORTÁTIL**  
**PARA LA RECUPERACIÓN DEL ACEITE HIDRÁULICO USADO DE BASE**  
**MINERAL DEL LABORATORIO DE SISTEMAS OLEONEUMÁTICOS**



## CONTENIDO

- Partes del prototipo.
- Precauciones y chequeos antes de poner en marcha el sistema.
- Puesta en marcha.
- Mantenimiento general del prototipo.
- Herramientas a usar para el mantenimiento del prototipo.

## PARTES DEL PROTOTIPO PORTÁTIL PARA LA RECUPERACIÓN DEL ACEITE HIDRÁULICO USADO DE BASE MINERAL DEL LABORATORIO DE SISTEMAS OLEONEUMÁTICOS



## **PRECAUCIONES Y CHEQUEOS ANTES DE PONER EN MARCHA EL SISTEMA**

Es muy importante que antes de poner en marcha el equipo se realice la lectura del manual de operación y mantenimiento, si realizamos una adecuada y correcta instalación de los componentes se tiene en cuenta las recomendaciones de mantenimiento, la maquina no presentara problemas de ningún tipo.

Antes de poner en marcha el equipo, tenga en cuenta las siguientes recomendaciones:

### **1. En los tanques de almacenamiento de aceite**

Hacer un prellenado con aceite al tanque, garantizando que el tanque de almacenamiento se llene. Con esto logramos que el sistema funcione perfectamente.

### **2. En la Bomba hidráulica**

Esperar cierto tiempo para que el aceite circule por toda la tubería y logre hacer purga para la bomba. Esto se hace para lograr el perfecto arranque y buen funcionamiento de la bomba y del sistema completo.

### **3. En el filtro centrifugo**

Verificar que la tapa del filtro centrifugo se encuentre bien asegurada. Si no se cierra perfectamente, puede ocasionar que el rotor no gire, que no filtre y que haya derrame de aceite.

### **4. En las purgas**

El prototipo posee dos purgas para eliminar impurezas del sistema; uno es la purga de tanque de almacenamiento de aceite y la otra es la purga del filtro centrifugo. Comprobar que se encuentren debidamente cerradas.

### **5. Nivel del prototipo**

Asegurarse de que el prototipo se encuentre ubicado en una superficie totalmente plana, para que este no vaya a tambalear durante el funcionamiento.

### **6. El prototipo**

Comprobar que el equipo se encuentre conectado a la red eléctrica de 220V.

## PUESTA EN MARCHA

Si ya verifico las recomendaciones anteriormente mencionadas, ya podría poner en marcha el sistema, de lo contrario deténgase y léalos.

El procedimiento para poner en funcionamiento el sistema es muy sencillo:

1. Ubíquese en el panel de control del prototipo y oprima el botón de encendido (START color negro). El equipo se pondrá en marcha en toda su totalidad.

**NOTA:** Si por algún motivo el prototipo no entra en funcionamiento, verificar y volver a repetir las recomendaciones que se dan en las Precauciones y Chequeos antes de poner en marcha el sistema.

En llegado el caso de que el motor sufra algún recalentamiento, es debido a que el amperaje del disyuntor está muy bajo. En el panel de control se puede variar el nivel de amperaje para el motor.

## **MANTENIMIENTO GENERAL DEL PROTOTIPO**

El objetivo principal de darle un buen mantenimiento al equipo es lograr que sea eficaz y no presente fallas, asegurando así que éste se encuentre constantemente y por el mayor tiempo posible, en óptimas condiciones de confiabilidad y que sea seguro de operar.

Existen áreas críticas en la realización del mantenimiento, que tienen que ver con la prevención de fallas. Para ello se debe tener en cuenta lo siguiente:

- **Inspección**
- **Limpieza**
- **Ajuste**
- **Lubricación**

### **Inspección**

Es muy importante realizar una inspección y chequeo antes de poner en marcha el prototipo. Esto se hace para encontrar piezas dañadas, en mal estado o con alguna imperfección.

Se deben realizar los pasos de chequeo dados al inicio de este manual para detectar fugas de aceite, verificar nivel de aceite en el tanque. Es oportuno además revisar el estado de las mangueras de entrada y salida del aceite, puntos de acople, tuberías, codos, tanque de almacenamiento, para detectar algún tipo de fuga de aceite hidráulico.

Si durante la inspección del prototipo se encuentran piezas o elementos en mal estado como racores, acoples, mangueras, etc., repárelos o en su defecto replácelo. Esto podría prevenir un daño mayor en el sistema.

El tipo de mantenimiento que se aplica en este manual es principalmente preventivo, el cual permite detectar fallos repetitivos, disminuir los puntos muertos por paradas, aumentar la vida útil del equipo, disminuir costos de reparación, detectar puntos débiles en la instalación, etc.

### **Limpieza**

Solamente con la planificación y la realización del mantenimiento como rutina constante se puede evitar muchos problemas en los equipos hidráulicos.

Cuando los contaminantes entran en el sistema:

- **Reducen su eficiencia:** Los contaminantes son difíciles de ser detectados; estos afectan significativamente su eficiencia.

- Aceleran el desgaste de los componentes: La mayor parte de las averías de las bombas son debidas a la contaminación. Es importante mantener limpios los componentes del sistema y libres de aceite. Se recomienda que después de cada uso, se realice su respectiva limpieza y se cubra con el forro antipolvo.

Siempre que este prototipo entre en mantenimiento sea para cambiar un filtro o reparar un componente, los contaminantes pueden entrar en él. Para evitar esta contaminación y evitar que afecte en el rendimiento del prototipo, siempre debe:

- Abrir el sistema y desmontar los componentes con gran cuidado.
- Mantener las mangueras tapadas y enchufadas.
- Cuando se desmonten acoples, codos y tuberías tratar en lo posible de que no sean contaminados. Para mayor garantía se recomienda lavarlos con gasolina cada vez que de desmonte.
- Conservar los repuestos en su envase original hasta el momento de su instalación.

Para evitar daños en el interior del sistema, como por ejemplo en la bomba hidráulica, se recomienda realizar el cambio de filtros. Su procedimiento se explica en el siguiente capítulo de este manual.

### **Ajuste**

Es indispensable revisar todos los tornillos de la estructura que pudieran aflojarse debido a la alta vibración que produce el motor y la bomba, de ser necesario haga un apriete severo. Todas las tuercas de los tornillos de la estructura son de seguridad para evitar estos desajustes.

También tenga en cuenta inspeccionar y asegurar todos los acoples, codos y tuberías que hacen parte del sistema.

### **Lubricación**

Los componentes hidráulicos no necesitan ser lubricados, ya que ellos lo hacen mediante el aceite hidráulico que los inunda. De todas maneras es muy importante destacar que la bomba necesita estar llena de aceite en su interior antes de ser encendida; Este es una de las precauciones que se encuentran al principio del manual.

## **PROCEDIMIENTO PARA LA REVISIÓN, MANTENIMIENTO Y/O CAMBIO DE LOS FILTROS DE ACEITE**

El filtro tiene la misión de retener las partículas metálicas que van apareciendo de la continua fricción entre sí de las piezas de los bancos del laboratorio. Los filtros usados en este prototipo son los siguientes:

- Dos filtros Vickers de diferentes micras de filtración. Uno con capacidad de filtrar 20 micras y otro con capacidad de filtrar 10 micras. La referencia de su repuesto PT 849-10.
- Un filtro centrífugo de aceite, que como su nombre lo indica, emplean una fuerza centrífuga para empujar las partículas nocivas hacia un papel de filtro. Esta fuerza centrífuga es la encargada de llevar las partículas finas hacia la pared del filtro en donde se encuentra un papel filtrante que las absorbe y las retiene. Este tiene la capacidad de filtrar partículas con tamaños inferiores a 10 micras.

Estos filtros requieren de un mantenimiento continuado, que implica también su sustitución cada cierto tiempo, lo que redundará en un buen rendimiento del equipo. Sin embargo, es muy difícil predecir con exactitud el momento de la sustitución de este elemento, ya que depende del tiempo de uso que se le dé al prototipo.

Por tanto se recomienda hacer una supervisión mensual a cada filtro y su respectiva limpieza.

### **Consejos prácticos durante los cambios de filtro**

Los contaminantes también pueden entrar en el sistema hidráulico del equipo durante los cambios de filtro. La calidad del aceite filtrado en este prototipo puede llegar a ser tan bajo, si el cambio de filtro no se realiza correctamente. A continuación le damos algunos consejos para controlar la contaminación durante los cambios de filtro:

- Cambie los filtros regularmente y con cuidado. Los filtros hidráulicos deben cambiarse normalmente al menos cada 500 horas de uso, pero en este caso como necesitamos una buena eficiencia en la filtración del aceite, se recomienda cambiarlos cada 200 horas de uso.
- Como los filtros usados contienen contaminantes, es importante quitarlos con cuidado para que los contaminantes no entren en el sistema del equipo.

- Tener un buen control de la contaminación durante el mantenimiento general del prototipo.
- Si se tienen filtros de repuesto nuevos, es muy importante conservarlos en su envase original hasta el mismo momento de su utilización. El envase evitará que se contaminen.
- Utilizar siempre el filtro adecuado. Si se utiliza un filtro inadecuado, puede poner en peligro el rendimiento del equipo. La utilización de filtros que no cumplen las especificaciones requeridas puede causar la contaminación del equipo y una mala eficiencia en el filtrado del aceite usado. Para evitar estos problemas, se recomienda utilizar los filtros que cumplen todas las especificaciones del fabricante.

#### **HERRAMIENTAS A USAR PARA EL MANTENIMIENTO DEL PROTOTIPO**

- Lista de herramientas usadas en el ensamblaje y mantenimiento del equipo.
- Llave bristol 5 mm.
- Llave de copas de 9/16", 1/4", 3/8", 1/2".
- Llave expansiva.
- Llave de tubería.
- Llaves de 3/8", 9/16, 1/4", 17 mm, 22 mm.
- Hombre solo.
- Destornilladores de pala y estrella.

**ANEXO B**  
**CERTIFICADO DE CONTEO DE PARTICULAS ISO 4406**



NIT. 830.078.210-7

Servicios Ecológicos Integrados  
Latinoamericanos Ltda.

Bogotá, D.C., Febrero 03 de 2011

Señores  
**Atte. Ing. Danis Alberto Romero**  
Bucaramanga

Ref.: Entrega de Resultados  
Cód SGC: OP-OER-14

Estimado Ingeniero:

Adjunto se están enviando los resultados de dos muestras de aceite analizado, cada una con su respectivo soporte físico. Correspondientes al día:

- 02-02-2011. Códigos interno de SEILA LTDA. (AF50FP, DF50FP)

Gracias por su atención, quedamos a la espera de cualquier inquietud para ayudar a resolverla.

Para SEILA Ltda. Es fundamental apoyar a nuestros clientes en sus esfuerzos por cuidar nuestro medio ambiente, mediante servicios de calidad.

Reciba un Cordial Saludo,

**Luis Carlos Torres Rodríguez**  
**ID: MLA-II-001853**  
**Gerente General**

**Fecha:** Febrero 03 de 2011  
**Cliete:** DANIS ALBERTO ROMERO  
**Subcliete:** N/A  
**Equipo:** N/A  
**Iden. Interna:** N/A  
**Componente:** N/A  
**Serie:** N/A  
**Lubricante:** N/A  
**Código:** 50FP

NORMAL	
MARGINAL	
INSPECCION	



Emisión Atómica ppm			
	km/hr	DF	AF
Análisis	Método	03/02/11	02/02/11
Cr	E.A	N/A	N/A
Ni	E.A	N/A	N/A
Fe	E.A	N/A	N/A
Pb	E.A	N/A	N/A
Cu	E.A	N/A	N/A
Sn	E.A	N/A	N/A
Al	E.A	N/A	N/A
Si	E.A	N/A	N/A
Ti	E.A	N/A	N/A
Ag	E.A	N/A	N/A
Mg	E.A	N/A	N/A
Mo	E.A	N/A	N/A
Na	E.A	N/A	N/A
Zn	E.A	N/A	N/A



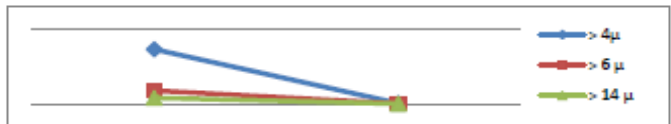
Contaminantes			
	Método	03/02/11	02/02/11
Análisis	Método	03/02/11	02/02/11
Agua	A.I	N/A	N/A
Oxidación	A.I	N/A	N/A
Carbón	A.I	N/A	N/A
Combust	A.I	N/A	N/A
Glycol	A.I	N/A	N/A



Viscosidad cSt			
	Método	03/02/11	02/02/11
Análisis	Método	03/02/11	02/02/11
40 °C	D2983-04	N/A	N/A
100 °C	D2983-04	N/A	N/A



Codigo de Limpieza			
	Norma	03/02/11	02/02/11
Análisis	Norma	03/02/11	02/02/11
		20/19/18	27/24/23
> 4µ	ISO 4406	7.484	729.179
> 6 µ	ISO 4406	4.596	178.938
> 14 µ	ISO 4406	2.486	79.524



Otros Análisis			
	Norma	03/02/11	02/02/11
Análisis	Norma	03/02/11	02/02/11
TBN	D2896	N/A	N/A
TAN	D664	N/A	N/A
Cod			



**CONDICION:**

**RECOMENDACIÓN:**

Calle 25 No. 12-27 Ofc. 202 B Tel. 8-050599 Fax.2430906 Cel. 3108658608 e-mail seilalta@yahoo.es  
 Bogotá - Colombia



Servicios Ecológicos Integrados Latinoamericanos Ltda.

RESOLUCION DIAN NO. 320000732490  
FECHA: 2010/11/26 NUMERACION AUTORIZADA 2501 AL 3500

NIT. No. 830.078.210-7  
REGIMEN COMUN  
Actividad Económica 9309

CLIENTE DANIS ALBERTO ROMERO NIT. C.C. 91.512.398  
DIRECCION Carrera 31 # 17 - 62 TELEFONO 317 279 2178  
CIUDAD Bucaramanga FECHA Febrero 02 de 2011

**FACTURA DE VENTA**

**Nº 2553**

CANT.	CONCEPTO	VALOR UNIDAD	TOTAL
2	Análisis de Conteo de partículas ISSO 4406	\$ 60.000	\$ 120.000
NOTA: FAVOR CONSIGNAR A LA CUENTA DE AHORROS No.0065 0030 712-6 DAVIVIENDA Y ENVIAR COPIA VIA FAX (1) 2 43 09 06 GRACIAS.		<b>SUB-TOTAL</b>	\$ 120.000
		<b>I.V.A.</b>	\$ 19.200
		<b>TOTAL</b>	\$ 139.200

SON: CIENTO TREINTA Y NUEVE MIL DOSCIENTOS PESOS

OBSERVACIONES:

**SEILA LTDA.**

FIRMA RESPONSABLE

RECIBI

Calle 25 No. 12-27 Oficina 202B - Tel.: (57-1) 805 05 99 - Telefax: 243 0906 -- Bogotá D.C. (Colombia)  
Cel. 310 865 8608 - 310 230 3949 - [www.seilaltda.com](http://www.seilaltda.com) - [gerencia@seilaltda.com](mailto:gerencia@seilaltda.com) - [seilaltda@yahoo.es](mailto:seilaltda@yahoo.es)

AD-IM-26

IMPRESO POR: MARTHA ROCIO CLAVIJO - NIT. 39.655.838-8 - TEL. 577 3589

**ANEXO C**  
**FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**  
**CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA DE COLCIENCIAS**

<b>PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>COLCIENCIAS</b>	
	Fecha Emisión: 2011/01/14	Página 147 de 21

**1. INFORMACION GENERAL DEL PROYECTO:**

<b>Título: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PORTÁTIL PARA LA RECUPERACIÓN DEL ACEITE HIDRÁULICO USADO DE BASE MINERAL DEL LABORATORIO DE SISTEMAS OLEONEUMÁTICOS</b>	
Investigador Principal: Carlos Borrás Pinilla	
Datos de contacto investigador principal:	
Dirección:	E-mail:
Teléfonos:	Fax:
Ciudad:	Departamento:
<b>Nombre del Grupo de Investigación:</b> Centro de Investigaciones en Sistemas Dinámicos Multifísicos, Control y Robótica DICBOT Universidad Industrial De Santander	Reconocido: SI ( <input checked="" type="checkbox"/> ) NO ( ) Clasificación: ( )
Línea de investigación: Tribología de aceites y lubricación.	
Correo electrónico grupo de investigación:	
El proyecto se desarrollará en alianza con el grupo:	
Reconocido: SI ( ) NO ( ) Clasificación: ( )	
Correo electrónico del grupo de investigación:	
Nombre de todos los investigadores que participan en el proyecto: 1. Carlos Borrás Pinilla 2. Danis Alberto Romero Villalba 3. Christian Adrian Meneses Suárez	

**Este formato fue tomado y adaptado de la Convocatoria de Colciencias en la modalidad de recuperación contingente. Los derechos de su uso pertenecen a Colciencias.**

**2. RESUMEN DEL PROYECTO:**

El presente proyecto tiene por objetivo diseñar y construir un prototipo portátil que proporcione al laboratorio de Potencia Fluida de una herramienta para la

recuperación del aceite hidráulico usado de base mineral en cada uno de los bancos de pruebas.

El uso de aceite hidráulico de base mineral recuperado, reduce los efectos dañinos de la contaminación en el sistema hidráulico, favoreciendo su eficiencia, reduciendo costos de mantenimiento y garantizando la protección de la salud humana, la conservación del medio ambiente y la preservación de recursos naturales.

Proponemos una solución viable a la problemática surgida en el laboratorio de Potencia Fluida y fomentamos la aplicación de este sistema en pro del desarrollo tecnológico en la industria colombiana.

### **3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO:**

#### **Planteamiento de la pregunta o problema de investigación y su justificación**

La problemática de la gestión de aceites usados radica en la consideración de estos aceites como un residuo especial o residuo tóxico y peligroso, dado su alto contenido de metales pesados y su alta capacidad de contaminación, estipulado en el anexo I, numerales 8 y 9 del Convenio de Basilea, aplicado en Colombia mediante la Ley 253 de enero 9 de 1996 del Ministerio de Medio Ambiente.

La propuesta investigativa respecto al reciclado del aceite hidráulico de base mineral en Colombia es mínima aun viéndose la potencialidad de estos recursos existiendo los medios para aprovecharlos. Es importante recalcar el gran uso de aceite hidráulico de base mineral en la industria colombiana aproximadamente a 226.739 barriles por año.

La contaminación es el principal factor que influye en la disminución del rendimiento y de la vida útil de un sistema hidráulico. Esto representa un gasto inútil de tiempo, de recursos financieros y de mayor consumo de energía (tiempo de paro, funcionamiento incorrecto, cambio de componentes averiados y aumento de consumo de aceite o de la frecuencia de cambio del mismo).

El uso de un aceite hidráulico de base mineral recuperado, reduce los efectos dañinos de la contaminación en el sistema hidráulico, favoreciendo su eficiencia, reduciendo costos de mantenimiento y garantizando la protección de la salud humana, la conservación del medio ambiente y la preservación de recursos naturales.

La política de recuperación de aceite en sus bases primarias está atrasada, lo que genera un lugar de acción investigativa, encaminada a la gestión responsable de recursos naturales. En su misión investigativa la ingeniería mecánica llena los

requisitos para proveer soluciones viables a esta problemática que coadyuvan en el desarrollo del país.

### **Objetivo General**

- Continuar con la misión de la Universidad Industrial de Santander de formar personas de alta calidad ética, profesional e investigativa, para el mejoramiento de la calidad de vida de la comunidad e industria nacional, fomentando la generación e innovación de herramientas de ingeniería para el aprovechamiento efectivo de recursos, contribuyendo a la sostenibilidad económica y ambiental de los sistemas hidráulicos del laboratorio de potencia fluida de la escuela de Ingeniería Mecánica y promoviendo el desarrollo del Centro de Investigaciones en Sistemas Dinámicos Multifísicos, Control y Robótica DICBOT.

### **Objetivos Específicos**

- Realizar un estudio sobre Tribología y métodos de recuperación de aceites hidráulicos usados de base mineral, que conlleve a la preparación documental de una propuesta de recuperación de aceites hidráulicos usados de base mineral en Colombia, siguiendo el formato para la presentación de proyectos de investigación científica y tecnológica de Colciencias, a través del Centro de Investigaciones en Sistemas Dinámicos Multifísicos, Control y Robótica DICBOT.
- Diseñar y construir un prototipo portátil para la recuperación del aceite hidráulico del laboratorio de Sistemas Oleoneumáticos, que cumpla las siguientes especificaciones técnicas:
  - Soporte estructural tubular montado sobre ruedas, ergonómico para su manejo y transporte y con un tablero de control con interruptores para encendido/apagado.
  - Motor con bomba volumétrica de engranajes (0.5-1 GPM @ 2 HP).
  - Filtros de cartucho con parte superior intercambiable, con capacidad de filtración de 10 micras.
  - Filtro centrífugo (Autopropulsado).
  - Manómetro para señalización de obstrucción del filtro.
  - Capacidad de 0.5-1GPM.
  - Peso inferior a 40 kg para el fácil desplazamiento del equipo dentro del laboratorio.
- Diseñar el prototipo portátil completo en el software SolidWorks 3D CAD y emplear el software ANSYS como herramienta para la simulación de cargas y esfuerzos a las que se encuentra sometida la estructura del prototipo.

- Realizar ajustes y puesta en marcha del prototipo en el laboratorio de Sistemas Oleoneumáticos, para la extracción de muestras del aceite hidráulico usado recuperado.
- Realizar un estudio cualitativo y análisis microscópico visual de los aceites usados en los bancos del laboratorio de Sistemas Oleoneumáticos, comparando las características de aceite nuevo, usado y recuperado, bajo la norma ISO 4406 Cleanliness Codes.
- Cumplir con la normativa ambiental vigente, ley 253 de 1996, resolución número 1446 de 2005, respecto al tratamiento de aceites hidráulicos usados.
- Elaborar un manual de uso y mantenimiento del equipo para el usuario.

#### **a. Metodología Propuesta:**

De acuerdo a la problemática surgida en el laboratorio de Sistemas Oleoneumáticos, se observa que un proceso de reutilización mediante el método mecánico es el más adecuado, donde podemos eliminar agua e impurezas sólidas del aceite tomando como base dos procesos de recuperación:

- a) Extracción de partículas gruesas mediante filtración.
- b) Remoción de partículas finas y agua, mediante un proceso de centrifugación.

Estas características nos llevan a desarrollar un prototipo de dos etapas, donde se hace una filtración rigurosa, logrando la recuperación total del aceite usado de base mineral, para su posterior reutilización en los bancos del laboratorio.

#### **ALTERNATIVA 1: Comprar directamente el equipo**

Empresas importantes como la Vickers, Parker y Gunt que ofrecen la posibilidad de adquirir este banco de pruebas, a continuación se presenta una de estos.

En la figura se puede observar el servosistema hidráulico que ofrece la empresa GUNT. Al adquirir directamente este banco de pruebas sería la primera opción ya que esta alternativa tiene varias ventajas.

## ZY High Efficient Vacuum Oil Purifier

Fuente:



<http://www.oilpurify.com>

### **Ventajas:**

- Se cuenta con todo el sistema ya instalado y en funcionamiento.
- Se asegura la correcta funcionalidad del equipo.
- Es portátil.
- Fácil de operar y larga vida.

### **Desventajas:**

- Costo demasiado elevado.
- Costos de transporte e importación.
- Su peso supera los 40 Kg.
- Aún siendo portátil es difícil de transportar por un sólo operario.
- Está sobredimensionado para el uso que se le puede dar en el laboratorio.
- No posee un sistema de filtración centrifuga.

### **ALTERNATIVA No. 2: Diseño y construcción del prototipo portátil de recuperación de aceite.**

El diseño y la construcción del prototipo portátil de recuperación de aceite hidráulico usado presentan grandes ventajas en el momento de cumplir con los requerimientos que exige dotar a la escuela de Ingeniería Mecánica de esta herramienta.

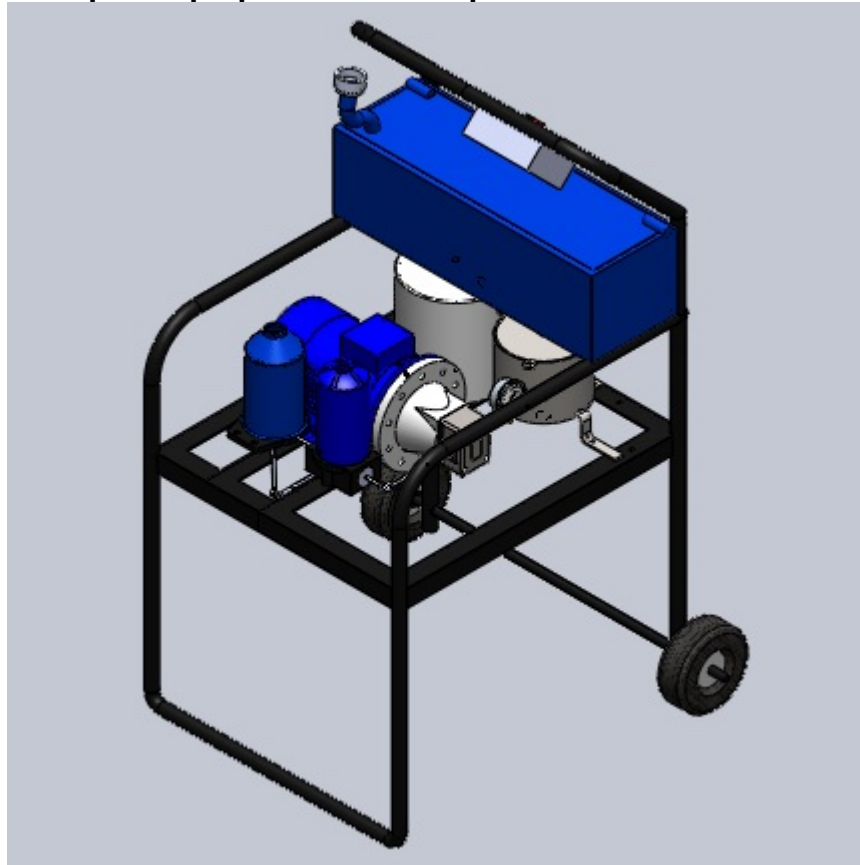
**Ventajas:**

- Cumple con todas las necesidades del proyecto.
- Posee doble tipo de filtración (filtración fija y centrífuga).
- Más económico.
- Ergonómico y fácil de transportar.
- Diseñado bajo la norma ambiental colombiana.
- Al ser presentado como trabajo de grado da la posibilidad de realizar toda la investigación, adquisición de conocimientos y trabajo práctico que sirve como parte de nuestra formación ingenieril.

A continuación se presenta dos bosquejos en SOLIDWORKS 2007 del prototipo portátil:

- **Bosquejo 1:**

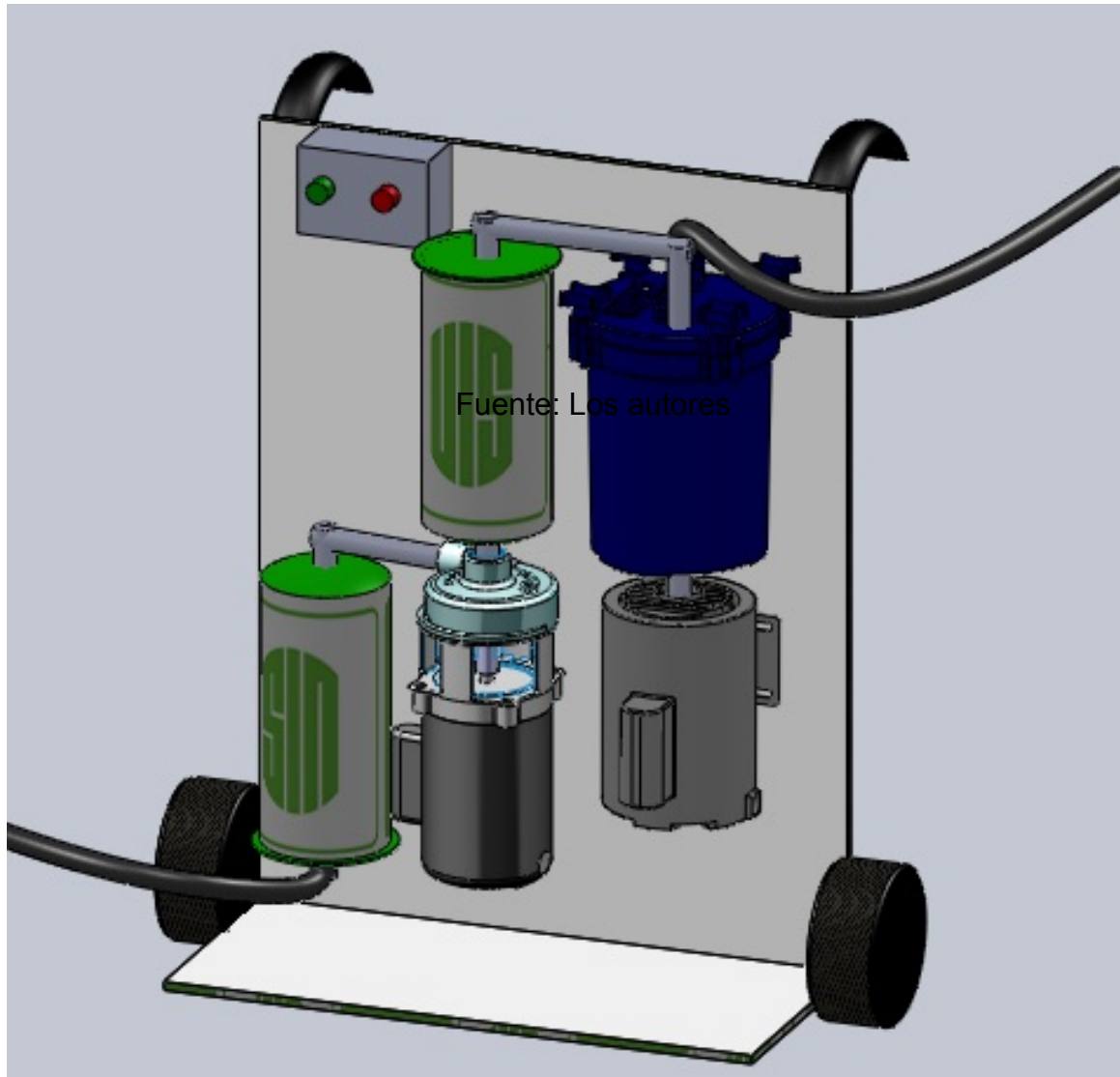
**Bosquejo 1 de prototipo portátil de recuperación de aceite hidráulico usado**



Fuente: Los autores

- **Bosquejo 2:**

**Bosquejo 2 de prototipo portátil de recuperación de aceite hidráulico usado**



## 5.2 SELECCIÓN FINAL DEL PROTOTIPO DE RECUPERACIÓN DE ACEITE HIDRÁULICO USADO DE BASE MINERAL

Realizando un análisis completo de las dos alternativas (comprar el dispositivo o diseño y construcción del prototipo), se puede concluir que la alternativa más viable es la No. 2, ya que es menos costosa y cumple a cabalidad los requisitos necesarios para el proyecto.

A pesar de que la primera alternativa presenta unas obvias ventajas al examinar los aspectos se observa que también tiene algunos factores negativos que al realizar el análisis general son los que determinan que la segunda alternativa sea más viable.

Ahora bien, de la alternativa 2 provienen dos tipos de diseño del prototipo, las cuales poseen diversas ventajas respecto a la otra

### **Bosquejo 1:**

Ventajas:

- Mayor estabilidad
- Facilidad en el mantenimiento de los componentes

Desventajas:

- Ocupa mayor espacio
- Aumentan costos de construcción

### **Bosquejo 2:**

Ventajas:

- Equipo más económico de construir
- Ocupa un espacio más reducido

Desventajas:

- Posee una estructura más inestable
- Aumentan costos de mantenimiento

Al analizar detenidamente los pros y los contras de los bosquejos se toma la decisión de diseñar y construir con relación al **bosquejo 1**, ya que la estabilidad es un elemento primordial en el diseño del prototipo, debido a las vibraciones causadas por la bomba. Además, un sistema de centrifugación autopropulsado genera más retos ingenieriles, provee de innovación y una mejora en eficiencia energética al quitar un motor, más aún con los factores estéticos que hace ver al bosquejo 1 como la opción adecuada.

### 5.3 DESPLIEGUE DE LA FUNCION DE CALIDAD (QFD)

#### **Requerimientos:**


El banco de pruebas de servosistemas hidráulicos con el que se busca dotar a la escuela debe tener ciertas características. A continuación se presentan cuales son los requisitos de los interesados en el producto.

- Fácil de operar.
- Funcionamiento seguro para operarios.
- Versatilidad.
- Confiabilidad.
- Portátil.
- Fácil instalación de elementos.
- Ocupar el menor espacio posible.
- Ergonómico.
- Larga vida útil.
- Repuestos fáciles de conseguir.
- Económico.
- Fácil mantenimiento.

#### **Matriz de Calidad.**

Los requerimientos anteriores son las necesidades que se introducen en la matriz de calidad en las respectivas filas. Estas necesidades tienen un valor que estima la importancia para el consumidor. Además se debe establecer los requisitos del proyecto como características de ingeniería, y estos parámetros se ubican en la parte superior de la matriz luego se relacionan estos parámetros representando un grado de importancia.

### Matriz de calidad de la función de calidad QFD

 <b>Matriz de relaciones: Equipo portátil para la recuperación de aceites hidráulicos usados de base mineral</b>				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
				Sistema Portátil	Fácil operatividad	Dimensiones	Fácil instalación	Control de funcionamiento	Posibilidad de cambiar parámetros (Velocidad de giro, galonaje)	Cumplimiento de normas ambientales	Estético	Funcionamiento	Economía
Necesidad Superior	No	Necesidad del Cliente	Peso Ponderado										
<b>Operación y seguridad.</b>	1	Fácil de operar	10,0%	3	9		3	9	3	1	1	3	
	2	Funcionamiento seguro para operarios y equipos	9,0%	1	3		3	3	3	9	1	9	3
	3	Versatilidad	5,0%	3	1		3		9	3	1	1	3
	4	Confiabilidad	10,0%	3		1	9	3	3	9		9	3
<b>Comodidad</b>	5	Portátil	12,0%	9	3	9	3				3	1	9
	6	Fácil instalación de elementos	10,0%	3	1	1	3	1	1	1	1		
	7	Ocupar el menor espacio posible	5,0%	3	1	9	1		1		3	1	9
<b>Vida útil</b>	8	Ergonómico	8,0%	9	3	9	1			3	3	3	
	9	Larga vida útil	8,5%	3	1		3	1	3	9		9	3
	10	Repuestos fáciles de conseguir	7,0%	3			9		3	3		3	9
	11	Económico	9,5%	9		1		3	3	9		3	9
	12	Mantenimiento	6,0%	3	3		3	1	1	3	3	9	9
			<b>100,0%</b>										
				<b>4,6</b>	<b>2,2</b>	<b>2,5</b>	<b>3,5</b>	<b>2,0</b>	<b>2,3</b>	<b>4,3</b>	<b>1,3</b>	<b>4,3</b>	<b>4,5</b>

### Ponderación de resultados.

Luego de realizar la matriz de calidad, a continuación se evaluarán los resultados obtenidos, a fin de determinar cuáles son los parámetros ingenieriles más decisivos a la hora de seleccionar una alternativa. Para el siguiente análisis se seleccionan los parámetros y requisitos más importantes para la realización del proyecto.

### Ponderación de resultados de la función de calidad QFD

EQUIPO PORTATIL PARA LA RECUPERACION DE ACEITES HIDRAULICOS USADOS DE BASE MINERAL											
SISTEMA PORTATIL (27%)			ECONOMIA (26%)			NORMAS AMBIENTALES (23.5%)			FUNCIONAMIENTO (23.5%)		
Portátil	70%	0.189	Económico	70%	0.182	Funcionamiento seguro	50%	0.1175	Larga vida útil	60%	0.141
Ergonómico	30%	0.081	Repuestos fáciles de conseguir	30,00%	0.078	Confiabilidad en el proceso.	50%	0.1175	Mantenimiento	40%	0.094

Fuente: Los autores

### Tabla de resultados de la función de calidad QFD

BANCO DE PRUEBAS DE SERVO SISTEMAS HIDRÁULICOS		
DESCRIPCIÓN	SUBGRUPO	VALOR
Portátil	SISTEMA PORTATIL	0.189
Económico	ECONOMIA	0.182
Larga vida útil	FUNCIONAMIENTO	0.141
Funcionamiento seguro	NORMAS AMBIENTALES	0.1175
Confiabilidad en el proceso.	NORMAS AMBIENTALES	0.1175
Mantenimiento	FUNCIONAMIENTO	0.094
Ergonómico	SISTEMA PORTATIL	0.081
Repuestos fáciles de conseguir	ECONOMIA	0.078

Fuente: Los autores

### b. Cronograma de Actividades:

#### IDENTIFICACIÓN DE TAREAS Y SUBTAREAS

Este plan ha sido diseñado teniendo en cuenta las principales actividades que se desarrollarán en el transcurso del trabajo. A continuación se plantean las actividades a realizar.

#### *Fase de Documentación*

- Identificación de la necesidad.
- Determinación de los recursos necesarios.
- Recopilación de bibliografía y conceptualización.
- Planteamiento de objetivos.

- Justificación del trabajo de grado.
- Estructuración del cronograma de actividades.
- Borrador del plan de trabajo.

**TIEMPO REQUERIDO: 4 Semanas.**

***Fase de Estudio e Investigación***

- Estudio tribológico de los aceites hidráulicos de base mineral.
- Estudio sobre la problemática Colombiana en gestión de aceites hidráulicos usados.
- Investigación de la normativa Colombiana respecto al uso y manejo de los aceites hidráulicos usados.
- Estudio de mecanismos de recuperación de aceites hidráulicos usados de base mineral.

**TIEMPO REQUERIDO: 4 Semanas.**

***Fase de Análisis de la Información***

- Análisis de la literatura recopilada.
- Reconocimiento del problema; sus soluciones y procesos.
- Selección de la alternativa de recuperación de aceites hidráulicos usados de base mineral a implementar en el prototipo.
- Determinación de las condiciones de trabajo del prototipo experimental.
- Presentación del trabajo de grado.

**TIEMPO REQUERIDO: 4 Semanas.**

***Fase de diseño***

- Diseño del prototipo experimental utilizando herramientas CAD.
- Simulación estructural completa del prototipo y simulación del flujo en el filtro centrífugo con las herramientas CAE.
- Diseño y selección final de las partes del sistema.
- Elaboración de planos.

**TIEMPO REQUERIDO: 3 Semanas**

***Fase de construcción***

- Selección de las partes del prototipo experimental de recuperación de aceite hidráulico de base mineral.
- Construcción del prototipo experimental de recuperación de aceite hidráulico de base mineral.

**TIEMPO REQUERIDO: 4 Semanas.**

***Fase de prueba y ajuste***

- Realización de pruebas y ajustes del prototipo experimental.
- Análisis de resultados del prototipo.

- Análisis microscópico de los aceites utilizados en los bancos del laboratorio de Sistemas Oleoneumáticos, comparando las características de aceite nuevo, usado y recuperado.
- Capacitación del personal de mantenimiento y/o persona encargada en el manejo del prototipo.

**TIEMPO REQUERIDO: 2 Semanas.**

**Fase de Preparación de memorias**

- Redacción preliminar.
- Elaboración de memorias.
- Corrección de memorias.
- Elaboración Audiovisual de soporte.
- Sustentación del proyecto.

**TIEMPO REQUERIDO: 4 Semanas**

**Fase de Documentación y capacitación**

- La fase de documentación se realiza durante el tiempo que dure la realización del trabajo de grado.

**TIEMPO TOTAL REQUERIDO: 25 Semanas.**

**c. Resultados/Productos esperados y potenciales beneficiarios:**

El desarrollo de este proyecto lleva a la consecución de un prototipo experimental de recuperación de aceite hidráulico usado de ase mineral. Proponemos una solución viable a la problemática surgida en el laboratorio de Potencia Fluida y fomentamos la aplicación de este sistema en pro del desarrollo tecnológico en la industria colombiana cumpliendo con las normativas vigentes tanto nacional como internacionalmente.

**Generación de nuevo conocimiento**

<b>Resultado/Producto esperado</b>	<b>Indicador</b>	<b>Beneficiario</b>
Prototipo de recuperación de aceite hidráulico usado de base mineral	Tesis de Grado Ingeniería Mecánica Universidad Industrial De Santander	Escuela de Ingeniería Mecánica Universidad Industrial De Santander

**d. Impactos esperados a partir del uso de los resultados:**

**Impactos esperados**

<b>Impacto esperado</b>	<b>Plazo (años) después de finalizado el proyecto: corto (1-4 ), mediano (5-9), largo (10 o más)</b>	<b>Indicador verificable</b>	<b>Supuestos*</b>
Disminución de Costos	2 años	Ahorro en compra de aceite	Uso frecuente del prototipo
Cumplimiento de normas	1 año	Análisis de aceites	Uso frecuente del prototipo
Mejoras ambientales	1 año	Análisis de aceites	Uso frecuente del prototipo

**e. Conformación y trayectoria del Grupo de Investigación (máximo 500 palabras)**

Con esta sección se pretende establecer la capacidad del grupo de investigación y de sus integrantes para realizar el proyecto propuesto. Esto significa conocer su importancia estratégica y logros a partir de proyectos de investigación realizados anteriormente o en curso, incluyendo sus productos más relevantes.

La información suministrada deberá reflejar la capacidad del grupo de investigación y de sus integrantes para realizar el proyecto propuesto.

**f. Bibliografía:**

- **ALBARRACIN A. Pedro.** Tribología y lubricación Industrial y automotriz Tomo I 2ª Edición, Bucaramanga, 1993.
- **PÉREZ S. Luciano-PANEQUE R. Pedro.** Comportamiento del aceite hidráulico y la influencia de su contaminación en los sistemas hidráulicos de los tractores. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, año/vol. 16, número 001. Universidad Agraria de La Habana. La Habana, Cuba. 2007.
- **REYES MENDEZ, Gloria Amparo.** Aplicación del proceso PROP modificado para la recuperación de aceites lubricantes usados. Facultad Ciencias, Escuela de Química, Universidad Industrial de Santander, Colombia, 1987.
- **NORIEGA RANGEL, Jairo – DUARTE BARRERA, Gladys.** Estudio sobre regeneración de aceites lubricantes. Facultad de Ingenierías Físico-químicas, Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Colombia, 1982.

- **GUILLÉN FERNÁNDEZ, Luis Fernando.** Procedimiento para el análisis de muestras de aceite usado en la agroindustria. Facultad De Ingeniería, Escuela de Estudios de Postgrado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2007.
- **MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.** Resolución número 1446 de 2005, Colombia, 2005.
- **ISO 28523 CLEANLINESS CODES.** ISO International. Estados Unidos. 2009.
- **MARSICOBERETE, D.** Alternativas de selección de regeneración de aceites usados, XLII Reunión a nivel de expertos de ARPEL, Barrancabermeja, Colombia, 1981.
- **MARKS.** Manual del ingeniero mecánico 8ª edición. Mc Graw Hill, 1989.
- **FARRIS, John A.** Extending Hydraulic Fluid Life by Water and Silt. Removal President of Pall Industrial Hydraulics Corporation, USA, 1994.
- **DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE DE ARAGÓN.** Guía para la reducción del impacto ambiental de los aceites industriales usados. Zaragoza España, 2007.
- **GOYAL Megh R.** Manejo de Riego Por Goteo. Profesor en Ingeniería Agrícola y Biomédica, Universidad de Puerto Rico – Recinto de Mayagüez, Puerto Rico, 2005.
- **TUTOR DE LUBRICACION SHELL.** Lubricantes para Sistemas Hidráulicos, Módulo Cinco, Colombia, 2009.
- **TRANSFORMACION DE LOS ACEITES USADOS PARA SU UTILIZACION COMO ENERGETICOS EN PROCESOS DE COMBUSTION.** Unidad De Planeación Minero-Energética UPME, Ministerio de Minas Y Energía, República de Colombia, Colombia, 2001.
- **CRANE,** Flujo de Fluidos en Válvulas. Accesorios y Tuberías. Mc Graw Hill. 1987.
- **VICKERS.** Manual de Oleohidráulica Industrial. Barcelona: Editorial Blume, sine facta.
- **GESTION DE ACEITES USADOS EN BOGOTA,** grupo hidrocarburos SAS – DAMA, Bogotá, Colombia, 2005.

#### 4. PRESUPUESTO

##### TABLAS DE PRESUPUESTO

Tabla 4.1 Presupuesto global de la propuesta por fuentes de financiación (en miles de \$).

RUBROS	FUENTES		TOTAL
	COLCIENCIAS	AUTORES DEL PROYECTO	
PERSONAL		4'500.000.00	4'500.000.00
EQUIPOS			
SOFTWARE			
MATERIALES		3'200.000.00	3'200.000.00
SALIDAS DE CAMPO			
MATERIAL BIBLIOGRÁFICO *			
PUBLICACIONES Y PATENTES			
SERVICIOS TÉCNICOS			
VIAJES		200.000.00	200.000.00
CONSTRUCCIONES		790.000.00	790.000.00
MANTENIMIENTO			
ADMINISTRACION			
<b>TOTAL</b>		<b>8.690.000.00</b>	<b>8.690.000.00</b>

## ANEXO D

### CATALOGO DE LA BOMBA PEDRO ROQUET ILO1.5DE



Pedro Roquet fabrica una gama extensa de bombas y motores de engranajes desde 0.33 hasta 150 cc/v con gran variedad de bridas, ejes y tomas que cubren la mayoría de standards internacionales y muchas versiones especiales para primeros equipos.

Combinaciones múltiples, versiones con válvulas incorporadas, divisores de caudal, etc...

Haz clic en la gama deseada para más detalles.

Todas las bombas desde 2cc (0.12in<sup>3</sup>) /v también se puede suministrar como motores o divisores de caudal.

Ofrecemos gran variedad de ejes, bridas y tomas que cubren la mayoría de standards internacionales y muchas versiones especiales para primeros equipos.

## 1. EMPRESA

Pedro Roquet inició la fabricación de componentes hidráulicos, principalmente para la industria agrícola, en 1.951. En poco tiempo se convirtió en el proveedor más importante del mercado hidráulico español, y sigue siéndolo en la actualidad.

Roquet dispone de 4 plantas de producción:

1. Fundiciones de Roda

Fundición gris y nodular, en Roda de Ter.

2. Tekor

Bombas de engranajes, en Vic

3. Dinacil

Cilindros hidráulicos, en Centelles.

4. Roquet

Todos los otros componentes (válvulas, motores, grupos motobomba, centrales etc.), en Tona

Entre las cuatro plantas reúnen una superficie cubierta de más de 24.500 m<sup>2</sup>. En los últimos 5 años, Roquet ha aumentado significativamente su capacidad de producción y mejorado su sistema de calidad (ISO9001-2000), para responder adecuadamente a los volúmenes y exigencias del mercado internacional. Se utilizan los más modernos sistemas de CAD y máquinas herramienta de control numérico para el diseño y fabricación mientras que todos los montajes y funciones de prueba se llevan a cabo en condiciones de máxima limpieza.

## 2. PLANTILLA

Pedro Roquet emplea a unas 400 personas, distribuidas de la siguiente manera:

Fábrica	Situación	Número de personas				
		Oficina	Directo	Indirecto	Q.A.	Total
Fundición	Roda	4	31	2	4	41
Bombas	Vic	3	40	3	4	50
Válvulas, cilindros etc.	Tona	43	151	28	8	230
Cilindros	Centelles	5	66	6	3	80
<b>Totales:</b>		55	288	39	19	401

## 3. PRODUCTOS














La gama de productos es más bien amplia para el tamaño de la empresa. Ello se debe al hecho de que durante muchos años había pocos proveedores de hidráulica en el mercado español en expansión. Roquet fabrica una amplia gama de bombas, válvulas móviles, válvulas industriales, motores, direcciones hidrostáticas y cilindros. Las especialidades de Roquet son: bombas de engranajes (incluso de fundición), distribuidores móviles, cilindros y actuadores hidráulicos para puertas automáticas (Hy-Dom). Muchos de los productos que suministra a sus mayores clientes primeros equipos, han sido diseñados especialmente para sus aplicaciones. Para ello, la fundición propia da a Roquet una flexibilidad mayor de la que tienen otros proveedores.

#### 4. CAPACIDAD

Actualmente las capacidades de producción de Roquet son las siguientes: 150.000 bombas, 200.000 cuerpos de distribuidor, 25.000 grupos motobomba compactos y 250.000+ cilindros por año. Además, se fabrica una amplia gama de válvulas para aplicaciones móviles e industriales, sistemas hidráulicos completos y grandes y medianas centrales.

#### 5. MERCADOS

Los principales sectores de mercado que atiende Roquet regularmente son los siguientes:

-  Palas cargadoras
-  Carretillas elevadoras
-  Tractores
-  Máquinas de obras públicas
-  Grúas para camión
-  Camiones volquetes
-  Energías alternativas
-  Máquina herramienta
-  Máquina inyección plástico
-  Minería
-  Máquina alimentaria
-  Muelles de carga
-  Otras máquinas

## CATÁLOGO GENERAL DE BOMBAS DE ENGRANAJES

### Hydraulic Gear Pumps



Pedro Roquet produces hydraulic gear pumps and motors for fluid power applications (not suitable for water or chemical use) in five size ranges :

Please click on the relevant hydraulic gear pump range for technical details - including performance curves, noise levels etc.

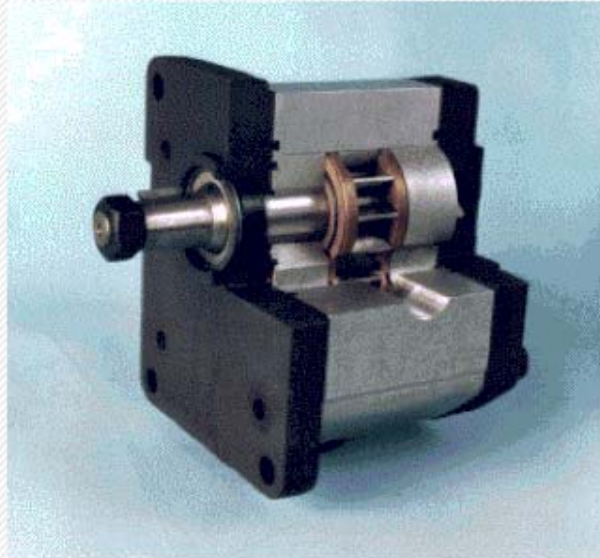
Pump Range	cc/rev	in <sup>3</sup> /rev
<a href="#">M</a>	0.33 to 1.33	0.02 to 0.08
<a href="#">LO</a>	1 to 6.6	0.06 to 0.4
<a href="#">L</a>	4 to 28	0.24 to 1.7
<a href="#">PLA</a>	24 to 56	1.46 to 3.4
<a href="#">PLC</a>	54 to 150	3.29 to 9.15
<a href="#">PNC</a> (cast-iron)	54 to 150	3.29 to 9.15

All of the pumps from 2cc (0.12in<sup>3</sup>) /rev are also available as motors and flow dividers.

We do *lots* of different shafts, flanges and bodies - European / American / some Japanese as well as specials for various tractor makes etc. (see example [John Deere Combine 955](#)).

Drawings of the SAE AA, A, B and C (American) mountings can be found in the relevant gear pump range pages. For other drawings, please request catalogue.

## Sección de una bomba de engranajes

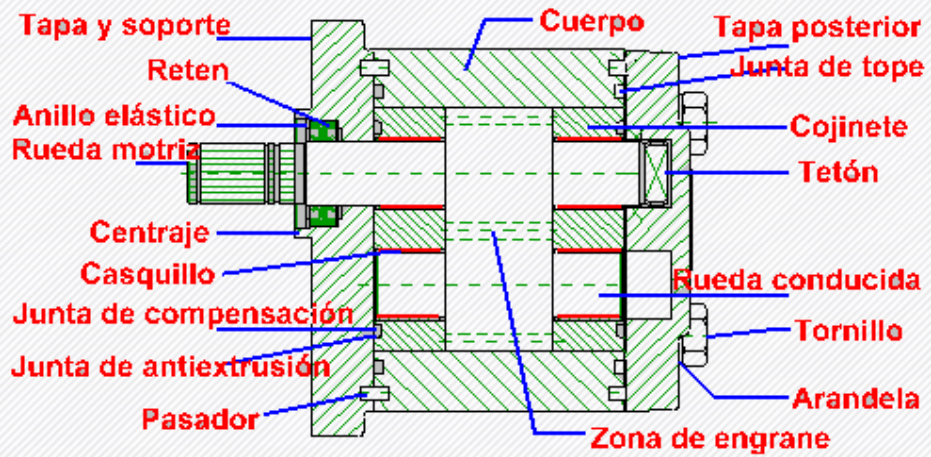


Haz clic para volver a :

[Bombas](#)

[Productos](#)

## Las piezas en una bomba típica Roquet

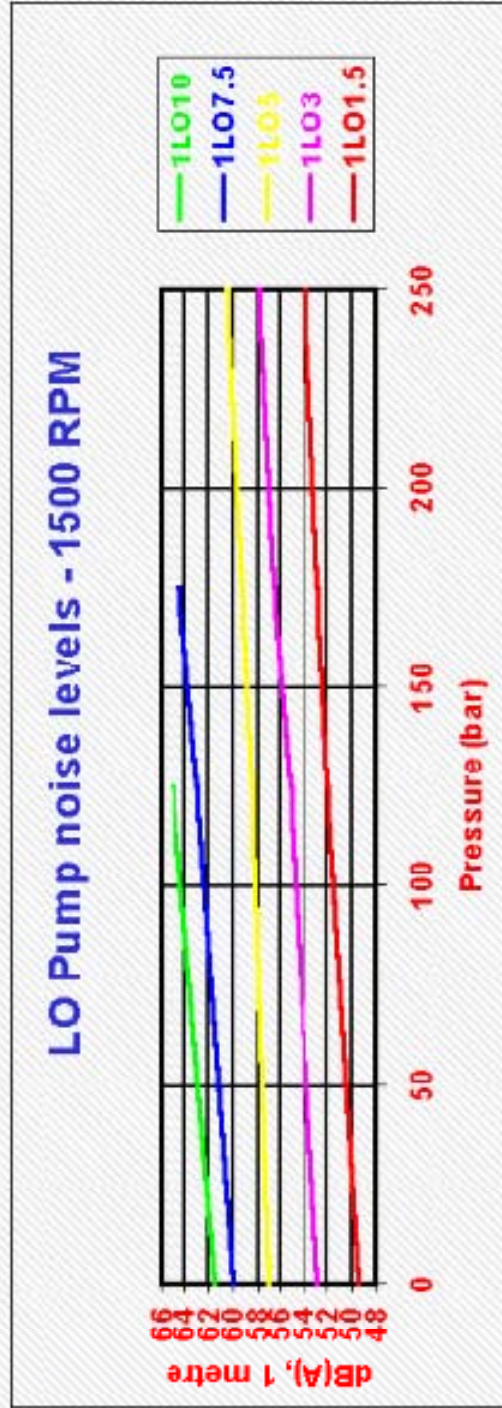


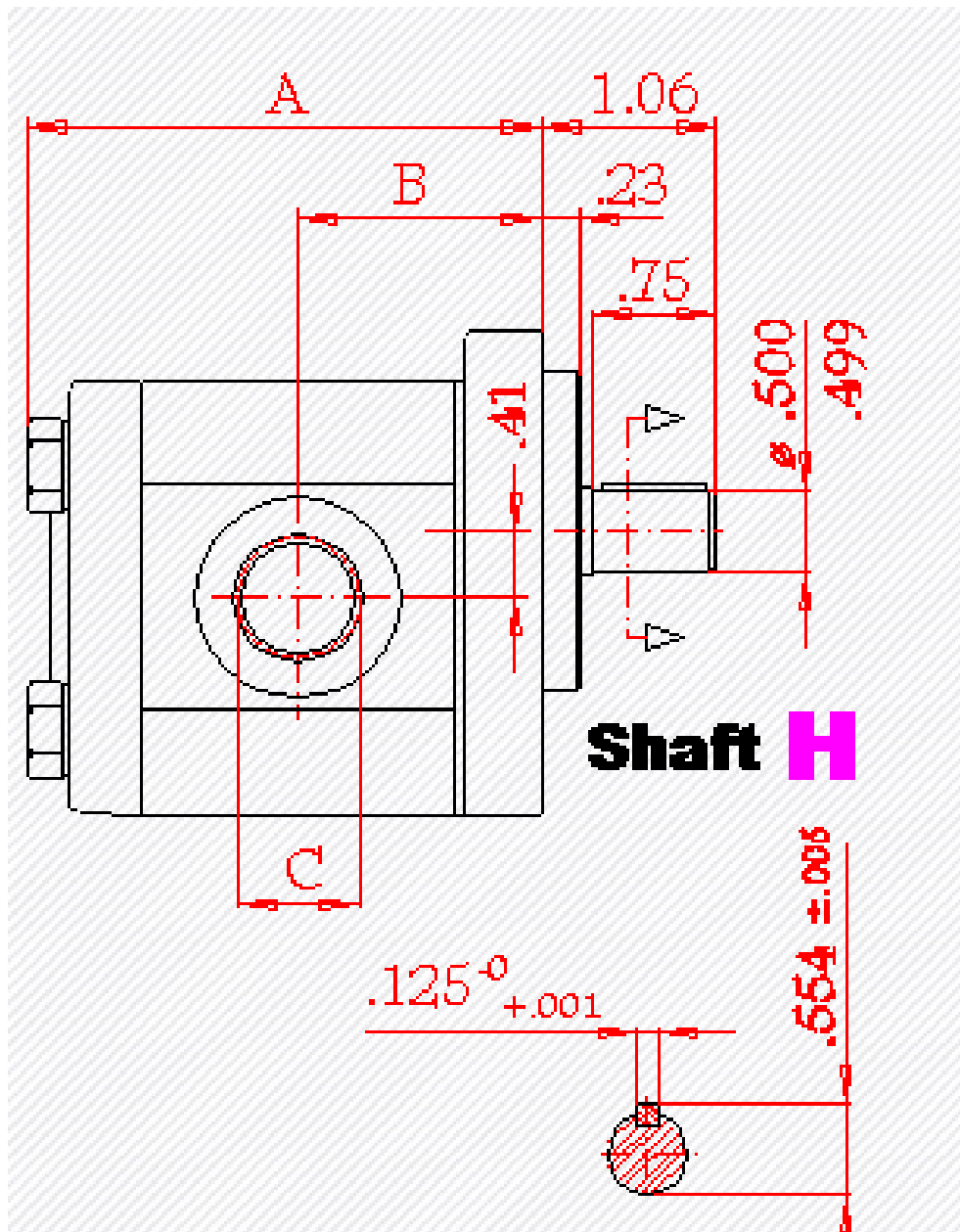
## Sección de una bomba típica de Pedro Roquet

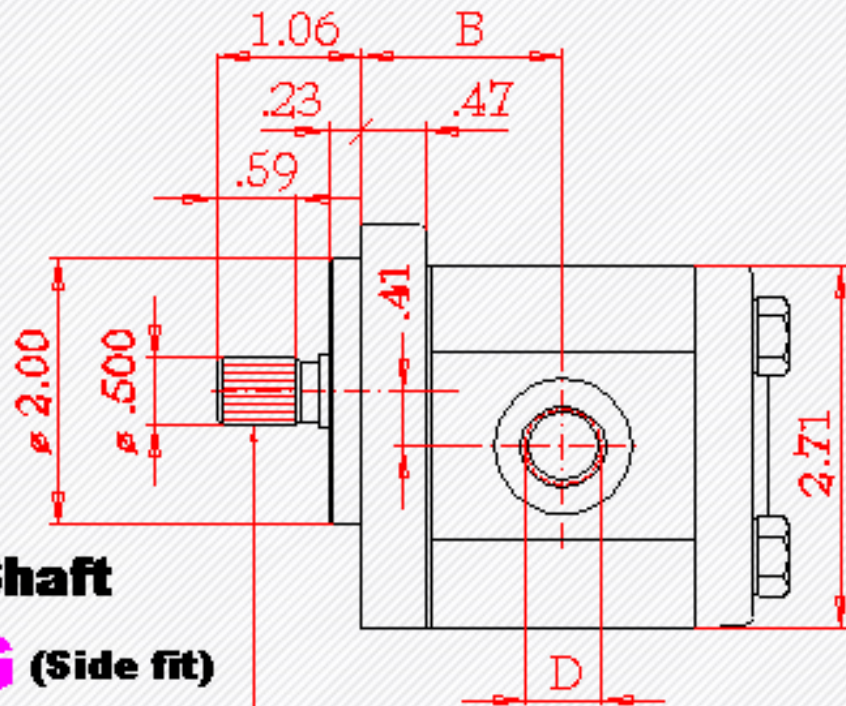
## Group LO Gear Pumps

Pump Size	1LO1.5	1LO3	1LO5	1LO7.5	1LO10
Displacement (in <sup>3</sup> /rev)	0.06	0.12	0.20	0.30	0.40
Displacement (cc/rev)	1	2	3.3	5	6.6
Cont. max. pressure (PSI)	3990		3480	2680	1960
Cont. max. pressure (bar)	275		240	185	135
Peak pressure (PSI)	4350		3990	2900	2175
Peak pressure (bar)	300		275	200	150
RPM at cont. pressure	5000		4000	3000	
Max. RPM	6000		5000	4000	3000
<a href="#">Performance curves</a> <a href="#">Drawing of SAE "AA" pump</a> <a href="#">More pumps</a>					

## LO Pump Performance Curves







**Shaft**

**G** (Side fit)

**K** (Diam. fit)

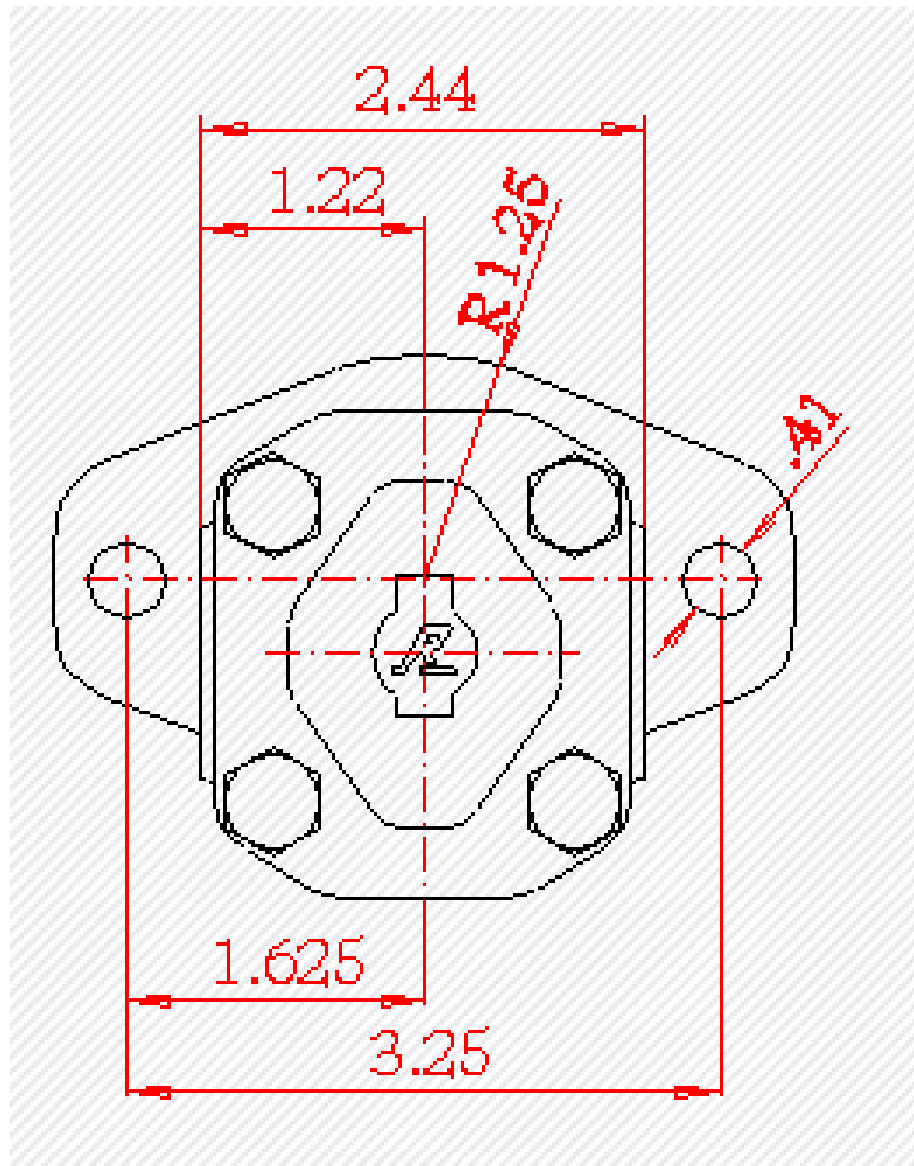
ANSI B92.1

30 DEG PRESSURE ANGLE

FLAT ROOT SIDE FIT

20/40 SPLINE PITCH

9 TEETH



**Pump Part N<sup>o</sup> in<sup>3</sup>/rev A (inches) B (inches)**

<b>1L01.5</b>	0.06	2.67	1.25
<b>1L03</b>	0.12	2.87	1.37
<b>1L05</b>	0.20	3.15	1.50
<b>1L07.5</b>	0.30	3.50	1.65
<b>1L010</b>	0.40	3.80	1.85

**Pump Rotation**

**Inlet**

**Outlet**

3/4"-16 UNF 2B 9/16"-18 UNF 2B

Clockwise (**D**)

**C**

**D**

Counter-clockwise (**I**)

**D**

**C**

**Part Numbering System**

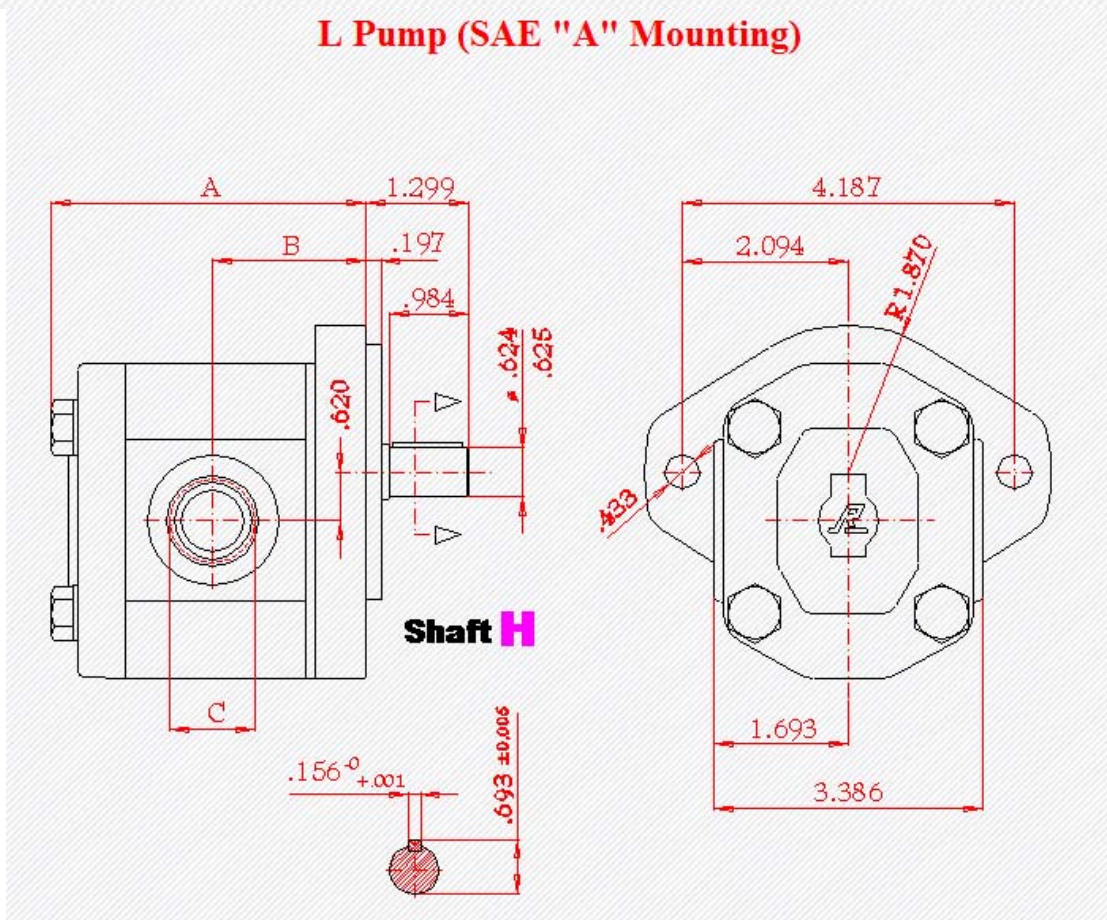
Range	Size	Rotation	Shaft	Flange	Ports
<b>1L0</b>	<b>1.5</b>	<b>D</b>	<b>G</b>	<b>09</b>	<b>S</b>
	<b>3</b>	Clockwise	Splined	SAE "AA"	SAE O-ring boss
	<b>5</b>	<b>I</b>	<b>H</b>		
	<b>7.5</b>	Counter-clockwise	Straight keyed		
	<b>10</b>				

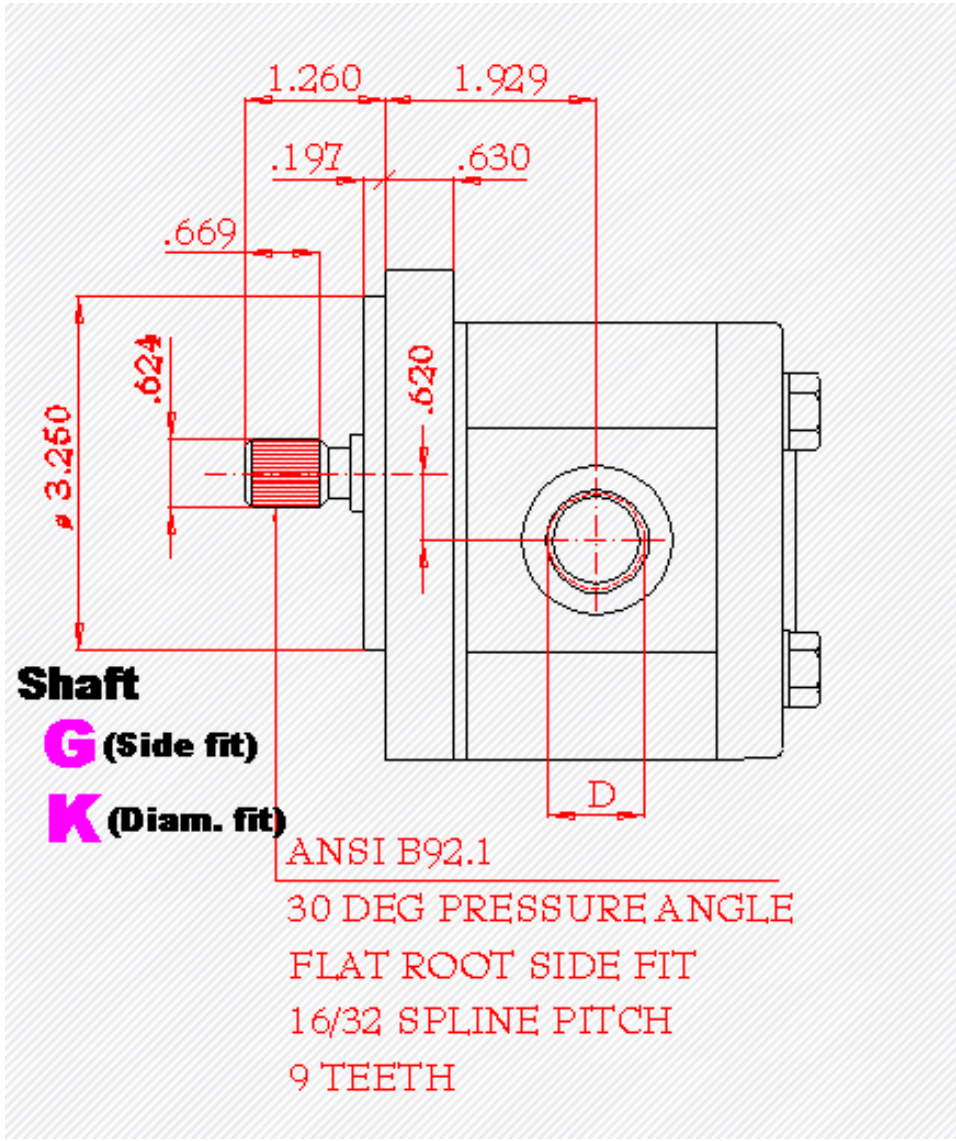
## Group L Gear Pumps

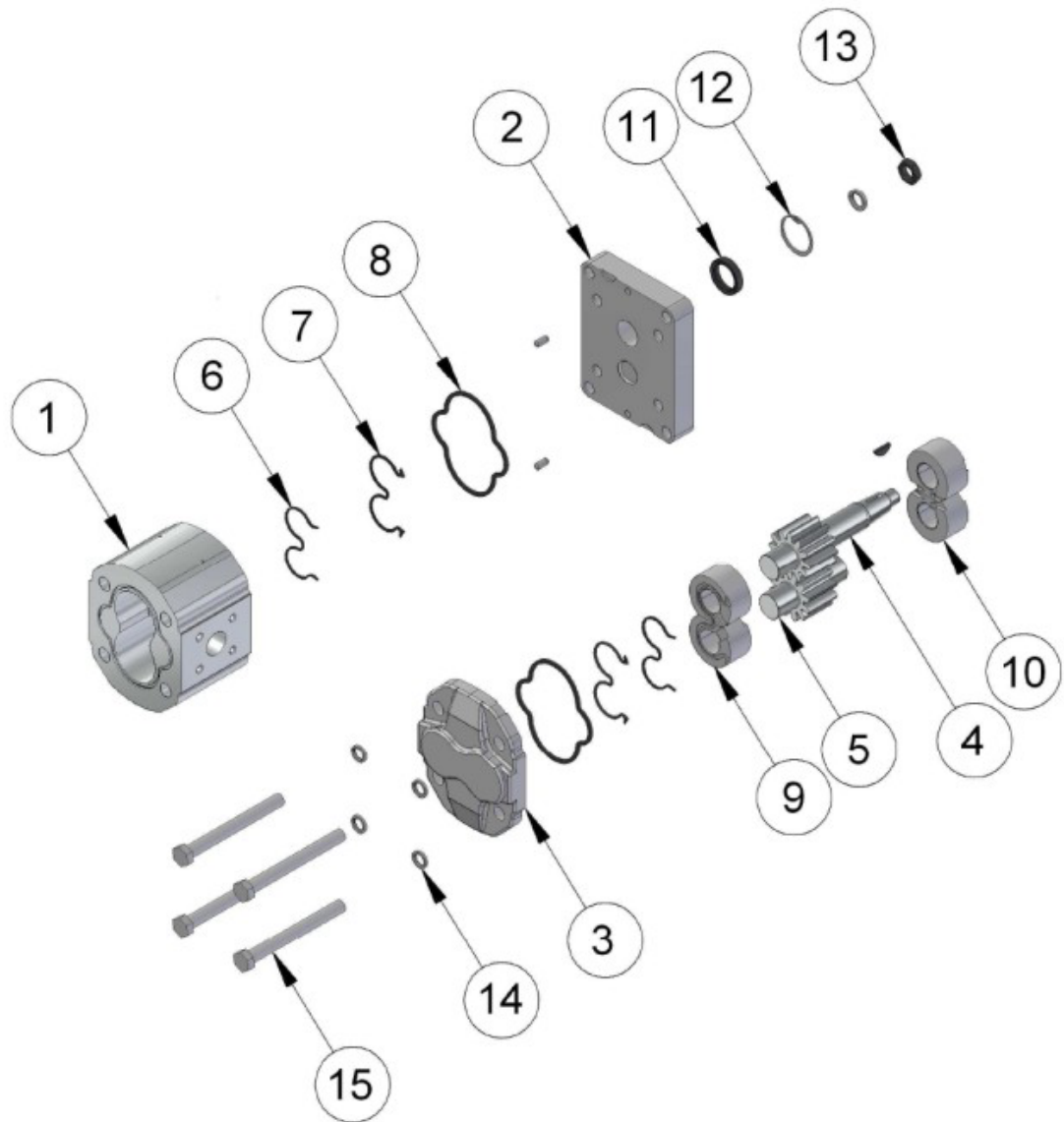
Pump Size	1L6	1L9	1L12	1L16	1L22	1L27	1L35
Displacement (in <sup>3</sup> /rev)	0,24	0,37	0,49	0,65	0,89	1,10	1,42
Displacement (cc/rev)	4	6	8	10,6	14,6	18	23,3
Cont. max. pressure (PSI)	3930			3570		3214	2500
Cont. max. pressure (bar)	275			250		225	175
Peak pressure (PSI)	4230			3930		3570	2715
Peak pressure (bar)	300			275		250	190
RPM at cont. pressure	3500		3000		2500	2300	2000
Max. RPM	4000		3500		3200	3000	

[Performance curves](#)  
[Drawing of SAE "A" pump](#)  
[More pumps](#)

### L Pump (SAE "A" Mounting)







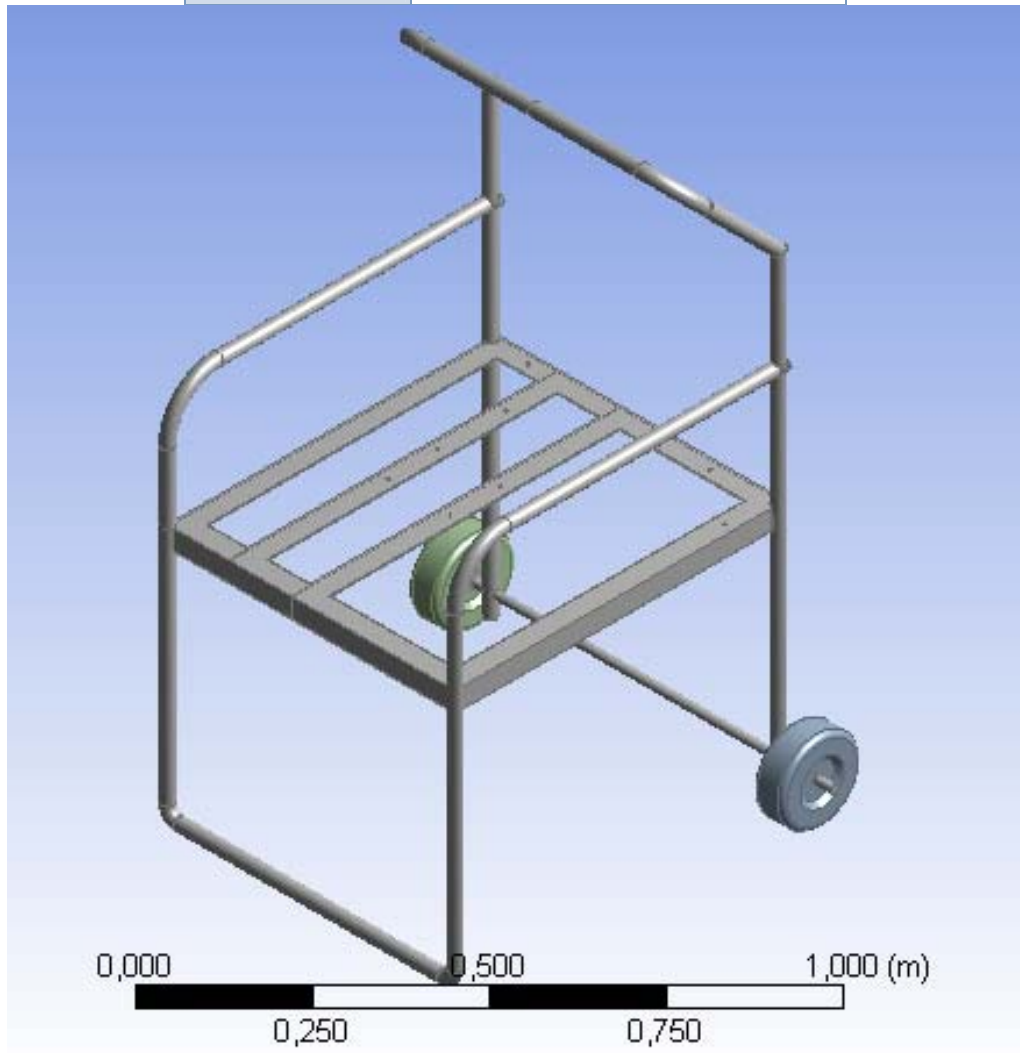
- |                             |                      |
|-----------------------------|----------------------|
| 1. Body                     | 9. Bearing left      |
| 2. Flange                   | 10. Bearing right    |
| 3. Cover                    | 11. Shaft seal       |
| 4. Driving gear             | 12. Safety ring      |
| 5. Driven gear              | 13. Nut              |
| 6. Sealing protective plate | 14. Lock washer      |
| 7. Thrust pressure seal     | 15. Connection bolts |
| 8. Peripheral sealing       |                      |

## ANEXO E REPORTE ANSYS ESTRUCTURA



Project

First Saved	Wednesday, February 09, 2011
Last Saved	Wednesday, February 09, 2011
Product Version	12.0 Release



**Contents**

- **Units**
- **Model (A4)**
  - Geometry
  - Parts
  - Coordinate Systems
  - Connections
  - Contacts
  - Contact Regions
  - Mesh
  - **Static Structural (A5)**
    - Analysis Settings
    - Loads
    - Solution (A6)
    - Solution Information
    - Stress Tool
    - Safety Factor
    - Results
- **Material Data**
  - Structural Steel

**Units**

**TABLE 1**

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

**Model (A4)**

**Geometry**

**TABLE 2**  
**Model (A4) > Geometry**

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Source	C:\Users\Hp\AppData\Local\Temp\WB_HP-PC_484_5\unsaved_project_files\dp0\SYS\DM\SYS.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Part Color
<b>Bounding Box</b>	
Length X	0,8 m
Length Y	1,172 m
Length Z	0,7384 m
<b>Properties</b>	
Volume	4,3393e-003 m <sup>3</sup>

Mass	34,064 kg
Scale Factor Value	1,
<b>Statistics</b>	
Bodies	3
Active Bodies	3
Nodes	43633
Elements	22398
Mesh Metric	None
<b>Preferences</b>	
Parameter Processing	Yes
Personal Parameter Key	DS
CAD Attribute Transfer	No
Named Selection Processing	No
Material Properties Transfer	No
CAD Associativity	Yes
Import Coordinate Systems	No
Reader Save Part File	No
Import Using Instances	Yes
Do Smart Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\Hp\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

**TABLE 3**  
**Model (A4) > Geometry > Parts**

Object Name	<i>Estructura final-1</i>	<i>Ruedas-2</i>	<i>Ruedas-1</i>
State	Meshed		
<b>Graphics Properties</b>			
Visible	Yes		
Transparency	1		
<b>Definition</b>			
Suppressed	No		
Stiffness Behavior	Flexible		
Coordinate System	Default Coordinate System		
Reference Temperature	By Environment		
<b>Material</b>			
Assignment	Structural Steel		
Nonlinear Effects	Yes		
Thermal Strain Effects	Yes		
<b>Bounding Box</b>			
Length X	0,8 m	6,e-002 m	
Length Y	1,172 m	0,16 m	
Length Z	0,6737 m	0,16 m	
<b>Properties</b>			
Volume	2,1663e-003 m <sup>3</sup>	1,0865e-003 m <sup>3</sup>	
Mass	17,005 kg	8,5292 kg	
Centroid X	-1,244e-002 m	0,345 m	-0,345 m
Centroid Y	0,53947 m	5,73e-002 m	
Centroid Z	-0,37497 m	-0,6457 m	
Moment of Inertia Ip1	2,8222 kg·m <sup>2</sup>	2,8597e-002 kg·m <sup>2</sup>	
Moment of Inertia Ip2	1,9093 kg·m <sup>2</sup>	1,6529e-002 kg·m <sup>2</sup>	
Moment of Inertia Ip3	2,7424 kg·m <sup>2</sup>	1,6529e-002 kg·m <sup>2</sup>	
<b>Statistics</b>			
Nodes	41248	1171	1214
Elements	21128	619	651
Mesh Metric	None		

**Coordinate Systems**

**TABLE 4**  
**Model (A4) > Coordinate Systems > Coordinate System**

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
<b>Origin</b>	
Origin X	0, m
Origin Y	0, m
Origin Z	0, m
<b>Directional Vectors</b>	
X Axis Data	[ 1, 0, 0, ]
Y Axis Data	[ 0, 1, 0, ]
Z Axis Data	[ 0, 0, 1, ]

**Connections**

**TABLE 5**  
**Model (A4) > Connections**

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
<b>Auto Detection</b>	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
<b>Transparency</b>	
Enabled	Yes

**TABLE 6**  
**Model (A4) > Connections > Contacts**

Object Name	<i>Contacts</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Connection Type	Contact
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
<b>Auto Detection</b>	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0,
Tolerance Value	3,9991e-003 m
Face/Face	Yes
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies

**TABLE 7**  
**Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions**

Object Name	<i>Contact Region</i>   <i>Contact Region 2</i>	
State	Fully Defined	
<b>Scope</b>		
Scoping Method	Geometry Selection	
Contact	2 Faces	
Target	2 Faces	
Contact Bodies	Estructura final-1	
Target Bodies	Ruedas-2	Ruedas-1
<b>Definition</b>		
Type	Bonded	
Scope Mode	Automatic	
Behavior	Symmetric	
Suppressed	No	
<b>Advanced</b>		
Formulation	Pure Penalty	
Normal Stiffness	Program Controlled	
Update Stiffness	Never	
Pinball Region	Program Controlled	

Mesh

**TABLE 8**  
**Model (A4) > Mesh**

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
<b>Sizing</b>	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	1,02e-003 m
<b>Inflation</b>	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2

Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
<b>Advanced</b>	
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
<b>Defeaturing</b>	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
<b>Statistics</b>	
Nodes	43633
Elements	22398
Mesh Metric	None

**Static Structural (A5)**

**TABLE 9  
Model (A4) > Analysis**

Object Name	<i>Static Structural (A5)</i>
State	Solved
<b>Definition</b>	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
<b>Options</b>	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

**TABLE 10  
Model (A4) > Static Structural (A5) > Analysis Settings**

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
<b>Step Controls</b>	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
<b>Solver Controls</b>	

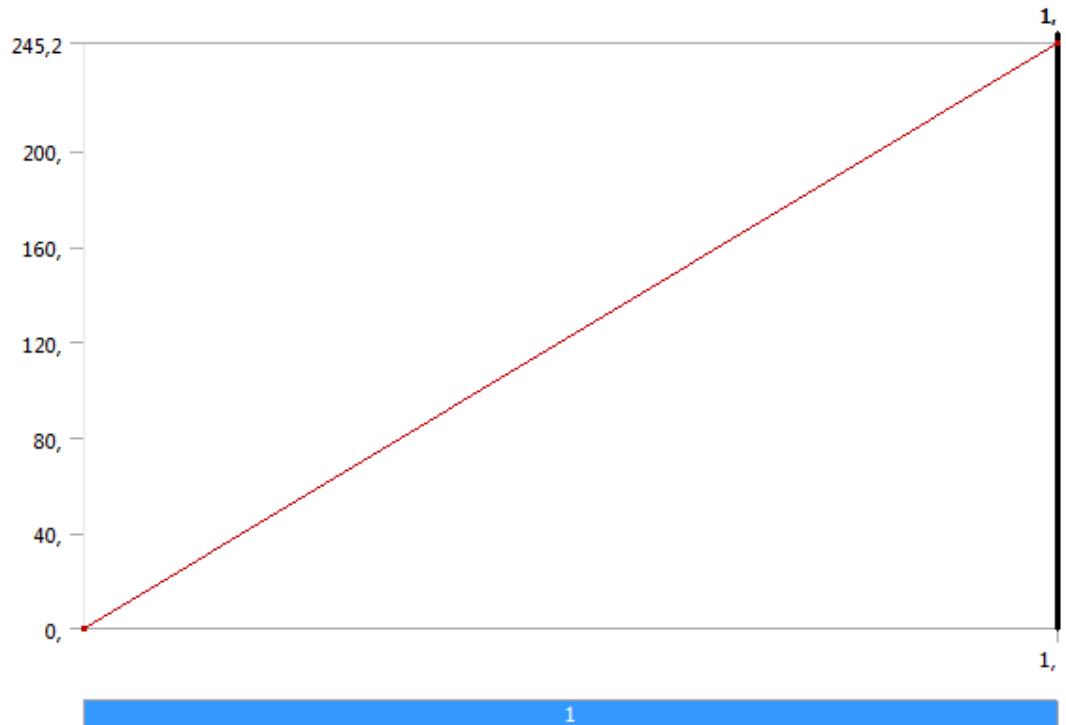
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
<b>Restart Controls</b>	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
<b>Nonlinear Controls</b>	
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
<b>Output Controls</b>	
Calculate Stress	Yes
Calculate Strain	Yes
Calculate Contact	No
Calculate Results At	All Time Points
<b>Analysis Data Management</b>	
Solver Files Directory	C:\Users\Hp\AppData\Local\Temp\WB_HP-PC_484_5\unsaved_project_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

**TABLE 11**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads**

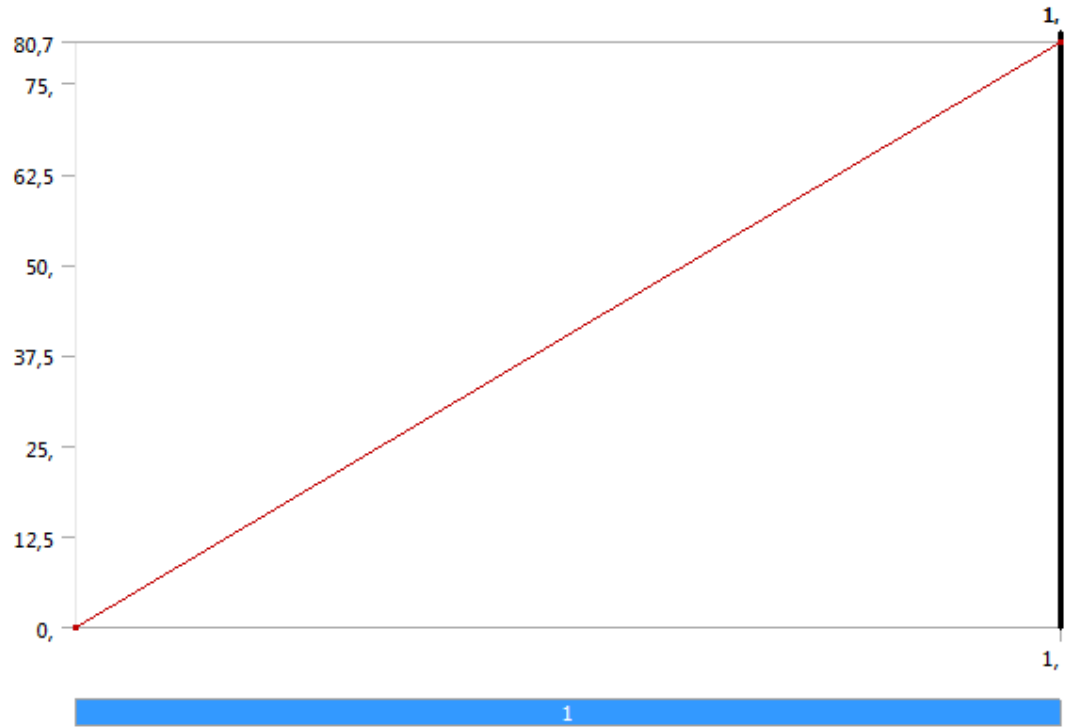
Object Name	<i>Soporte</i>	<i>Ruedas</i>	<i>Motobomba</i>	<i>Tanque</i>	<i>Centrifugo</i>
-------------	----------------	---------------	------------------	---------------	-------------------

	<i>tubos</i>			
State	Fully Defined			
<b>Scope</b>				
Scoping Method	Geometry Selection			
Geometry	3 Faces	2 Faces	4 Edges	2 Edges
<b>Definition</b>				
Type	Fixed Support	Cylindrical Support	Force	
Suppressed	No			
Radial		Fixed		
Axial		Fixed		
Tangential		Fixed		
Define By			Vector	
Magnitude			245,2 N (ramped)	80,7 N (ramped) 78,5 N (ramped)
Direction			Defined	

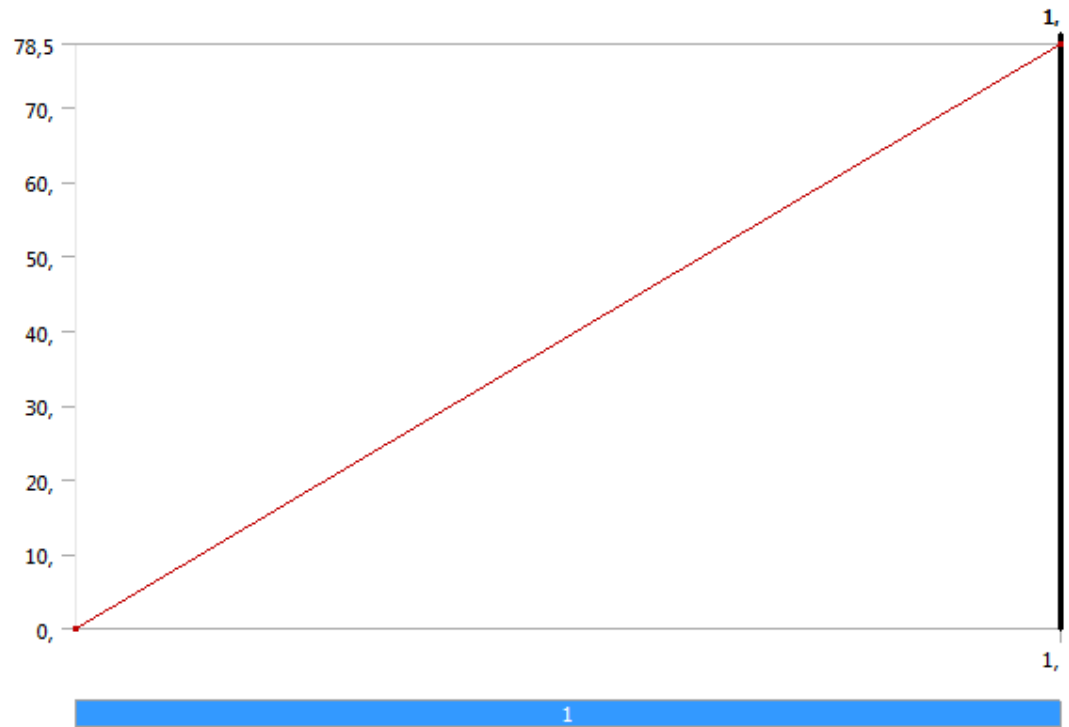
**FIGURE 1**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Motobomba**



**FIGURE 2**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Tanque**



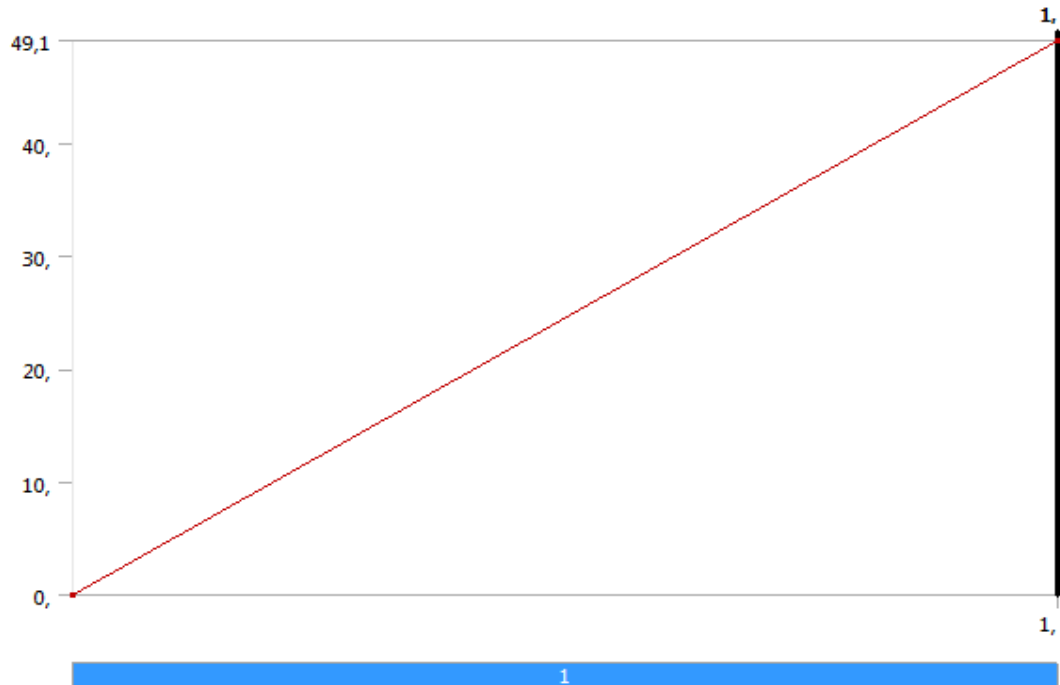
**FIGURE 3**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Centrifugo**



**TABLE 12**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads**

Object Name	<i>Accesorios</i>
State	Fully Defined
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Face
<b>Definition</b>	
Type	Force
Define By	Vector
Magnitude	49,1 N (ramped)
Direction	Defined
Suppressed	No

**FIGURE 4**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Accesorios**



**Solution (A6)**

**TABLE 13**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution**

Object Name	<i>Solution (A6)</i>
State	Solved
<b>Adaptive Mesh Refinement</b>	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
<b>Information</b>	
Status	Done

**TABLE 14****Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Solution Information**

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
<b>Solution Information</b>	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All

**TABLE 15****Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Stress Safety Tools**

Object Name	<i>Stress Tool</i>
State	Solved
<b>Definition</b>	
Theory	Max Equivalent Stress
Stress Limit Type	Tensile Yield Per Material

**TABLE 16****Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Stress Tool > Results**

Object Name	<i>Safety Factor</i>
State	Solved
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
<b>Definition</b>	
Type	Safety Factor
By	Time
Display Time	Last
Calculate Time History	Yes
Identifier	
<b>Integration Point Results</b>	
Display Option	Averaged
<b>Results</b>	
Minimum	> 10
Minimum Occurs On	Estructura final-1
<b>Information</b>	
Time	1, s
Load Step	1
Substep	1
Iteration Number	1

**TABLE 17****Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Results**

Object Name	<i>Total Deformation</i>	<i>Equivalent Stress</i>
State	Solved	

Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
Definition		
Type	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Results		
Minimum	0, m	1,4984e-005 Pa
Maximum	3,0542e-004 m	1,7352e+007 Pa
Minimum Occurs On	Estructura final-1	
Maximum Occurs On	Estructura final-1	
Information		
Time	1, s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	
Integration Point Results		
Display Option		Averaged

**Material Data**  
**Structural Steel**

**TABLE 18**  
**Structural Steel > Constants**

Density	7850 kg m <sup>-3</sup>
Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C <sup>-1</sup>
Specific Heat	434 J kg <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Thermal Conductivity	60.5 W m <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Resistivity	1.7e-007 ohm m

**TABLE 19**  
**Structural Steel > Compressive Ultimate Strength**

Compressive Ultimate Strength Pa	0
----------------------------------	---

**TABLE 20**  
**Structural Steel > Compressive Yield Strength**

Compressive Yield Strength Pa	2.5e+008
-------------------------------	----------

**TABLE 21**  
**Structural Steel > Tensile Yield Strength**

Tensile Yield Strength Pa	2.5e+008
---------------------------	----------

**TABLE 22**  
**Structural Steel > Tensile Ultimate Strength**

Tensile Ultimate Strength Pa
4.6e+008

**TABLE 23**  
**Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion**

Reference Temperature C
22

**TABLE 24**  
**Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress**

Alternating Stress Pa	Cycles	Mean Stress Pa
3.999e+009	10	0
2.827e+009	20	0
1.896e+009	50	0
1.413e+009	100	0
1.069e+009	200	0
4.41e+008	2000	0
2.62e+008	10000	0
2.14e+008	20000	0
1.38e+008	1.e+005	0
1.14e+008	2.e+005	0
8.62e+007	1.e+006	0

**TABLE 25**  
**Structural Steel > Strain-Life Parameters**

Strength Coefficient Pa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient Pa	Cyclic Strain Hardening Exponent
9.2e+008	-0.106	0.213	-0.47	1.e+009	0.2

**TABLE 26**  
**Structural Steel > Isotropic Elasticity**

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	2.e+011	0.3	1.6667e+011	7.6923e+010

**TABLE 27**  
**Structural Steel > Isotropic Relative Permeability**

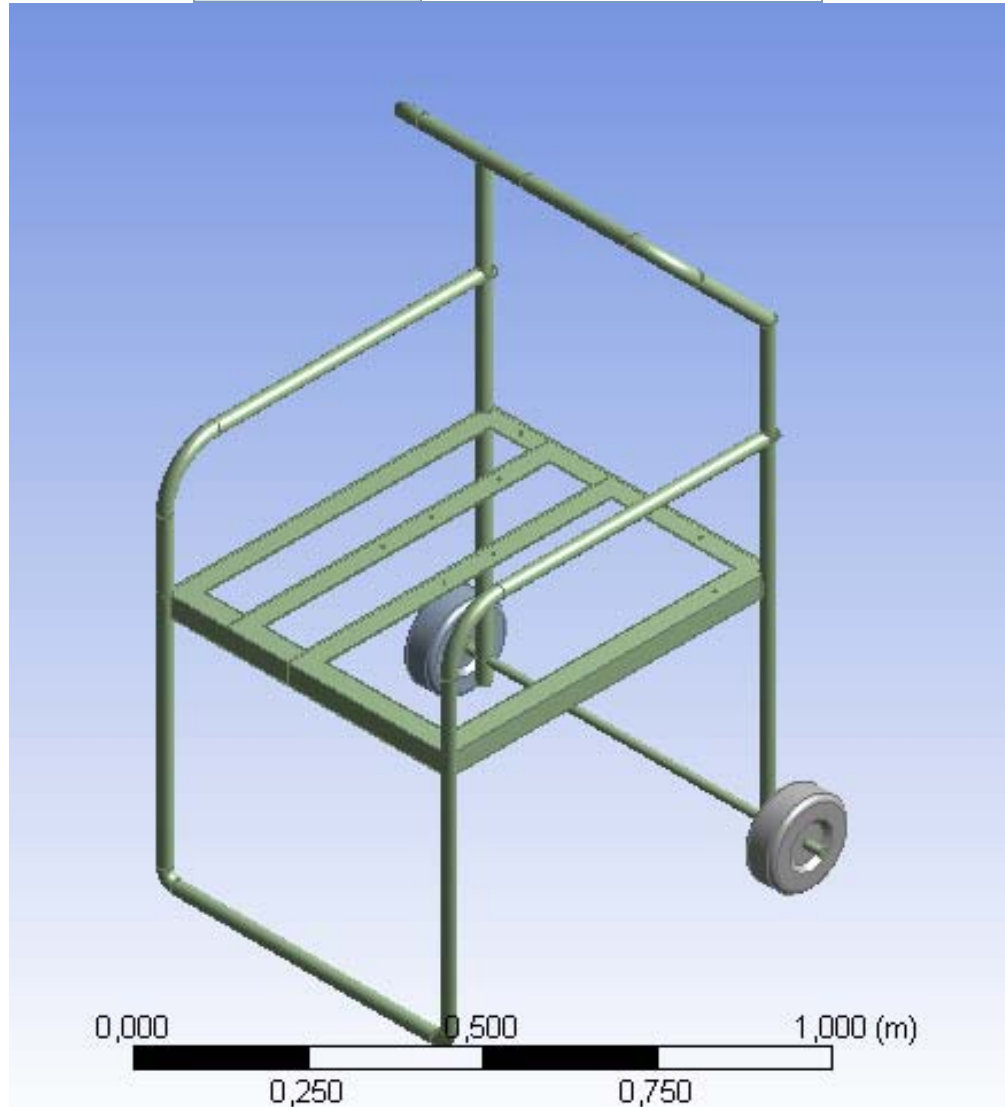
Relative Permeability
10000

## MODOS DE VIBRACIÓN



### Project

First Saved	Thursday, February 10, 2011
Last Saved	Thursday, February 10, 2011
Product Version	12.0 Release



## Contents

- Units
- **Model (B4)**
  - Geometry
  - Parts
  - Coordinate Systems
  - Connections
  - Contacts
  - Contact Regions
  - Mesh
  - **Modal (B5)**
    - Pre-Stress (None)
    - Analysis Settings
    - Solution (B6)
    - Solution Information
- **Material Data**
  - Structural Steel

## Units

**TABLE 1**

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

## Model (B4)

### Geometry

**TABLE 2**  
**Model (B4) > Geometry**

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Source	C:\Users\Hp\AppData\Local\Temp\WB_HP-PC_484_5\unsaved_project_files\dp0\SYS-1\DM\SYS-1.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Part Color
<b>Bounding Box</b>	
Length X	0,8 m
Length Y	1,172 m
Length Z	0,7384 m
<b>Properties</b>	
Volume	4,3393e-003 m <sup>3</sup>
Mass	34,063 kg
Scale Factor Value	1,

<b>Statistics</b>	
Bodies	3
Active Bodies	3
Nodes	44908
Elements	22990
Mesh Metric	None
<b>Preferences</b>	
Parameter Processing	Yes
Personal Parameter Key	DS
CAD Attribute Transfer	No
Named Selection Processing	No
Material Properties Transfer	No
CAD Associativity	Yes
Import Coordinate Systems	No
Reader Save Part File	No
Import Using Instances	Yes
Do Smart Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\Hp\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

**TABLE 3**  
**Model (B4) > Geometry > Parts**

Object Name	<i>Ruedas-2</i>	<i>Ruedas-1</i>	<i>Estructura final-1</i>
State	Meshed		
<b>Graphics Properties</b>			
Visible	Yes		
Transparency	1		
<b>Definition</b>			
Suppressed	No		
Stiffness Behavior	Flexible		
Coordinate System	Default Coordinate System		

Reference Temperature	By Environment		
<b>Material</b>			
Assignment	Structural Steel		
Nonlinear Effects	Yes		
Thermal Strain Effects	Yes		
<b>Bounding Box</b>			
Length X	6,e-002 m	0,8 m	
Length Y	0,16 m	1,172 m	
Length Z	0,16 m	0,6737 m	
<b>Properties</b>			
Volume	1,0865e-003 m <sup>3</sup>	2,1662e-003 m <sup>3</sup>	
Mass	8,5292 kg	17,005 kg	
Centroid X	0,345 m	-0,345 m	-1,2426e-002 m
Centroid Y	5,73e-002 m	0,53947 m	
Centroid Z	-0,6457 m	-0,37497 m	
Moment of Inertia Ip1	2,8597e-002 kg·m <sup>2</sup>	2,8222 kg·m <sup>2</sup>	
Moment of Inertia Ip2	1,6529e-002 kg·m <sup>2</sup>	1,9093 kg·m <sup>2</sup>	
Moment of Inertia Ip3	1,6529e-002 kg·m <sup>2</sup>	2,7423 kg·m <sup>2</sup>	
<b>Statistics</b>			
Nodes	1171	1214	42523
Elements	619	651	21720
Mesh Metric	None		

### Coordinate Systems

**TABLE 4**  
**Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System**

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
<b>Origin</b>	
Origin X	0, m
Origin Y	0, m
Origin Z	0, m
<b>Directional Vectors</b>	
X Axis Data	[ 1, 0, 0, ]
Y Axis Data	[ 0, 1, 0, ]
Z Axis Data	[ 0, 0, 1, ]

### Connections

**TABLE 5**  
**Model (B4) > Connections**

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
<b>Auto Detection</b>	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
<b>Transparency</b>	
Enabled	Yes

**TABLE 6**  
**Model (B4) > Connections > Contacts**

Object Name	<i>Contacts</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Connection Type	Contact
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
<b>Auto Detection</b>	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0,
Tolerance Value	3,9991e-003 m
Face/Face	Yes
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies

**TABLE 7**  
**Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions**

Object Name	<i>Contact Region</i>	<i>Contact Region 2</i>
State	Fully Defined	
<b>Scope</b>		
Scoping Method	Geometry Selection	
Contact	2 Faces	
Target	2 Faces	
Contact Bodies	Ruedas-2	Ruedas-1
Target Bodies	Estructura final-1	
<b>Definition</b>		
Type	Bonded	
Scope Mode	Automatic	
Behavior	Symmetric	
Suppressed	No	
<b>Advanced</b>		

Formulation	Pure Penalty
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Never
Pinball Region	Program Controlled

*Mesh*

**TABLE 8**  
**Model (B4) > Mesh**

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
<b>Sizing</b>	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	1,02e-003 m
<b>Inflation</b>	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
<b>Advanced</b>	
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
<b>Defeaturing</b>	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
<b>Statistics</b>	

Nodes	44908
Elements	22990
Mesh Metric	None

**Modal (B5)**

**TABLE 9  
Model (B4) > Analysis**

Object Name	<i>Modal (B5)</i>
State	Solved
<b>Definition</b>	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Modal
Solver Target	Mechanical APDL
<b>Options</b>	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

**TABLE 10  
Model (B4) > Modal (B5) > Initial Condition**

Object Name	<i>Pre-Stress (None)</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Pre-Stress Environment	None

**TABLE 11  
Model (B4) > Modal (B5) > Analysis Settings**

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
<b>Options</b>	
Max Modes to Find	6
Limit Search to Range	No
<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
<b>Output Controls</b>	
Calculate Stress	No
Calculate Strain	No
<b>Analysis Data Management</b>	
Solver Files Directory	C:\Users\Hp\AppData\Local\Temp\WB_HP-PC_484_5\unsaved_project_files\dp0\SYS-1\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes

Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

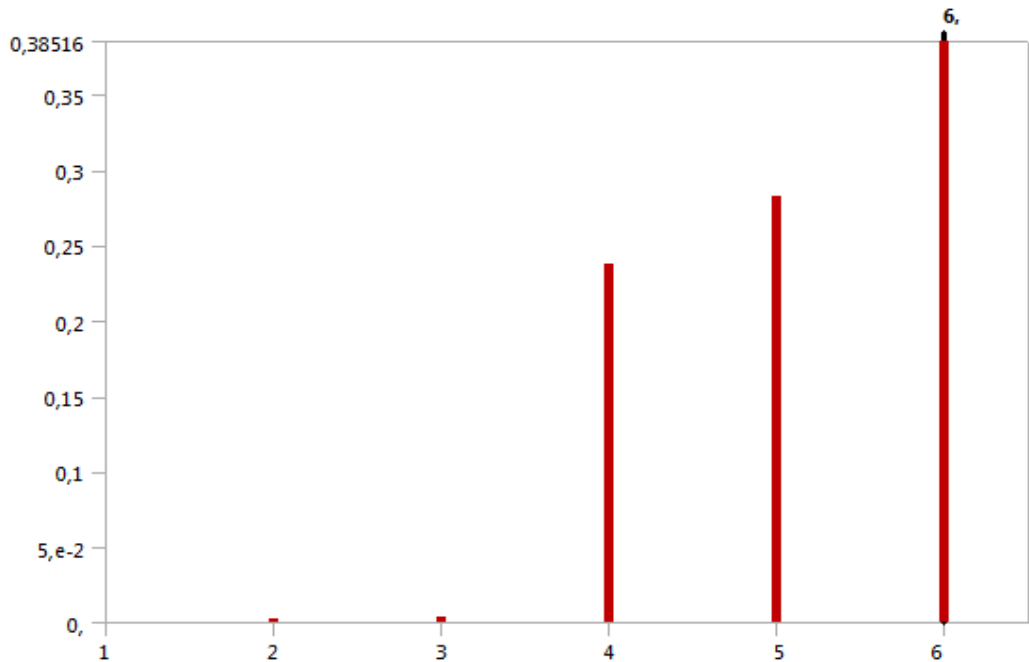
*Solution (B6)*

**TABLE 12**  
**Model (B4) > Modal (B5) > Solution**

Object Name	<i>Solution (B6)</i>
State	Solved
<b>Adaptive Mesh Refinement</b>	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
<b>Information</b>	
Status	Done

The following bar chart indicates the frequency at each calculated mode.

**FIGURE 1**  
**Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6)**



**TABLE 13**  
**Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6)**

Mode	Frequency [Hz]
1,	0,
2,	2,7239e-003
3,	3,7076e-003
4,	0,23771
5,	0,28217
6,	0,38516

**TABLE 14**  
**Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Solution Information**

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
<b>Solution Information</b>	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All

**Material Data**  
**Structural Steel**

**TABLE 15**  
**Structural Steel > Constants**

Density	7850 kg m <sup>-3</sup>
Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C <sup>-1</sup>
Specific Heat	434 J kg <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Thermal Conductivity	60.5 W m <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Resistivity	1.7e-007 ohm m

**TABLE 16**  
**Structural Steel > Compressive Ultimate Strength**

Compressive Ultimate Strength Pa
0

**TABLE 17**  
**Structural Steel > Compressive Yield Strength**

Compressive Yield Strength Pa
2.5e+008

**TABLE 18**  
**Structural Steel > Tensile Yield Strength**

Tensile Yield Strength Pa
2.5e+008

**TABLE 19**  
**Structural Steel > Tensile Ultimate Strength**

Tensile Ultimate Strength Pa
4.6e+008

**TABLE 20**  
**Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion**

Reference Temperature C
22

**TABLE 21**  
**Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress**

Alternating Stress Pa	Cycles	Mean Stress Pa
3.999e+009	10	0
2.827e+009	20	0
1.896e+009	50	0

1.413e+009	100	0
1.069e+009	200	0
4.41e+008	2000	0
2.62e+008	10000	0
2.14e+008	20000	0
1.38e+008	1.e+005	0
1.14e+008	2.e+005	0
8.62e+007	1.e+006	0

**TABLE 22**  
**Structural Steel > Strain-Life Parameters**

Strength Coefficient Pa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient Pa	Cyclic Strain Hardening Exponent
9.2e+008	-0.106	0.213	-0.47	1.e+009	0.2

**TABLE 23**  
**Structural Steel > Isotropic Elasticity**

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	2.e+011	0.3	1.6667e+011	7.6923e+010

**TABLE 24**  
**Structural Steel > Isotropic Relative Permeability**

Relative Permeability
10000

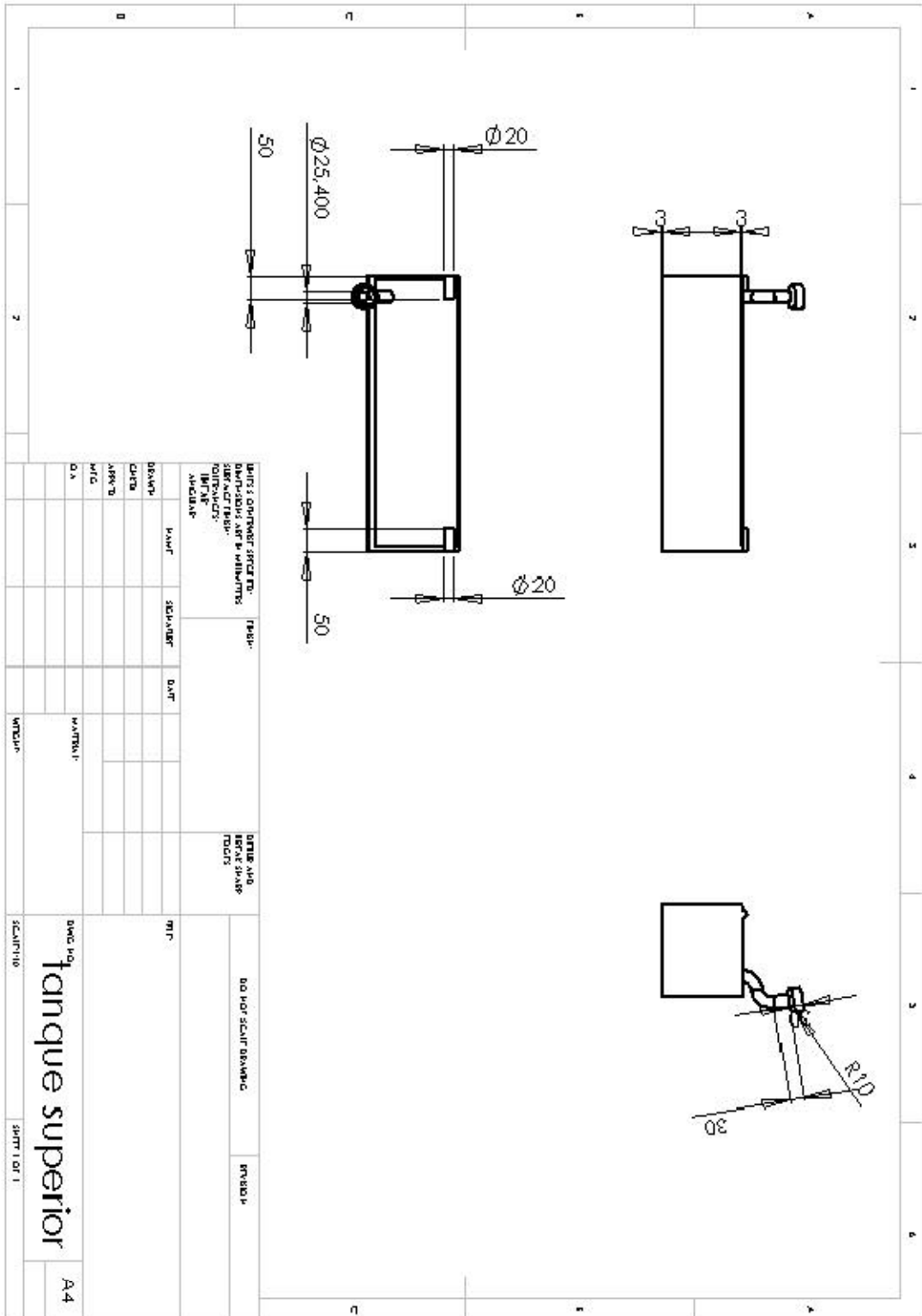












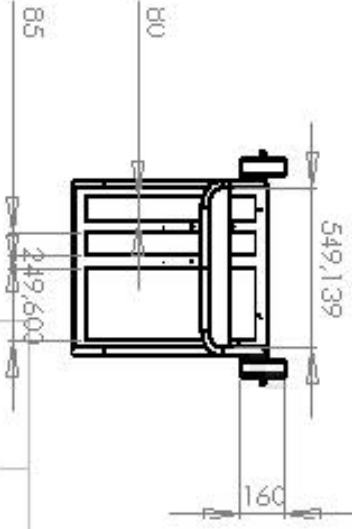
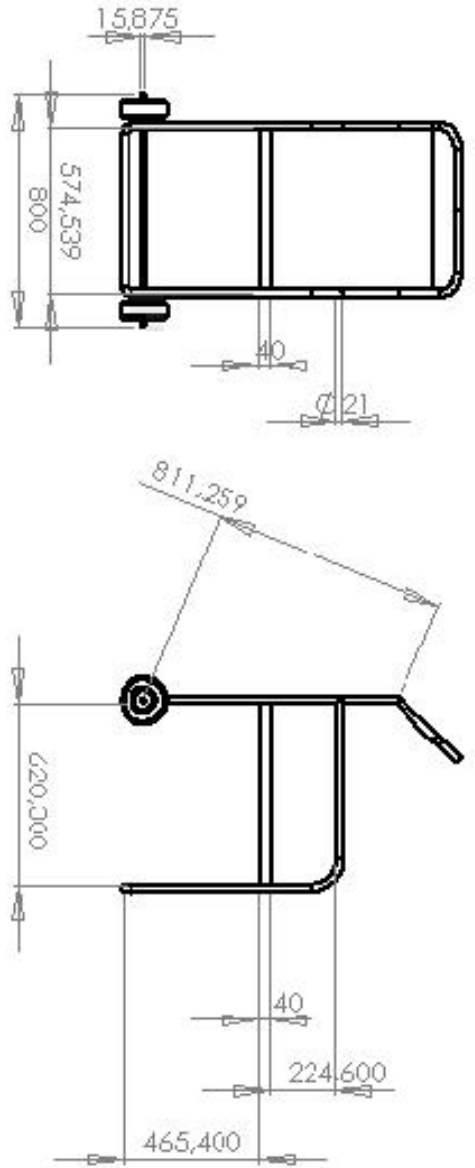
PARTI COMPRESSE SECONDO:  
 DIMENSIONI IN F. MILLIMETRI  
 SECONDO ISTAT.  
 TOLLERANZE:  
 ISO 2768  
 M3E  
 A=0,15

DETTE ADE:  
 BRONZE SHAP  
 TOOLS

DO NOT SCALE DRAWING  
 FINISH

DESCRIZIONE	Q.TA	UNITA'	REVISIONI
DEMANI			
CHIEDI			
APPROVA			
MTG			
DATA			

MATERIALE  
 MONTAGGIO  
 DESCRIZIONE  
 SCALF110  
 SHEET 1 OF 1  
 A4



PROPIEDAD Y DERECHOS RESERVADOS DE LA EMPRESA PRODUCTORA DE ESTE DISEÑO. Queda prohibida la reproducción o el uso no autorizado de este documento sin el consentimiento escrito de la empresa.

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
1	WHEEL ASSEMBLY	UNIT	1		
2	WHEEL ASSEMBLY	UNIT	1		
3	WHEEL ASSEMBLY	UNIT	1		
4	WHEEL ASSEMBLY	UNIT	1		
5	WHEEL ASSEMBLY	UNIT	1		

REV	DATE	DESCRIPTION
1		ISSUE FOR CONSTRUCTION

TITLE: WHEEL ASSEMBLY  
 DRAWN: [Name]  
 CHECKED: [Name]  
 DESIGNED: [Name]  
 DATE: [Date]

SIZE: D W/G. H. O.  
**Estructura ruedas**  
 SCALE: 1:50 (WEIGH HT.)  
 SHEET 1 OF 1



