

DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA EL FILTRADO DE ACEITE LUBRICANTE,  
CONTAMINADO

OMAR SANTIAGO FRANCO RODRIGUEZ  
WILLMER ANDRÉS PEDRAZA FORERO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERIA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C  
2019

DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA EL FILTRADO DE ACEITE LUBRICANTE,  
CONTAMINADO

OMAR SANTIAGO FRANCO RODRIGUEZ  
WILLMER ANDRÉS PEDRAZA FORERO

Proyecto integral de grado para optar al título de  
INGENIERO MECÁNICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C  
2019

Aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Ing. Jose Luis Ramirez Hurtado

---

Ing. Carlos Javier Garcia Castellanos

Bogotá D.C., Agosto de 2019

## DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente Institucional y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrector Académico y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Decano general Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director del Departamento de Ingeniería Mecánica

Ing. Carlos Mauricio Veloza Villamil

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y los docentes no son responsables por las ideas y conceptos emitidos en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

Este trabajo de grado lo dedico a Dios por guiarme en todo momento y darme la fortaleza de terminar mi carrera profesional. A mis padres, Miguel Enrique y Martha Lucía, por brindarme su apoyo incondicional y gran esfuerzo; a mi tía Rosa por sus valiosos consejos y por estar dispuesta a todo por ver en mi un gran hombre y profesional.

Omar Santiago Franco Rodríguez

Dedico este proyecto a Dios y la Virgen que me dieron la sabiduría para el desarrollo de mi carrera y trabajo de grado. A mis padres, Jorge y María Angélica que, con su apoyo y esfuerzo incondicional, han hecho de mi un hombre con valores y profesionalismo; a mi hermana Tatiana por brindarme su apoyo y conocimiento; a mi novia Mónica por estar siempre presente dándome su apoyo incondicional y a los docentes y compañeros que me acompañaron en mi formación profesional. Este es el comienzo de una nueva etapa en mi vida que gracias a ustedes estoy preparado para afrontar.

Willmer Andrés Pedraza Forero

Agradezco a Dios por permitirme concretar los logros que he trazado en mi vida, ante la adversidad y las pruebas que he tenido has estado para escucharme y para guiarme en el camino correcto. Todas mis metas son resultado de tu ayuda, de tu perfecto y divino amor. Cada momento vivido durante estos años, son simplemente únicos, he caído y me has sabido levantar. Gracias Dios por tu infinito amor y misericordia.

Agradezco a toda mi familia por sus consejos y su apoyo.

Omar Santiago Franco Rodríguez

Agradezco a Dios, a mis padres y a hermana por el apoyo incondicional, a mi compañero Omar Franco por su compromiso y dedicación de este trabajo.

Agradecimiento especial a nuestro orientador Álvaro Romero por su paciencia, dedicación y asesoramiento en el desarrollo del trabajo.

Agradezco a mis compañeros de trabajo en prácticas por ayudarme con su conocimiento aportando recursos y material para el desarrollo de este proyecto de grado.

Agradecimiento especial a mis amigos que con sus conocimientos y su apoyo me ayudaron a afrontar la carrera, por hacer de los días una gran anécdota que quedará siempre presente.

Agradezco a mi novia Mónica Padilla por darme su apoyo incondicional, paciencia y motivación para poder culminar mi carrera con éxito.

Willmer Andrés Pedraza Forero

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	18
1.GENERALIDADES	22
1.1 ANTECEDENTES	22
1.2 PROCESO DE TROQUELADO	22
1.2.1 Troquelado simple.	23
1.2.2 Troquelado compuesto.	23
1.2.3 Troquelado progresivo.	24
1.2.4 Circulación del aceite.	24
1.2.5 Lámina de troquelado.	26
1.2.6 Material contaminado.	28
1.3 ACEITES USADOS	28
1.3.1 Definición.	29
1.3.2 Historia.	30
1.3.3 Normatividad en colombia.	31
1.4 CARACTERISTICAS DEL ACEITE	31
2.SISTEMA DE FILTRADO	33
2.1 FILTRADO MANUAL	33
2.2 FILTRADO MECÁNICO	34
2.2.1 Filtro prensa.	35
2.2.2 Filtro por vacío.	35
2.2.3 Filtro centrifugo.	36
3.PARÁMETROS BÁSICOS DE DISEÑO	37
3.1 ANÁLISIS Y FUNCIONAMIENTO	37
3.1.1 Solución preliminar.	37
3.1.2 Diseño conceptual.	37
3.2 CONDICIONES DE DISEÑO	38
3.2.1 Cantidad de aceite filtrado.	38
3.2.2 Capacidad de trabajo.	39
3.2.3 Estructura.	39
3.2.4 Material particulado.	41
3.3 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO	41
4.ALTERNATIVAS DE DISEÑO	43
4.1 ALTERNATIVA 1	43
4.2 ALTERNATIVA 2	44
4.3 ALTERNATIVA 3	46
4.4 EVALUACIÓN DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	47



5.DISEÑO DETALLADO	49
5.1 BANDEJA PRE FILTRO	49
5.1.1 Dimensiones de la bandeja.	50
5.1.2 Viscosidad del aceite.	51
5.1.2.1 Tablas de viscosidad del aceite.	51
5.1.2.2 Estabilidad del aceite.	52
5.1.2.3 Flotabilidad del material particulado.	54
5.1.3 Fuerza debido al fluido en movimiento.	60
5.1.4 Geometría de la bandeja sección inferior.	63
5.1.4.1 Inclinación de la base.	64
5.1.4.2 Sistema de direccionamiento.	65
5.1.4.3 Capacidad máxima.	68
5.1.5 Geometría de la bandeja sección superior.	69
5.1.5.1 Selección de malla.	69
5.1.5.2 Soporte de malla.	74
5.1.5.2.1 Soldadura del perfil.	81
5.1.5.3 Compuerta.	83
5.1.6 Estructura.	83
5.1.6.1 Soldadura estructura.	88
5.1.6.2 Calculo cargas bandeja inferior.	90
5.2 SISTEMA DE FILTRADO.	94
5.2.1 Geometría de cámaras.	94
5.2.1.1 Cilindro de almacenamiento.	95
5.2.1.2 Selección de material.	96
5.2.1.3 Calculo se tanques sometidos a presión.	96
5.2.2 Selección de velas filtrantes.	99
5.2.2.1 Soporte de velas filtrantes.	102
5.2.3 Calculo de bomba.	106
5.2.3.1 Material de tubería.	107
5.2.3.2 Pérdidas de energía.	108
5.2.3.3 Potencia de la bomba.	119
5.2.4 Selección de la bomba.	121
5.2.4.1 Cavitación.	122
5.2.5 Corrección de variables en operación.	123
5.2.6 Fuerza de la bomba para arrastrar partículas.	127
5.2.7 Soporte de la bomba.	129
5.2.8 Carcasa de la máquina.	134
5.2.9 Cargas de la máquina.	135
5.2.10 Estructura soporte.	140
5.3 SISTEMA DE RETROLIMPIEZA	144
5.3.1 Cálculos sistemas de aire.	145
5.3.1.1 Potencia de compresor.	145
5.3.1.2 Selección de compresor.	147
5.3.2 Instrumentos.	147
5.3.2.1 Tuberías y accesorios.	151

5.4 SISTEMA DE REABASTECIMIENTO	151
6.SIMULACIÓN METODO ELEMENTOS FINITOS	153
6.1 ESTRUCTURA MODELADA.	153
6.2 CREACIÓN DE MALLA Y SIMULACIÓN.	154
6.3 REFINAMIENTO DE MALLA.	156
6.4 ANALISIS DE RESULTADOS	161
7.MANUALES	163
7.1 MANUAL DE INSTALACIÓN.	163
7.1.1 Subsistema de bandeja.	164
7.2 MANUAL DE OPERACIÓN.	170
7.2.1 Verificar visualmente si la bandeja contiene el aceite lubricante.	170
7.2.2 Encender el compresor.	170
7.2.3 Llenar el tanque de provisión.	170
7.2.4 Iniciar la operación de filtrado.	170
7.3 MANUAL DE MANTENIMIENTO.	171
7.3.1 Objetivo.	171
8.ESTUDIO IMPACTO AMBIENTAL	175
8.1 ANALISIS AMBIENTAL DE LA FABRICACION DE LA MÁQUINA	175
8.1.1 Impacto atmosférico.	175
8.1.2 Impacto auditivo.	175
8.2 IMPACTO AMBIENTAL	176
8.3 MATRIZ AMBIENTAL.	176
8.4 EVALUACIÓN DE IMPACTO.	178
8.5 MEDIDAS DE CONTROL	179
9.ESTUDIO FINANCIERO	180
9.1 COSTOS DE DISEÑO	180
9.1.1 Talento humano.	180
9.1.2 Costos computacionales.	180
9.1.3 Costos fungibles.	181
9.1.4 Otros costos.	181
9.1.5 Total costos de diseño.	182
9.2 COSTOS POR FABRICACION Y MONTAJE DE LA MÁQUINA	182
9.3 COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA.	183
10. CONCLUSIONES	185
11. RECOMENDACIONES	187
BIBLIOGRAFIA	188
ANEXOS	192

## LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Troquelado simple	23
Imagen 2. Troquelado compuesto	24
Imagen 3. Troquel progresivo	24
Imagen 4. Electrobomba	25
Imagen 5. Troqueladora SACMI PTC 027	26
Imagen 6. Bandeja recolectora	26
Imagen 7. PRY OFF Tipo corona	27
Imagen 8. TWIST OFF Tipo corona	27
Imagen 9. Tapa Tipo Pilfer	28
Imagen 10. Tapa Tipo Agrafe	28
Imagen 11. Compuestos contaminantes de los aceites usados	29
Imagen 12. Información de pruebas típicas	32
Imagen 13. Recolector manual de partículas	33
Imagen 14. Filtro prensa	35
Imagen 15. Filtro por vacío	35
Imagen 16. Filtro centrifugo	36
Imagen 17. Método caja negra bandeja separadora	39
Imagen 18. Método caja negra máquina para filtrado de aceite	40
Imagen 19. Estructura funcional de la máquina	40
Imagen 20. Retales de producción	41
Imagen 21. Etapas de filtrado y retrolimpieza	44
Imagen 22. Proceso de limpieza	45
Imagen 23. Partes del filtro auto limpiantes	45
Imagen 24. Limpieza de filtro-prensa	46
Imagen 25. Conjunto de sistemas	49
Imagen 26. Pre filtro bandeja	50
Imagen 27. Clasificación comparativa de viscosidad	51
Imagen 28. Flotabilidad del material	55
Imagen 29. Coeficiente de arrastre	62
Imagen 30. Bosquejo bandeja parte inferior	64
Imagen 31. Bandeja inclinación de la base	64
Imagen 32. Bandeja perfil frontal	66
Imagen 33. Bandeja direccionamiento superior	67
Imagen 34. Volumen bandeja filtradora	68
Imagen 35. Geometría bandeja parte superior	69
Imagen 36. Selección de malla por diámetro de filtrado	73
Imagen 37. Cuadro de medidas malla de separación	73
Imagen 38. Medidas y especificación perfil L	76
Imagen 39. Geometría del perfil de apoyo	76
Imagen 40. Perfil explicativo	77
Imagen 41. Compuerta para limpieza	83

Imagen 42. Estructura cuadrada	84
Imagen 43. Esquema perfil cuadrado	85
Imagen 44. Cargas sobre los perfiles	88
Imagen 45. Esquema de soldadura	90
Imagen 46. Esquema de cargas	90
Imagen 47. Fuerza distribuida en la bandeja	91
Imagen 48. Diagrama de cortante	92
Imagen 49. Diagrama de momentos.	92
Imagen 50. Cámaras de filtrado	95
Imagen 51. Cilindro sometido a presión interna y externa	97
Imagen 52. Distribución de esfuerzo en cilindro pared gruesa	98
Imagen 53. Conjunto elementos filtrantes bolfilter	99
Imagen 54. Dimensiones vela	100
Imagen 55. Vela filtrante	101
Imagen 56. Carné de identidad velas filtrantes	101
Imagen 57. Soporte velas filtrantes	102
Imagen 58. Dimensiones soporte individual	102
Imagen 59. Diagrama hidrodinámico	109
Imagen 60. Catalogo tuberías PVC	110
Imagen 61. Pérdidas de presión filtros	116
Imagen 62. Bomba de engranajes	121
Imagen 63. Datos bomba de engranajes	122
Imagen 64. Análisis de presión	127
Imagen 65. Junta atornillada para la bomba	129
Imagen 66. Dimensiones de las juntas	131
Imagen 67. Carcasa máquina filtradora	135
Imagen 68. Fuerza distribuida en el soporte de cámaras	138
Imagen 69. Diagrama cortante soporte	139
Imagen 70. Diagrama momentos soporte	139
Imagen 71. Características perfil cuadrado	141
Imagen 72. Esquema perfil cuadrado	142
Imagen 73. Presión y caudal de aire.	146
Imagen 74. Electroválvula uso general.	147
Imagen 75. Sensor de flotador	148
Imagen 76. Manómetro	148
Imagen 77. Unidad de mantenimiento	149
Imagen 78. Diagrama espacio fase del sistema	149
Imagen 79. Diagrama P&ID	150
Imagen 80. Plano electro neumático.	151
Imagen 81. Estructura máquina en 3D	153
Imagen 82. Esfuerzo de deformación malla 9 mm.	154
Imagen 83. Esfuerzo Von Mises sin promediar malla 9 mm	155
Imagen 84. Esfuerzo Von mises promediado malla 9 mm	155
Imagen 85. Esfuerzo de deformación malla 4,5 mm	156
Imagen 86. Esfuerzo Von Mises sin promediar malla 4,5 mm	157

Imagen 87. Esfuerzo Von mises promediado malla 4,5 mm	157
Imagen 88. Esfuerzo de deformación malla 2,25 mm.	158
Imagen 89. Esfuerzo Von Mises sin promediar malla 2,25 mm	158
Imagen 90. Esfuerzo Von mises promediado malla 2,25 mm	159
Imagen 91. Esfuerzo de deformación malla 1,125 mm.	159
Imagen 92. Esfuerzo Von Mises sin promediar malla 2,25 mm	160
Imagen 93. Esfuerzo Von mises promediado malla 2,25 mm	160
Imagen 94. Costos computacionales	161
Imagen 95. Convergencia de malla	162
Imagen 96. Sistema bandeja ensamble completo	164
Imagen 97. Acople a la bandeja	164
Imagen 98. Malla en bandeja	165
Imagen 99. Conexiones en tubería	165
Imagen 100. Conexiones en tubería	166
Imagen 101. Ensamble final de bandeja	166
Imagen 102. Ensamble filtros	167
Imagen 103. Unión filtro con tubería.	167
Imagen 104. Unión acople	168
Imagen 105. Salida filtro	168
Imagen 106. Ensamble final filtradora.	168
Imagen 107. Conexión a tanque de reabastecimiento	169
Imagen 108. Ensamble final	169
Imagen 109. Tablero de mando	170

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Parámetros y requerimientos de diseño	42
Tabla 2. Alternativa materiales	50
Tabla 3. Estándares de viscosidad Rando HD 32 ASTM D2270	52
Tabla 4. Estándares de viscosidad Rando HD 46 ASTM D2270	53
Tabla 5. Estándares de viscosidad Rando HD 68 ASTM D2270	54
Tabla 6. Diseño radio mínimo de giro	77
Tabla 7. Radio mínimo de giro perfil cuadrado	85
Tabla 8. Esfuerzos cortantes y fuerzas sobre soldaduras	89
Tabla 9. Selección de material	96
Tabla 10. Material de tubería.	108
Tabla 11. Factor de fricción	113
Tabla 12. Longitud equivalente	114
Tabla 13. Esfuerzos admisibles para tornillos	133
Tabla 14. Radio mínimo de giro perfil cuadrado	142
Tabla 15. Análisis método elementos finitos	161
Tabla 16. Impacto ambiental	176
Tabla 17. Regularidad de impacto ambiental	177
Tabla 18. Matriz ambiental	177
Tabla 19. Criterios de valoración	178
Tabla 20. Evaluación de impacto	179
Tabla 21. Medidas de control	179
Tabla 22. Costos por talento humano	180
Tabla 23. Costos computacionales	180
Tabla 24. Costos fungibles	181
Tabla 25. Otros costos	181
Tabla 26. Costos de diseño	182
Tabla 27. Costos de fabricación máquina.	183
Tabla 28. Costo total de la máquina	184

## LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Especificación diseño de la máquina	38
Cuadro 2. Datos de operación troqueladoras	42
Cuadro 3. Evaluación cualitativa	47
Cuadro 4. Evaluación porcentual	48
Cuadro 5. Características velas filtrantes	100
Cuadro 6. Implementos de seguridad	163
Cuadro 7. Manual de mantenimiento	172

## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Índice de viscosidad del aceite	52
Ecuación 2. Cálculos geométricos	55
Ecuación 3. Gravedad	56
Ecuación 4. Diagrama cuerpo libre	57
Ecuación 5. Fuerza de empuje	57
Ecuación 6. Peso específico	58
Ecuación 7. Fuerza de arrastre	60
Ecuación 8. Numero de Reynolds	61
Ecuación 9. Densidad	63
Ecuación 10. Geometría y Trigonometría	65
Ecuación 11. Hipotenusa de la geometría	66
Ecuación 12. Volumen de un prisma	68
Ecuación 13. Gravedad específica en términos de densidades	70
Ecuación 14. Carga mayorada	74
Ecuación 15. Resistencia de diseño	75
Ecuación 16. Área gross	75
Ecuación 17. Momento de inercia	78
Ecuación 18. Datos X y Y	78
Ecuación 19. Radio mínimo de giro	80
Ecuación 20. Análisis de esbeltez	80
Ecuación 21. Soldadura en L	81
Ecuación 22. Fuerza de compresión	82
Ecuación 23. Fuerza puntual	91
Ecuación 24. Factor de seguridad	92
Ecuación 25. Esfuerzo admisible	93
Ecuación 26. Inercia del perfil	94
Ecuación 27. Volumen de un cilindro	95
Ecuación 28. Esfuerzo tangencial	97
Ecuación 29. Esfuerzo radial	97
Ecuación 30. Esfuerzo longitudinal	99
Ecuación 31. Masa de un elemento	103
Ecuación 32. Fuerza del elemento	103
Ecuación 33. Caudal del fluido	107
Ecuación 34. Energía Total	109
Ecuación 35. Caudal términos de área y velocidad	110
Ecuación 36. Área de un círculo	110
Ecuación 37. Numero de Reynolds	111
Ecuación 38. Factor de fricción	112
Ecuación 39. Pérdidas por fricción en línea de succión	112
Ecuación 40. Pérdidas en la entrada	113
Ecuación 41. Pérdida válvula de bola	114



Ecuación 42. Pérdidas electroválvula	115
Ecuación 43. Pérdida en codos	115
Ecuación 44. Pérdida en T	116
Ecuación 45. Pérdida válvula de retorno	117
Ecuación 46. Potencia de la bomba	119
Ecuación 47. potencia de la bomba en términos de caudal	120
Ecuación 48. Potencia de entrada de la bomba	120
Ecuación 49. Presión	128
Ecuación 50. Carga por perno	130
Ecuación 51. Momento en los pernos	130
Ecuación 52. Distancia radial	131
Ecuación 53. Suma de los cuadrados	131
Ecuación 54. Fuerza para resistir el momento flector	132
Ecuación 55. fuerzas actuantes en los ejes x y y	132
Ecuación 56. Geometría y Trigonometría	133
Ecuación 57. Área requerida	134
Ecuación 58. Relación de compresión	145
Ecuación 59. Potencia del compresor	146
Ecuación 60. Potencia del motor según compresor	146

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Calibre acero inoxidable	192
Anexo B. Medidas malla tejida en acero inoxidable	194
Anexo C. Dimensiones perfil en L	195
Anexo D. Radio minimo de soldadura	196
Anexo E. Caracteristicas velas filtrantes	197
Anexo F. Coeficiente de pérdidas segun la entrada	200
Anexo G. Caracteristicas bomba de engranajes	201
Anexo H. Caracteristicas aceite lubricante rando hd	202
Anexo I. Especificaciones pernos pulgadas norma sae	203
Anexo J. Diagrama p&id	204
Anexo K. Plano ubicación en una bodega	205
Anexo L. Plano ubicación en la troqueladora	206
Anexo M. Cotizacion aceite rando hd 32	207
Anexo N. Planos	208

## RESUMEN

En este proyecto se realizó el diseño de una máquina de filtrado para aceite lubricante contaminado para las troqueladoras de tapa tipo corona, donde se buscaba mejorar, actualizar el proceso de filtración y suministro de aceite Rando HD. Con el fin de plantear alternativas de diseño para el funcionamiento del sistema, se analizó el proceso manual actual de filtrado y recolección de aceite lubricante. A su vez, se realizó una evaluación con porcentajes de rendimiento para seleccionar la alternativa de diseño.

Con el propósito de seleccionar las piezas correctas para la máquina de filtrado, se hizo un análisis mediante el Método de Elementos Finitos (MEF) apoyado del software NX, que permitió identificar los esfuerzos a los que se ve implicada la estructura de la máquina. Los cálculos obtenidos ayudaron a seleccionar algunas variables como el tipo de material, dimensiones, estructura, capacidad y sistema de retrolimpieza; aspectos útiles para poder realizar, los manuales, planos de instalación, operación y mantenimiento, impacto ambiental y viabilidad financiera.

Se analizó el proceso manual actual de filtrado y recolección de aceite lubricante, posteriormente se plantearon alternativas de diseño para el funcionamiento del sistema, se evaluaron con porcentajes dependiendo de la importancia y se seleccionó la más satisfactoria para la necesidad requerida en el diseño.

Palabras clave: Diseño velas filtrantes; máquina de filtrado; aceite contaminado.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente las troqueladoras utilizan aceite lubricante para su operación con el propósito de disminuir el desgaste, evitar la corrosión y controlar la temperatura. El problema se *origina* en la reutilización de aceite lubricante contaminado, ya que el sistema de filtrado actual es manual y carece de un mecanismo para realizar el proceso en corto tiempo.

El diseño de una máquina filtradora será un equipo que no solo disminuirá el tiempo de filtrado de aceite lubricante contaminado, sino que también busca *aumentar* la vida útil de las troqueladoras eliminando el filtrado manual.

El *objetivo* general está centrado en diseñar una máquina para el filtrado de aceite lubricante contaminado, para troqueladoras de tapa tipo corona, cumpliendo con los requerimientos establecidos por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial bajo el Decreto 4741 del 30 de septiembre de 2005 que regula el manejo de aceites usados.

Para lograr este objetivo se requiere cumplir los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Diagnosticar la situación actual del proceso de filtrado de aceite lubricante
- ✓ Establecer los parámetros básicos y requerimientos funcionales de un sistema de filtrado
- ✓ Evaluar alternativas de retrolimpieza
- ✓ Desarrollar el diseño detallado de la máquina
- ✓ Analizar la estructura de la máquina por el Método de Elementos Finitos (MEF)
- ✓ Elaborar planos de ubicación, fabricación y ensamble
- ✓ Elaborar los manuales de montaje, operación y mantenimiento
- ✓ Evaluar el impacto ambiental en la fabricación de la máquina
- ✓ Realizar la evaluación financiera

El *alcance* de este proyecto es realizar el diseño de una máquina para el filtrado de aceite lubricante contaminado, teniendo en cuenta los esfuerzos críticos en la estructura de la máquina y analizando los resultados por el Método de Elementos finitos (MEF), mirando así la capacidad de la máquina con la que va a operar a su nivel máximo de eficiencia.

Dentro de los parámetros que componen la configuración del proyecto, se establecen los siguientes requerimientos por los cuales se podrá referenciar el diseño más adecuado para la necesidad anteriormente planteada, basado en dimensiones, tiempos y funcionalidad. Una vez dicho esto, la máquina contará con las siguientes *limitaciones*:

1. La cantidad de aceite filtrado será de 7 litros en un tiempo máximo de una hora.
2. El mantenimiento de la bandeja donde se deposita el aceite contaminado deberá limpiarse manualmente para no generar gran acumulación de material particulado.
3. El mecanismo de filtrado el cual tendrá las siguientes dimensiones (50cmX50cmX50cm).
4. El aceite lubricante que se considerara en el sistema de filtrado es el Rando HD, por ser el más utilizado comercialmente.

Vale aclarar que, la ejecución del proyecto contará con el diseño y no con la fabricación del mismo.

Todo proyecto de ingeniería implica el desarrollo y aplicación de una *metodología* (investigación de antecedentes y estimación de resultados a través de cálculos de ingeniería), consiste en unos pasos a seguir y que optimicen el proceso de filtrado, para así escoger la mejor alternativa de diseño y contemple el desarrollo correcto de una máquina filtradora de aceite lubricante (mayor capacidad y mejor manejo de los aceites usados).

Al mejorar las condiciones de filtrado, las industrias de troquelado obtendrán una optimización en su operación revertida en la agilización de los procesos, disminución de costos y apropiación adecuada de la tecnología.

Este proyecto hace énfasis en mejorar el filtrado del aceite lubricante contaminado en aquellas empresas que trabajen con troqueladoras tipo corona, compañías que hacen reutilización constante de dicho aceite y empresas de fabricación de filtradoras.

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 ANTECEDENTES

Las troqueladoras son máquinas usadas hace más de 150 años para realizar trabajos de corte rápido en una forma determinada por el diseñador, han evolucionado con respecto al tiempo, pues en sus inicios fueron máquinas manuales que servían para realizar cortes de piezas sencillas. Con el paso del tiempo, se han logrado crear nuevas máquinas y herramientas que sirven para procesos mecánicos donde se abandona la manufactura y se impone la automatización. Las troqueladoras comúnmente utilizadas para la obtención de figuras metálicas a partir de láminas, las cuales están compuestas por una serie de mecanismos que requieren estar lubricados<sup>1</sup>.

Algunas de las empresas que utilizan troqueladoras para sus procesos no reciclan el aceite, mientras que otras tienen una máquina filtradora por placas de acción manual. El aceite lubricante contaminado se dispone para ser reutilizado; los pasos a seguir para la obtención de aceite filtrado se hacen de forma manual siguiendo los siguientes pasos: El operario recolecta el aceite en recipientes luego lo lleva a la máquina de filtrado, una vez filtrado el aceite se vierte en el tanque de la troqueladora para realizar nuevamente el proceso de producción.

*Diseño de máquina filtradora de lodos residuales de plantas de tratamiento para la empresa Venturoso S.A*<sup>2</sup> es la tesis de ingeniería mecánica realizada por Leonardo Andrey Robayo Garzón y Edwin Mauricio Rodríguez Camargo en 2009. Donde de acuerdo con los cálculos y selección de componentes del capítulo de ingeniería del proyecto, se considera adecuado y apto para ser aplicado, pues genera mayor rentabilidad, evitando gastos por incumplimiento de las regulaciones legales.

Es importante solucionar el problema del riego de aceite lubricante en las troqueladoras porque evita la contaminación del medio ambiente y la pérdida de recurso financieros importantes para el desarrollo de la empresa.

### 1.2 PROCESO DE TROQUELADO

Se le llama troquel a la herramienta que va montada a una prensa hidráulica que permite elaborar diversas operaciones en láminas metálicas, tales como el corte de cizalla, corte sobrante, doblado, picado, perforado, estampado, embutido y marcado.

---

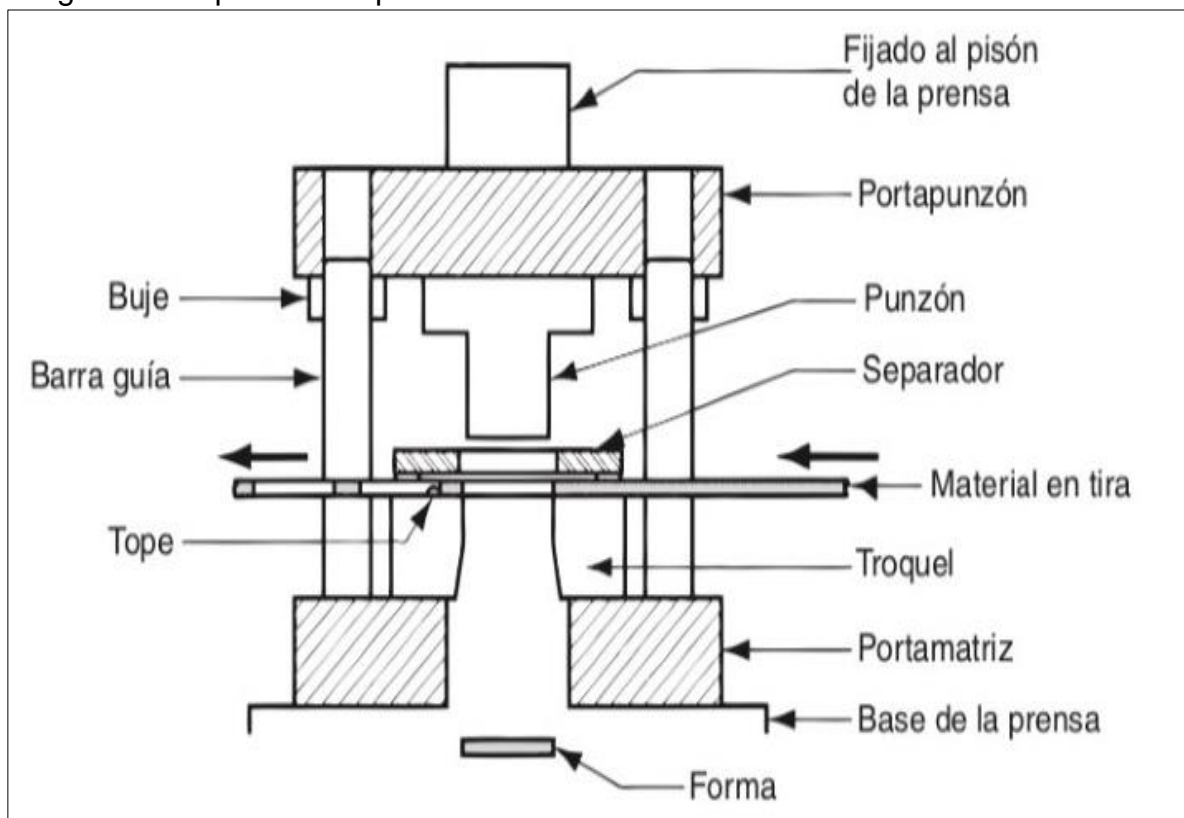
<sup>1</sup> LÓPEZ, Tomás. Troquelado y Estampación, 4 ed. Barcelona.: Gustavo Gil, 1969. 350 p.

<sup>2</sup> ROBAYO, Leonardo Andrey y RODRIGUEZ, Edwin Mauricio. Diseño de una máquina filtradora de lodos residuales de planta de tratamiento para la empresa Venturoso S.A. Trabajo de grado. Ingeniería Mecánica. Bogota D.C.: Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías. Programa Ingeniería Mecánica, 2009. Pag 281.

Los elementos de un troquel son el corta-punzón, punzón, piloto, botadores, guía, matriz, boquillas, postes, tasa, elevadores, placas paralelas, bujes, entre otros, donde lo más importante para el funcionamiento de una troqueladora es el correcto dimensionamiento del punzón y la matriz, aspecto del cual depende la fuerza de cizallamiento durante el troquelado. Una vez el punzón penetra el material este sufre esfuerzos que rápidamente superan el límite elástico produciendo una ruptura y desprendimiento del material. Existen tres tipos de troqueles<sup>3</sup>.

1.2.1 Troquelado simple. Este sirve solamente para realizar una operación y es utilizado para producir tapas con una geometría compleja. (ver Imagen 1).

Imagen 1. Troquelado simple



Fuente: elaboración propia con base en. MIKELL Groover, Fundamentos de manufactura moderna. 3 ed. México: Mc Graw Hill, 2007 [Citado 23 Octubre de 2018]. Octubre 2018.

1.2.2 Troquelado compuesto. Estas herramientas permiten aprovechar la fuerza ejercida por el ariete realizando dos o más operaciones en cada golpe y agilizando así el proceso. (ver Imagen 2).

<sup>3</sup> CENSA INDUSTRIAL. Tipos de troqueles. México. 2018. [En línea]. Recuperado en: 10 de octubre 2018 Disponible en: <https://censaindustrial.com/tipos-de-troqueles/>

Imagen 2. Troquelado compuesto



Fuente: ACE. Troqueles compuestos. [en línea]. [Citado 23 Octubre de 2018]. Disponible en: <http://www.cestamping.com/es/progressive-compound-dies.html>

1.2.3 Troquelado progresivo. Constan de diferentes etapas o pasos y en cada uno de ellos modifica el material en una determinada secuencia de tal manera que al final se llega a una pieza terminada. (ver Imagen 3).

Imagen 3. Troquel progresivo

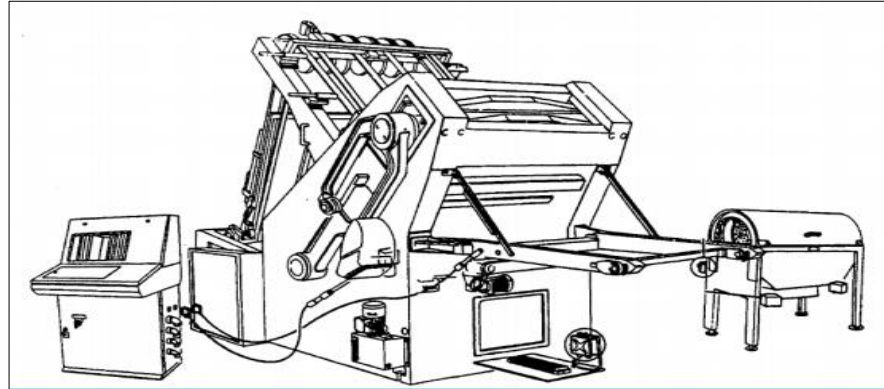


Fuente: ACE. Troqueles compuestos. [en línea]. [Citado 23 Octubre de 2018]. Disponible en: <http://www.cestamping.com/es/progressive-compound-dies.html>





Imagen 5. Troqueladora SACMI PTC 027



Fuente: Manual de instalación troqueladora SACMI PTC 027

Este aceite, después de realizar su proceso de lubricación es depositado en una bandeja que está ubicada en la parte inferior de la máquina, fluido que cae por gravedad en este sitio.

Imagen 6. Bandeja recolectora



Fuente: elaboración propia

1.2.5 Lámina de troquelado. En la industria metálica existen diferentes tipos de tapas entre las cuales están las “Agrafe”, “Pilfer” y “Corona”, piezas que se producen industrialmente para sellar productos como envases de medicamentos, envases de bebidas y productos cosméticos. Se fabrican dependiendo del diseño de las tapas y los procesos dependen del tipo de material a emplear. Por ejemplo las tapas “Agrafe” y “Pilfer”<sup>4</sup> se fabrican con láminas de aluminio y las tipo “Corona” con lamina de acero cromado, estas últimas deben tener un material que evite la corrosión, pues se trata de envases de alimentos y bebidas que deben ser inocuas, este producto debe contar con procesos de troquelado progresivo dado que las tapas tienen un cierre “Twist off” y “Pry off” los cuales son complejos de realizar. Estas tapas se pueden ver de la Imagen 7 a la 10.

Las láminas que se utilizan en este sistema tienen dimensiones de (1090mmx1140mm) con un calibre 29(0,34mm).

<sup>4</sup> IBERPLAST. Productos de troquelado. Colombia. 2015.[En línea]. Disponible en: <http://www.iberplast.com.co/>

Imagen 7. PRY OFF Tipo corona



Fuente: IBERPLAST. Tapas tipo Corona cierre twist off. [en línea]. [Citado 17 Diciembre de 2018]. Disponible en: <http://www.iberplast.com.co/division-metalica/tapa-corona>

Imagen 8. TWIST OFF Tipo corona



Fuente: IBERPLAST. Tapas tipo Corona cierre pry off. [en línea], [Citado 17 Diciembre de 2018] Disponible en: <http://www.iberplast.com.co/division-metalica/tapa-corona>

Imagen 9. Tapa Tipo Pilfer



Fuente: IBERPLAST. Tapas tipo Pilfer. [en línea]. [Citado 17 Diciembre de 2018]. Disponible en: <http://www.iberplast.com.co/division-metalica/tapa-pilfer>

Imagen 10. Tapa Tipo Agrafe



Fuente: IBERPLAST. Tapas tipo Agrafe. [en línea], [Citado 17 Diciembre de 2018]. Disponible en: <http://www.iberplast.com.co/division-metalica/tapa-agrafe>

1.2.6 Material contaminado. Durante el troquelado (corte de cizalla) existen cortes imperfectos que ocasionan viruta o desperdicios, dichas partículas de material se alojan en la bandeja de almacenamiento de aceite lubricante contaminado, dicho material (acero cromado) queda acumulado junto al aceite.

### 1.3 ACEITES USADOS

En la industria de troquelado existen aceites lubricantes que tienen como función garantizar la vida útil de los elementos de las máquinas, durante el proceso de elaboración de tapas tipo Corona se utilizan aceites Rando HD para cumplir con esta función. Estos aceites lubricantes, al ser utilizados por primera vez y al finalizar

el proceso de lubricación, se convierten en aceites usados los cuales deben tener un manejo diferente para su reutilización.

Los aceites usados en Colombia están regidos bajo normas y leyes que deben tenerse en cuenta antes del desarrollo de un proyecto, pues se trata del manejo de sustancias peligrosas<sup>5</sup>.

1.3.1 Definición. Los aceites usados en la operación de las troqueladoras son aquellos lubricantes a base de componentes mineral o sintéticos<sup>6</sup>, según la legislación europea. minerales que hayan sido usados y por lo tanto se han contaminado con otro material que no está en las propiedades del aceite. Entre sus contaminantes más comunes están las partículas metálicas producidas por el desgaste de las piezas en movimiento.

Los aceites usados son considerados residuos peligrosos ambientalmente, los de motor tienen un potencial de alta peligrosidad. Es por eso por lo que el contacto de este material con el agua implica una contaminación ambiental de gran magnitud, así mismo tienen un impacto sobre la salud de las personas ya que contienen plomo e hidrocarburos que producen graves enfermedades. El aceite, por el simple hecho de ser un material altamente contaminante requiere de niveles de seguridad para su reutilización. Este procedimiento hay que realizarlo de la forma más adecuada, para evitar graves problemas al ambiente y a la salud de las personas.

Imagen 11. Compuestos contaminantes de 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: DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE DE COMISIONES OBRERAS OBSERVATORIO DE MEDIO AMBIENTE DE ARAGON. Guía para la reducción del impacto ambiental de los aceites industriales usados. España, 2007. [en línea], [Citado 17 Diciembre de 2018]. Disponible en: <http://www.istas.ccoo.es/descargas/Gu%C3%ADa%20para%20la%20reducci%C3%B3n%20del%20impacto%20ambiental%20de%20los%20aceites%20usados.pdf>

<sup>5</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 1.446 (13, marzo, 2005). Por la cual se establece las actividades y procedimientos para el desarrollo y las acciones de prevención de aceites contaminados. Bogotá.D.C.: El ministerio, 2005. Pag 3.

<sup>6</sup> CEMPRE. Aceites usados. Uruguay. 2018. [En línea]. Disponible en: [http://www.cempre.org.uy/index.php?option=com\\_content&id=79&Itemid=97](http://www.cempre.org.uy/index.php?option=com_content&id=79&Itemid=97)

1.3.2 Historia. El manejo de los aceites usados se comenzó en Europa entre 1940 y 1950, periodo donde existió un monopolio manejado por las empresas petroleras del momento. En el caso de España esto se vio afectado por la gran demanda y poca oferta por parte de este sector dado que solo existía las refinerías de Tenerife (1.929) y Cartagena (1.949)<sup>7</sup>, lo que obligó a las empresas a reutilizar los aceites y en caso de no poder hacerlo, entregarlos a la Compañía Arrendataria del Monopolio de Petróleos Sociedad Anónima.

Para la década de 1960 la demanda de estos aceites creció debido a que las empresas comienzan a usar maquinaria para los procesos de fabricación, al tiempo que se instalan nuevas refinerías continuando con la reutilización.

Como consecuencia de la promulgación de la ley 20/1.986<sup>8</sup> entre los años 1.986 y 1.989 aumenta la producción de aceites nuevos lo cual perjudicó a las empresas de regeneración, considerando a esta sustancia como peligrosa y logrando que la reutilización de aceites usados sea una práctica ilegal. Esto generó que se cerraran las empresas de regeneración y se acumularan miles de galones de aceite ocasionando un impacto ambiental grande.

En la actualidad existen normas y regulaciones donde establecen que esta actividad se realice con responsabilidad para beneficio del medio ambiente. Así mismo, la reutilización de los aceites es importante para reducir el impacto ambiental en la producción de aceites nuevos.

En Colombia, el manejo de los aceites usados se regula por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; por medio del (Decreto 4741 de 2.005)<sup>9</sup> se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos. Las empresas en Colombia están buscando en la actualidad minimizar costos reutilizando el aceite. Además, se cuenta con el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos/ RESPEL, esta herramienta contribuye a mejorar el conocimiento de la problemática asociada a este tipo de residuos, la planificación de su gestión y el establecimiento de prioridades para la definición de acciones que contribuyan con la solución de esta problemática.

---

<sup>7</sup> Historia aceites usados. España. 2016, Sigaus. [En línea]. Disponible en: <http://www.observatoriodelaceiteusado.sigaus.es/aceite-usado/historia.php>

<sup>8</sup> REPSOL. Origen de CAMPSA. España. 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.repsol.com/es/conocenos/historia/origenes/index.cshtml>

<sup>9</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 4741 (30, septiembre ,2.005). Por la cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligros. Bogotá.D.C.: El ministerio, 2.005

1.3.3 Normatividad en Colombia. La resolución 1446 del 5 de octubre de 2005, expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, se establecieron los casos en los cuales se permite la combustión de los aceites considerados de desecho, (todo lubricante de motor, de transmisión o hidráulico con base mineral o sintética que por su utilización se halla vuelto inadecuado para el uso asignado inicialmente<sup>10</sup>), además los procedimientos y condiciones técnicas para la realización del mismo

Además, la resolución 1188 del 1 de Septiembre de 2003 expedido por el Departamento Administrativo de Medio Ambiente, (DAMA), define los procedimientos de obligatorio cumplimiento para el manejo ambientalmente adecuado de aceites usados por parte de personas naturales y/o jurídicas que generen, acopien, movilicen o dispongan para unificar criterios de evaluación y seguimiento ambiental, reducir los riesgos al medio ambiente y a la salud humana por medio del manual de normas y procedimientos para la gestión de aceites usados.<sup>11</sup>

#### 1.4 CARACTERISTICAS DEL ACEITE

Los aceites Rando HD tienen una tecnología que brinda protección a los sistemas móviles gracias a sus bases Premium, estos aceites son los más utilizados en la industria por sus excelentes propiedades, proporcionando una larga vida a los equipos, tiempo de inactividad minimizado, operación suave y un servicio óptimo que redunde en la calidad del aceite<sup>12</sup>. La mezcla contiene un aditivo anti desgaste, muy útil porque evita fallas en el sistema. Su efectivo sistema inhibidor de corrosión impide la concentración de partículas metálicas que producen el colapso de la máquina. Sus propiedades anti espuma y de liberación de aire aseguran una operación suave y eficiente del sistema.

Las características de estos aceites dependen de la aplicación, se clasifican en tres grupos: Los ISO 10 y 20 que son utilizados para la lubricación de ejes; los ISO 32, 46 o 48 usados para bombas de pistón, engranajes y además para operaciones donde la presión supere 1000 psi; y por último los ISO 100, 150, 220 o 320 que se usan en aplicaciones que emplean aceites AGMA inhibidos contra herrumbre y oxidación. Este es un producto certificado por el NSF (Nonfood Compounds Registration Program), este aceite no debe incluirse en operaciones donde existan alimentos ya que es un aceite altamente contaminante. De igual manera, posee un punto de inflamabilidad alto por lo que es pertinente evitar el contacto con materiales que produzcan chispa.

---

<sup>10</sup> MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Op.cit p.3.

<sup>11</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 1.188 (01, septiembre, 2.003). Por la cual se adopta el manual de normas y procedimientos para la gestión de aceites usados en el Distrito Capital. Registro Distrital 2.943 de septiembre 9 de 2003. Pág. 11.

<sup>12</sup> RANDO HD, Texaco. Características y manejo de aceites, 15 marzo 2.011.



En la imagen 12 se ve cómo funciona la clasificación de los aceites, este producto depende de su grado ISO, siendo el de mayor número el que mejores características posee. Se trata de un producto demasiado inflamable y tóxico por lo cual se debe evitar el contacto con alimentos y bebidas. Es de riesgo alto para el personal que lo manipula ya que es un aceite que ocasiona heridas graves al contacto con el operario.

Imagen 12. Información de pruebas típicas

<b>Grado ISO</b>	<b>10</b>	<b>22</b>	<b>32</b>	<b>46</b>	<b>68</b>
<b>Número de Producto</b>	<b>273252</b>	<b>273276</b>	<b>273277</b>	<b>273278</b>	<b>273279</b>
<b>Número MSDS</b>					
<b>USA</b>	<b>24837</b>	<b>23548</b>	<b>23556</b>	<b>23556</b>	<b>23556</b>
<b>Colombia</b>	—	—	<b>33476</b>	<b>33476</b>	<b>33476</b>
<b>El Salvador</b>	—	—	<b>33477</b>	<b>33477</b>	<b>33477</b>
Grado AGMA	—	—	—	1	2
Gravedad API	27,7	33,7	32,6	31,8	31,6
Viscosidad, Cinemática					
cSt a 40°C	10,3	23,1	30,4	43,7	64,6
cSt a 100°C	2,5	4,4	5,2	6,5	8,4
Viscosidad, Saybolt					
SUS a 100°F	63	120	157	225	334
SUS a 210°F	35	41	44	48	54
Índice de Viscosidad	48	98	99	97	98
Punto Inflamación, °C(°F)	154(309)	177(351)	220(428)	226(439)	235(455)
Punto Escurrimiento, °C(°F)	-39(-38)	-36(-33)	-33(-27)	-30(-22)	-30(-22)
Estabilidad a la Oxidación					
Horas a 2,0 mg KOH/g número ácido, ASTM D943	—	—	>5000	>5000	>5000

Fuente: CONAUTO, Aceite Rando HD 32-46-68 [en línea]. [Citado 9 Enero de 2019]., Disponible en: [http://www.conauto.com.ec/wp-content/uploads/2008/11/rando\\_hd\\_32\\_46\\_68](http://www.conauto.com.ec/wp-content/uploads/2008/11/rando_hd_32_46_68)



## 2. SISTEMA DE FILTRADO

Con el fin de diagnosticar el sistema actual de filtrado se investigaron los procedimientos realizados actualmente en la empresa y algunos equipos de filtrado en la industria.

### 2.1 FILTRADO MANUAL

La filtración se puede definir como “el proceso de recolección de partículas sólidas de un fluido al pasar a través de un medio de filtro (que podría ser un filtro Pantalla o un elemento de papel) donde se retienen las partículas”. Para el filtrado manual es necesario llevar a cabo los procedimientos por medio de un personal que haya sido previamente capacitado en la imagen 13 se evidencia la recolección del aceite.

En el desarrollo de las labores de los técnicos, se tiene la tarea impuesta de hacer la debida recolección de aceite depositado en los recipientes. Al momento de realizar el estudio, se tomaron tiempos equivalentes entre 1:30:00 y 2:00:00 horas realizando estos pasos:

Paso 1: Parar en su totalidad la máquina para poder hacer el aseo correspondiente (1:00min a 4:00 min).

Paso 2: Sacar la bandeja del interior de la máquina con el mayor cuidado para evitar el menor desperdicio de aceite (4:00 min a 6:00 min).

Paso 3: Sacar el material contaminado de la bandeja (6:00min a 15:00 min)

Nota: en este paso los técnicos sufren leves cortaduras o punzones pues la máquina despiden virutas que causan dichos accidentes leves.

Paso 4: Con ayuda de un recogedor se retira el aceite para ser llevado en canecas (7:00min a 17:00 min).

Imagen 13. Recolector manual de partículas



Fuente: elaboración propia

En estos 4 primeros pasos se realiza el filtrado manual retirando el material particulado el cual es cuantioso. El aceite filtrado se recolecta en canecas para posteriormente ser llevado a un equipo de filtrado viejo y de baja confiabilidad.

## 2.2 FILTRADO MECÁNICO

Consiste en un proceso de separación de una mezcla entre fluido y sólidos inmersos. Tal mezcla se hace pasar a través de un medio poroso o filtro con el objetivo de retener los sólidos inmersos en ella, y así extender la vida útil de los fluidos. Es allí donde los filtros de aceite se encargan de eliminar, de manera rápida, el material particulado, obteniendo un aceite limpio. En la industria, el sistema mecánico es uno de los más utilizados ya que es el más eficiente para la separación de partículas. En el sistema actual de filtrado se continúa con los siguientes 10 pasos para obtener un aceite filtrado y reutilizable para las troqueladoras SACMI PTC 027 (Imagen 5).

Paso 5: Recoger las canecas y material contaminado para llevarlo con ayuda de un estibador (1:00min a 2:00 min).

Paso 6: Llevar el aceite y tapas contaminadas (15:00min a 20:00 min).

Paso 7: Botar el material contaminado y realizar el filtrado de aceite (20:00min a 30:00 min).

Paso 8: Volver con el aceite filtrado a la máquina que se le está haciendo el debido mantenimiento (15:00min a 20:00 min).

Pasó 9: Llenar el tanque de la máquina con aceite filtrado (5:00min a 8:00min).

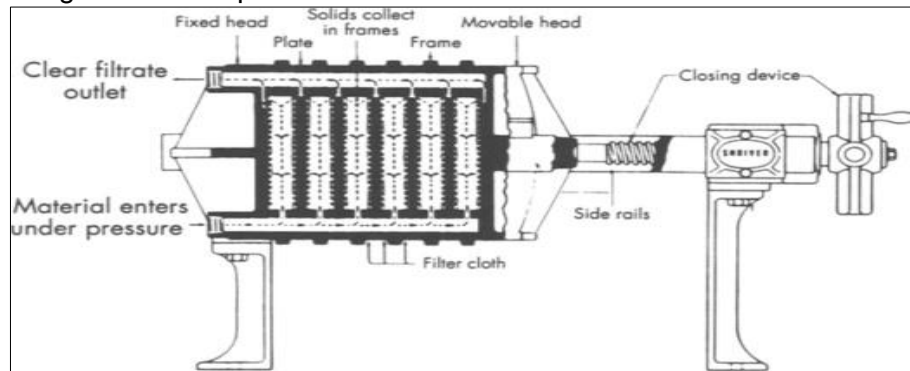
Paso 10: Guardar la bandeja y realizar la limpieza a los alrededores de la máquina (6:00 y 9:00 min).

Para la filtración mecánica en la actualidad se utilizan diferentes métodos de separación entre los más importantes están el filtro prensa, filtro por vacío y filtrado centrifugo, cada uno de estos procesos presenta una desventaja, tanto en sus dimensiones como costos, además de la limpieza y mantenimiento de estos elementos requiere de personal disponible de forma constante, aspecto que redundaría en sobrecostos en el mantenimiento.

2.2.1 Filtro prensa. Es un separador de líquidos y sólidos a través de filtración por presión. Utiliza un método simple y confiable para lograr una alta compactación. Es capaz de comprimir y deshidratar sólidos hasta extraer entre un 25% hasta un 60% por peso de los fluidos compactados.

Las placas filtrantes desmontables están hechas de polipropileno, y las mallas pueden ser selladas, no selladas o membranas de alta resistencia. Cuenta con un sistema hidráulico-neumático que puede ser automático o semiautomático. (ver Imagen 14)

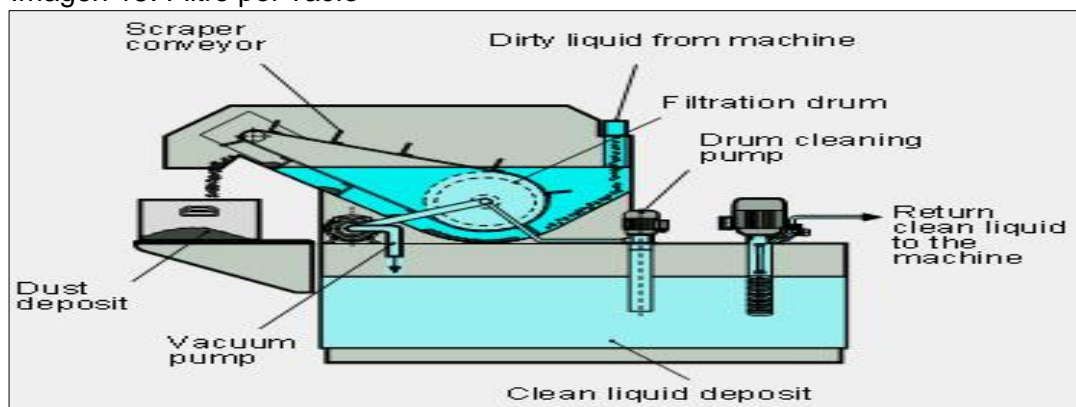
Imagen 14. Filtro prensa



Fuente: PEIRCE Jeffrey, Environmental pollution and control. 4 ed. 1998 [Citado 23 Octubre de 2018]. Modificado por los autores, Octubre 2018 Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/dewatering>.

2.2.2 Filtro por vacío. La filtración a presión reducida, también llamada “filtración a vacío” es una técnica instrumental utilizada para separar un sólido de un líquido o de una disolución. Este tipo de filtración se utiliza cuando el sólido es requerido o cuando la filtración por gravedad se ralentiza. El material necesario para llevar a cabo la filtración a vacío es una viola, una placa filtrante o un Büchner, manchones, papel de filtro y una fuente de vacío (una bomba de membrana). Este método de filtración se usa comúnmente en empresas con capacidad financiera alta ya que son equipos de alto costo, además esta forma de filtrado tiene un sistema de transporte muy pesado, lo cual impide la movilidad del equipo. (ver Imagen 15).

Imagen 15. Filtro por vacío



Fuente: ALTEYCO, Filtro de vacío rotativo (IRP) [en línea]. [Citado 12 Enero de 2019]. Disponible en: <http://www.alteyco.com/industrial-filters/rotary-vacuum-filter>.

2.2.3 Filtro Centrifugo. Es un método que separa los sólidos de los líquidos de diferente densidad mediante la acción de un motor que ejerce una gran fuerza centrífuga. Durante la acción se logran movilizar el aceite y las partículas sólidas hacia el papel filtro, provocando la sedimentación de los sólidos o las partículas más densas. (ver Imagen 16).

Imagen 16. Filtro centrifugo



Fuente: KRONE, FILTROS-centrifugos-Mann. [en línea]. [Citado 12 Enero de 2019]. Disponible en: <https://www.krone-filter.de/assets/files/datasheet-espanol/Filtros-centrifugos-Mann-Hummel.pdf>

### 3. PARÁMETROS BÁSICOS DE DISEÑO

Respecto a los parámetros básicos de diseño de una máquina filtradora de aceite lubricante, se debe tener en cuenta que la principal necesidad es disponer de una mejor forma de filtrado. En la industria se cuenta con procesos de filtrado manuales que son poco eficientes y crean una gran pérdida de materia prima; como se evidencio en los datos obtenidos de la empresa Iberplast, es por eso que se ha optado por realizar un diseño que ayude a mejorar el principio fundamental cumpliendo así con la demanda de aceite filtrado.

La máquina se debe diseñar, de tal manera que su operación sea optima como su mantenimiento. Se busca que el personal encargado de la operación tenga la mínima interacción con la máquina, así mismo evitar daños por mal uso y malos procedimientos a la hora de realizar el mantenimiento. Se estima un programa de mantenimiento preventivo y periódico de cada uno de los componentes de la máquina para prolongar su vida útil.

#### 3.1 ANÁLISIS Y FUNCIONAMIENTO

El aceite que ha sido utilizado en el proceso de troquelado y el material particulado son depositados en una bandeja. La máquina debe succionar dicha mezcla, separar el aceite y luego depositarlo en el tanque de alimentación de aceite a la troqueladora.

Una vez hecho el análisis del proceso, se estima un diseño por medio del cual se haga un uso seguro y optimo del aceite utilizado por medio de un sistema de filtración que ayude a retirar las partículas inmersas en él.

3.1.1 Solución preliminar. Diseño de una máquina filtradora de aceite lubricante contaminado y encargada de filtrar todo el aceite para poder ser reutilizado en las troqueladoras tipo corona.

3.1.2 Diseño conceptual. En el cuadro 1 se muestran las especificaciones de diseño de la máquina filtradora de aceite lubricante contaminado, donde se tienen en cuenta tres conceptos fundamentales para el diseño: función, operaciones necesarias y mantenimiento. Cada uno de estos conceptos se clasifican dependiendo si son requerimiento del diseñador o si el cliente ha establecido parámetros necesarios para el troquelado.

Donde el cliente específico, se indica con la letra (C), cuando se trata del diseñador se indica con la letra (D). Además, si es un requerimiento del diseñador (RD) o si es un requerimiento del cliente (RC). Para cada uno se da una breve descripción, la cual permite comprender las necesidades primordiales para el diseño de la máquina filtradora. Esto se hace para poder precisar las funciones y operaciones del diseño de la máquina.

Cuadro 1. Especificación diseño de la máquina

Especificaciones Iniciales			
CONCEPTO	C/D	RC/RD	DESCRIPCIÓN
FUNCIÓN	C	RC	La máquina no debe iniciar su funcionamiento si la troqueladora está en operación.
	D	RD	La máquina no debe iniciar su operación en caso de recibir material solido en grandes cantidades.
OPERACIONES NECESARIAS	D	RD	La activación de la máquina la debe hacer el operario una vez terminada la operación de troquelado en un turno.
	C	RC	La duración de operación de filtrado total de la máquina debe ser máximo de una hora.
	D	RD	Se debe extraer el material particulado o de residuos de la máquina en cada turno de operación.
MANTENIMIENTO	C	RC	Se debe hacer un mantenimiento preventivo y correctivo a la filtradora de aceite y a los tanques

Fuente: elaboración propia

### 3.2 CONDICIONES DE DISEÑO

Para llevar a cabo el desarrollo de diseño se debe tener en cuenta los parámetros iniciales para así realizar los cálculos y llegar a las mejores condiciones de operación de la máquina a diseñar.

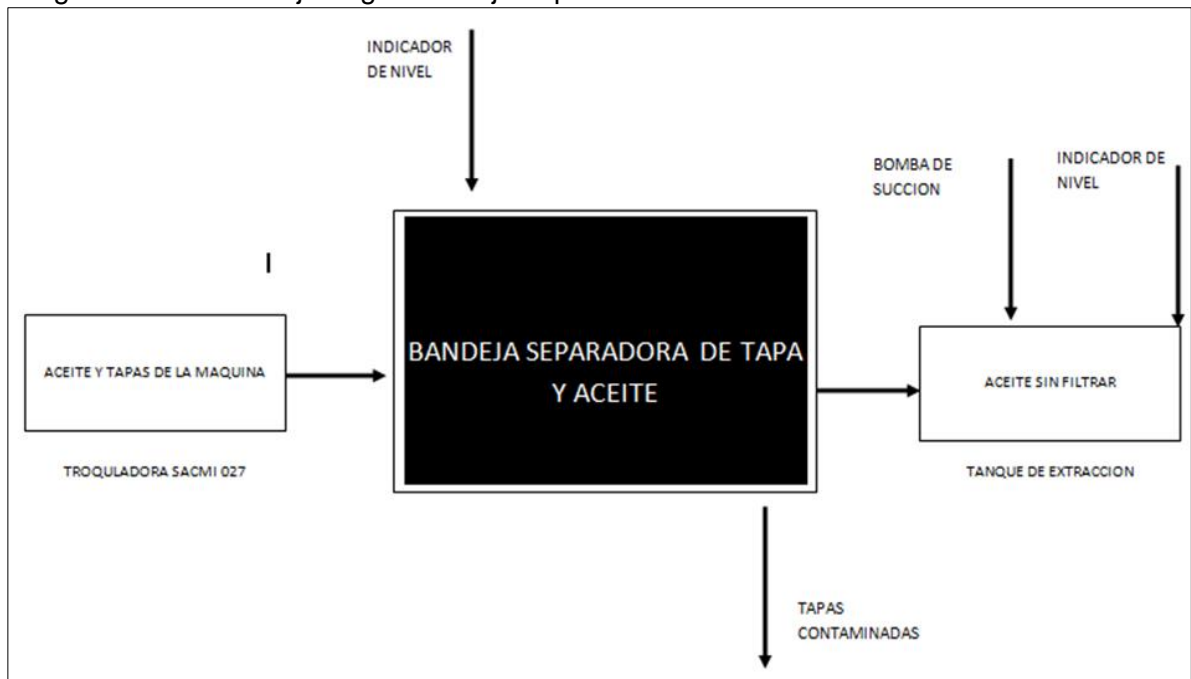
3.2.1 Cantidad de aceite filtrado. En el sistema actual existen pérdidas de hasta un 10% de aceite lubricante por ciclo. Una vez entre en funcionamiento la máquina se espera llegar a filtrar 7 litros de aceite por ciclo, llegando a disminuir en un 1% las pérdidas de aceite y logrando aprovechar al máximo el trabajo de la máquina. La cantidad necesaria para que las troqueladoras puedan lubricar sus componentes, de manera eficientemente, es entre 6 y 7 litros de aceite filtrado, este dato fue obtenido de uno de los principales fabricantes de troqueladoras<sup>13</sup>.

<sup>13</sup> SACMI, Troqueladoras. Manual de manejo, 15 diciembre 2.018.

3.2.2 Capacidad de trabajo. El diseño de la máquina se plantea con un rango de capacidad de trabajo por ciclos. De manera automática se realiza el accionamiento de la máquina cada vez que las troqueladoras terminan su operación. Se estima hacer un filtrado completo por día para así tener el suficiente aceite y proceder de nuevo a iniciar el proceso. Para el filtrado se estima un rango de tiempo de máximo una hora.

3.2.3 Estructura. Teniendo en cuenta las condiciones ya planteadas anteriormente la máquina debe tener unos requerimientos en la estructura de su diseño, la filtradora de aceite cuenta con pre-filtros que ayudan a separar el material residual de mayor tamaño. En la Imagen 17 se puede ver uno de los pre-filtros de mayor importancia ya que está situado en la parte de la bandeja en donde va a caer el aceite de la máquina.

Imagen 17. Método caja negra bandeja separadora



Fuente: elaboración propia

El proceso consta de tres pasos fundamentales. El primero se compone de la separación de partículas más grandes el cual se realiza en la bandeja separadora; el segundo, es el sistema de filtrado por el que se obtiene el aceite contaminado por medio de la bandeja la cual, en su parte inferior, contiene el aceite con material particulado de menor tamaño. la máquina debe ser capaz de separar la mayor parte de partículas para que el aceite, al llegar al tercer paso, pueda ser reutilizado.

Por medio del método de caja negra (Imagen 18), se puede apreciar el esquema de funcionamiento de filtrado de la máquina a diseñar. Este proceso cuenta con fases

fundamentales que son: la separación de aceite contaminado, la filtración de aceite que realiza el proceso para lograr un aceite con condiciones de operación, finalmente, la remisión del fluido filtrado al tanque de suministro que se encarga de abastecer la troqueladora de lubricante.

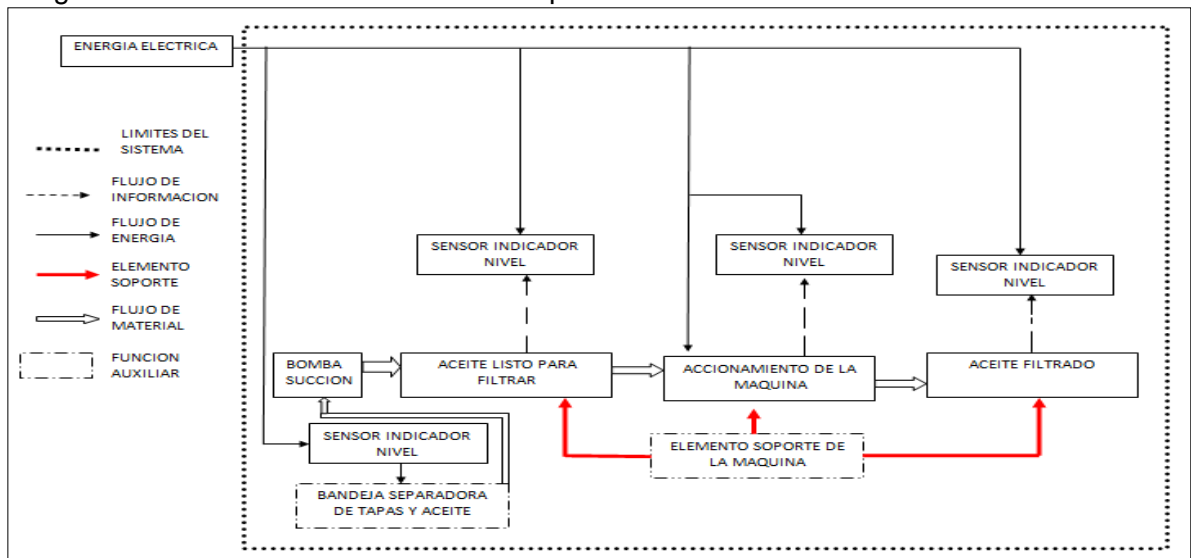
Imagen 18. Método caja negra máquina para filtrado de aceite



Fuente: elaboración propia

La máquina cuenta con diferentes subsistemas para su buen funcionamiento, como son las líneas de flujo, energía, material, información y la estructura de diseño.

Imagen 19. Estructura funcional de la máquina



Fuente: elaboración propia



3.2.4 Material particulado. Las láminas a troquelar son de acero cromado, tienen un peso de 700 gramos cada una, este tipo de láminas se usan para hacer tapas tipo Corona. Durante el proceso de manufactura existen retales que caen en donde se deposita el aceite, contaminando parte de la materia prima. Para el diseño de la máquina se estiman 50 gramos de material contaminado en la bandeja de aceite, cada ciclo de producción se aproxima entre 840 y 1120 láminas produciendo así 42.000 y 56.000 gramos aproximadamente, de material particulado en la bandeja. En la Imagen 20 se puede evidenciar la mezcla de estos dos materiales.

Imagen 20. Retales de producción



Fuente: elaboración propia

### 3.3 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

Para el diseño de la máquina se deben tener en cuenta parámetros y requerimientos ya evaluados y existentes en el sistema actual de troquelado. En el sistema de

filtración es importante tener claro algunos datos que son de gran importancia para determinar la capacidad de la máquina, así mismo para realizar el respectivo diseño.

En el Cuadro 2 se evidencia los datos de operación de las troqueladoras necesarios para determinar los tiempos de operación de la filtradora a diseñar.

Cuadro 2. Datos de operación troqueladoras

Información de operación	
Operación	Cantidad
Tapas en una lamina	De una lámina se obtienen 675 tapas tipo Corona
Laminas por hora	Se troquelan 140 láminas por hora
Horas de operación en un turno	Las troqueladoras se operan entre 6 a 8 horas en un turno
Días a la semana de operación	Las troqueladoras operan de lunes a domingos en tres turnos de 7am a 3pm, 5pm a 11pm y de 12 am a 6am
Cantidad de tapas troqueladas por hora	162.000 tapas fabricadas por hora
Aceite consumido por turno	En cada turno el aceite consumido es de 4 a 5 litros en promedio

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 1 se encuentran datos necesarios para el inicio del diseño detallado, los cuales se usarán conforme a los parámetros establecidos en el proyecto, cada subsistema es importante en el diseño de la máquina y por lo tanto estos valores serán útiles para el desarrollo.

Tabla 1. Parámetros y requerimientos de diseño

Parámetros y requerimientos de diseño		
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Capacidad de filtrado	7	Litros
Velocidad de filtrado	0,0089	m/h
Tamaño mínimo de material filtrado	50	micras
Tamaño máximo de material admisible	5000	micras
Voltaje	220	voltios
Tiempo de filtrado máximo	1	hora

Fuente: elaboración propia

## 4. ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Las alternativas que se evaluarán para el diseño de la máquina de filtrado deben ser las más apropiadas, efectivas y novedosas para las necesidades establecidas inicialmente de retro limpieza, bajo costo, caudal, sencillo manejo, fácil instalación y mantenimiento, reducción de tiempo de filtrado y extensión de vida útil de los elementos filtrantes; expresadas en el numeral 3, parámetros de diseño.

Para la selección óptima de diseño de la máquina se deben evaluar las diferentes alternativas dependiendo sus características y la simplicidad de la retro limpieza; para ello se calificará cuantitativamente con valores de 1 a 5 considerando 1 (Muy bajo), 2 (Bajo), 3 (Medio), 4 (Bueno), 5 (Excelente). De cada una de las alternativas se realizará una sumatoria de los valores obtenidos y la que obtenga el mejor resultado será la que se utilizará para realizar el diseño final.

### 4.1 ALTERNATIVA 1

El filtro automático por velas filtrantes es un método de presión capaz de realizar separaciones de material particulado hasta de 6 micras, cuenta con cámaras de filtrado compuestas por el medio filtrante. Cada compartimiento está separado de los demás; esto sucede con el objetivo de realizar una retro limpieza con aire comprimido, cada vez que una vela filtrante se llena de material particulado, logrando así que la máquina no alcance un límite crítico de suciedad y prolongando así su vida útil.

Esta máquina puede instalarse en un espacio reducido, ya que el número de sus componentes es mínimo y se encuentra compactada por una carcasa unificada que logra reunir todas las piezas.

Las velas filtrantes tienen características apropiadas para poder reunir el material particulado, además se colocan electro imanes dentro de las velas, esto para alcanzar un filtrado más eficiente. Esto se hace mediante una unidad de recuperación por cartuchos que resulta ser de fácil mantenimiento y bajo costo<sup>14</sup>.

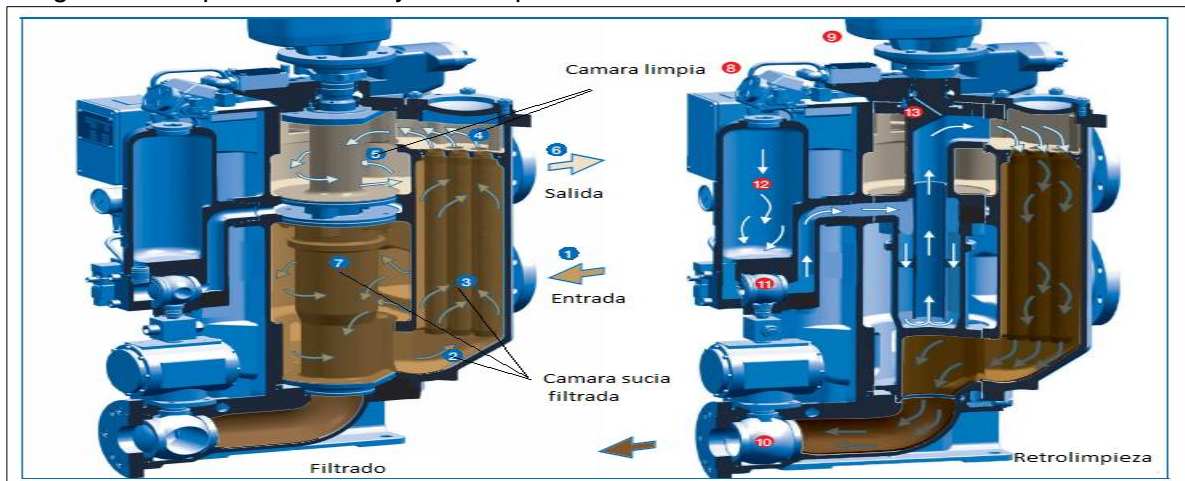
Para el proceso de lavado se emplea un moto reductor, el cual gira el brazo de cierre a la cámara de filtrado sucia para aislarla y activar su autolavado<sup>13</sup>, en paralelo actúa la cámara que estaba en reserva limpia pasa a fase de filtrado dejando el diferencial de presión a nivel bajo. En ese momento un accionamiento neumático actúa la válvula de lavado y la válvula de aire, el aire comprimido se desplaza rápidamente por el interior del brazo de cierre en la cámara de filtrado aislada y extrae el líquido contenido desde la parte limpia a través del medio filtrante y en sentido contrario a

---

<sup>14</sup> BOLLFILTER, automático tipo:6.64, Noviembre 2.017. [Citado 20 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.bollfilter.com/fileadmin/downloads/prospekte/Filtro-automatiko-tipo-6.64-es> BOLLFILTER.pdf

la dirección de filtrado. De esta manera se separan de la parte exterior de los elementos filtrantes las partículas de suciedad depositadas anteriormente en la fase de filtrado y se extraen de la cámara a través de la válvula de lavado, una vez finalizada la limpieza se cierran las válvulas y se llena lentamente con fluido del proceso de filtrado por un agujero ubicado en la parte limpia del brazo de cierre, se llena lentamente con fluido de proceso filtrado. (ver Imagen 21)

Imagen 21. Etapas de filtrado y retrolimpieza



Fuente: BOLLFILTER, Filtro de aceite [en línea]. [Citado 20 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.BOLLFILTER.com/fileadmin/downloads/prospekte/Filtro-automatico-tipo-6.64-es-BOLLFILTER.pdf>

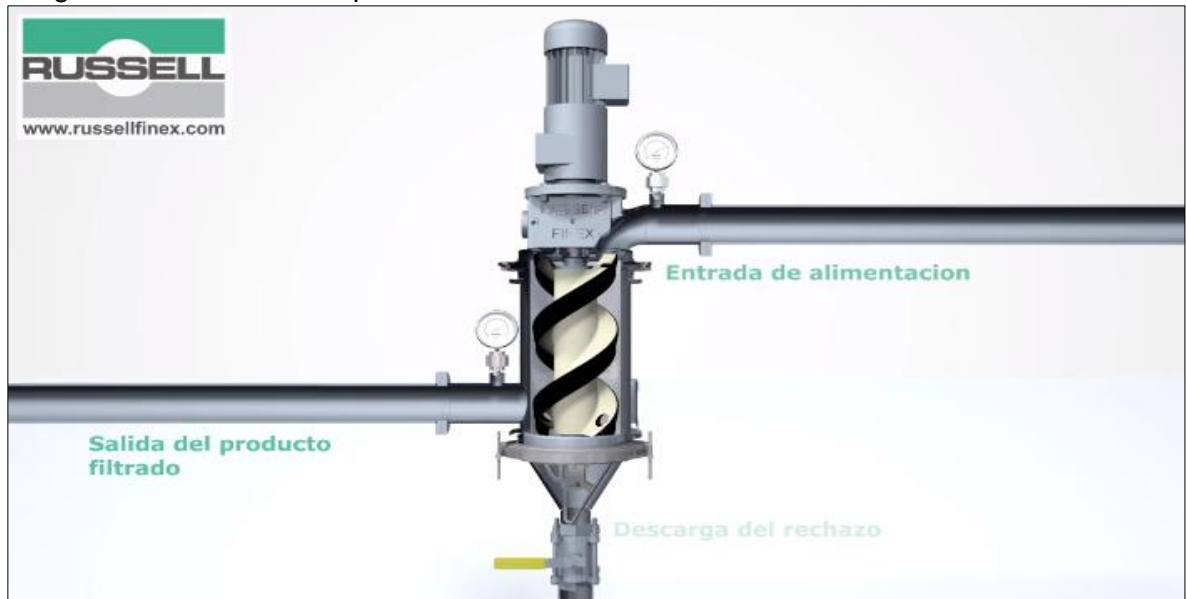
#### 4.2 ALTERNATIVA 2

Los filtros auto limpiantes<sup>15</sup> proporcionan una filtración efectiva y permanente de hasta 10 micras, reducen las interrupciones para la sustitución de los elementos filtrantes ya que cuentan con un sistema el cual permite en cada ciclo de filtrado eliminar el material particulado adherido a los mismo; son sistemas herméticos que evitan contaminación extra en la filtración, existe una considerable reducción en costos por reemplazo de filtros, de pérdidas de líquido filtrante, mano de obra y pérdidas por inactividad. Estos filtros tienen como característica principal hacer una limpieza de manera automática gracias a su diseño, son máquinas capaces de auto limpiarse por gravedad utilizando un sistema centrifugo que logra extraer las partículas contaminantes del fluido. Esta máquina está constituida por un motor, un sistema filtrante (cilindro acero inoxidable) y un sistema recolector encargado de remover y limpiar el medio filtrante (mecanismo sin fin), logrando almacenar en la base inferior de la máquina las partículas sobrantes y realizando así una limpieza del aceite y del sistema filtrante. (ver Imagen 22).

<sup>15</sup> RUSSELL, Filtros auto limpiantes, Noviembre 2.018. [Citado 20 febrero 2019]. Disponible en: <http://www.russellfinex.com/es/equipos-de-separacion/filtrosautolimpiantes/>

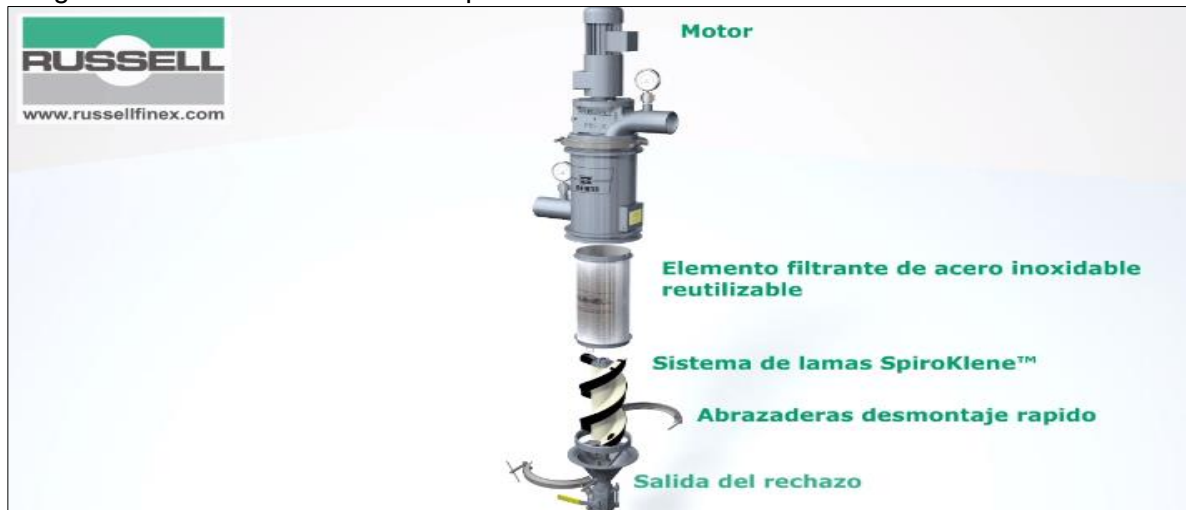
El proceso se divide en tres factores principales entre los cuales está la entrada de alimentación en la cual entra el aceite reutilizado a la máquina, la salida del producto ya filtrado y listo para ser utilizado y la descarga de la materia prima rechazada. Para realizar la descarga total de lo contaminado se alcanza un diferencial de presión, activando la apertura de la válvula y rechazando las impurezas del ciclo. (ver Imagen 23).

Imagen 22. Proceso de limpieza



Fuente: RUSSELLFINEX, Filtros auto limpiantes [en línea]. [Citado 20 febrero 2019]. Disponible en: <http://www.russellfinex.com/es/equipos-de-separacion/filtrosautolimpiantes/>

Imagen 23. Partes del filtro auto limpiantes



Fuente: RUSSELLFINEX, Partes de un filtro auto limpiante [en línea]. [Citado 20 febrero 2019]. Disponible en: <http://www.russellfinex.com/es/equipos-de-separacion/filtros-autolimpiantes/>

### 4.3 ALTERNATIVA 3

Los filtro-prensa son sistemas muy utilizados en la industria para realizar la separación de dos o más elementos, eliminando lodos, partículas y contaminantes de los fluidos; son sistemas diseñados para una elevada demanda de a filtrar, usan medio filtrante para reducir y detener la contaminación del líquido. Actualmente estas máquinas cuentan con un sistema de lavado automático que ayuda a prolongar la vida útil de la tela filtro, el paño hilado es fundamental en la aplicación de esta máquina, su tarea principal es retener las impurezas sólidas para eliminarlas del aceite. Esta máquina en muchas de sus operaciones usa el lavado manual de los medios filtrantes, aplicación que es muy poco recomendada ya que van a existir intervalos de operación por mantenimiento de las telas y averías en dichos elementos, para dar solución a este problema se ha puesto en marcha un diseño que mantiene constante el lavado de estos medios filtrantes, incluyen una mejor porosidad de la tela, una mejor descarga de la torta, pasteles más secos, una mayor vida útil de la tela y un tiempo de ciclo optimizado<sup>16</sup>.

La inclusión de este sistema de limpieza es posible tanto en la prensa de filtros como en los controles lógicos programables,<sup>17</sup> permitiendo que el proceso se haga automatizado y eliminando la intervención del operario. Los filtro-prensa se componen de su estructura, sistema filtrante (placas y telas), sistema de limpieza y bombas de succión que permiten retirar todo elemento contaminante del fluido.

Los sistemas de limpieza de los filtro-prensa por su capacidad de aseo logran hacer este trabajo en el menor tiempo posible, implicando menos inactividad en la máquina. Este equipo logra una confiabilidad y durabilidad de las telas ya que están equipadas con boquillas que inyectan aire a presión logrando remover del paño la mayor suciedad posible. (ver Imagen 24).

Imagen 24. Limpieza de filtro-prensa



Fuente: MICRONICSINC, filtro prensa limpiante [en línea]. [Citado 20 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.micronicsinc.com/precision-filtration-products/filter-presses/>

---

<sup>16</sup> MICRONICSINC, Sistema de lavado automático de la tela de filtro, 18 Diciembre 2.015.]. [Citado 20 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.micronicsinc.com/precision-filtration-products/filter-presses/>

<sup>17</sup> MICRONICSINC, optimización de la vida útil de la prensa del filtro y tiempo de ciclo, 23 Marzo 2.017.]. [Citado 20 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.micronicsinc.com/precision-filtration-products/filter-presses/>



#### 4.4 EVALUACIÓN DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Para realizar la selección de la alternativa más viable, se evaluaron criterios de desempeño para escoger el mejor sistema de retro limpieza, proceso fundamental para el diseño de la filtradora. Para este proceso se usa el método de ponderación (Scoring), calificando las opciones por medio de tablas de calificación y ponderación, dando criterios para seleccionar la alternativa final.

Para la realización del criterio de calificación se tuvieron en cuenta parámetros de diseño, con respecto a la máquina a diseñar se estableció una ponderación para darle una puntuación, seleccionando la alternativa con mayor valor en su sumatoria de criterios, se calificaron de 0 a 10 siendo 10 el mejor y 0 el peor, esta calificación se establecerá según las características que tengan las alternativas citadas. (ver Cuadro 3).

Cuadro 3. Evaluación cualitativa

	Criterios de evaluación	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
1	Facilidad de instalación y montaje	4	7	2
2	Mayor material filtrado	10	8	4
3	Alto desempeño	9	5	4
4	Menor costos de fabricación	6	2	4
5	Mejor limpieza de los filtros	8	7	5
6	Alta Disponibilidad de repuestos	6	6	6
7	Facilidad de mantenimiento	8	2	8

Fuente: elaboración propia

La evaluación cualitativa arroja resultados dependiendo del puntaje, la calificación de esta matriz se da dependiendo la importancia y capacidad de los criterios, la alternativa que más puntaje recibió es la numero 1 correspondiente a el filtro auto limpiante por velas filtrantes.

Para realizar una calificación más segura es importante dar una ponderación de interés sobre la selección de la alternativa más apropiada, se realiza una matriz cuantitativa priorizando los criterios según la necesidad del diseñador, para esta evaluación se atribuirá un porcentaje según la jerarquía de cada ítem.

**Cuadro 4. Evaluación porcentual**

item	Criterio de evaluación	Porcentaje	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
			C	A	C	A	C	A
1	Facilidad de instalación y montaje	10%	4	0,4	7	0,7	2	0,2
2	Mayor material filtrado	22%	10	2,2	8	1,76	4	0,88
3	Alto desempeño	20%	9	1,8	5	1	4	0,8
4	Menor costos de fabricación	8%	6	0,48	2	0,16	4	0,32
5	Mejor limpieza de los filtros	22%	8	1,76	7	1,54	5	1,1
6	Alta Disponibilidad de repuestos	8%	6	0,48	6	0,48	6	0,48
7	Facilidad de mantenimiento	10%	8	0,8	2	0,2	8	0,8
TOTAL		100%	7,92		5,84		4,58	

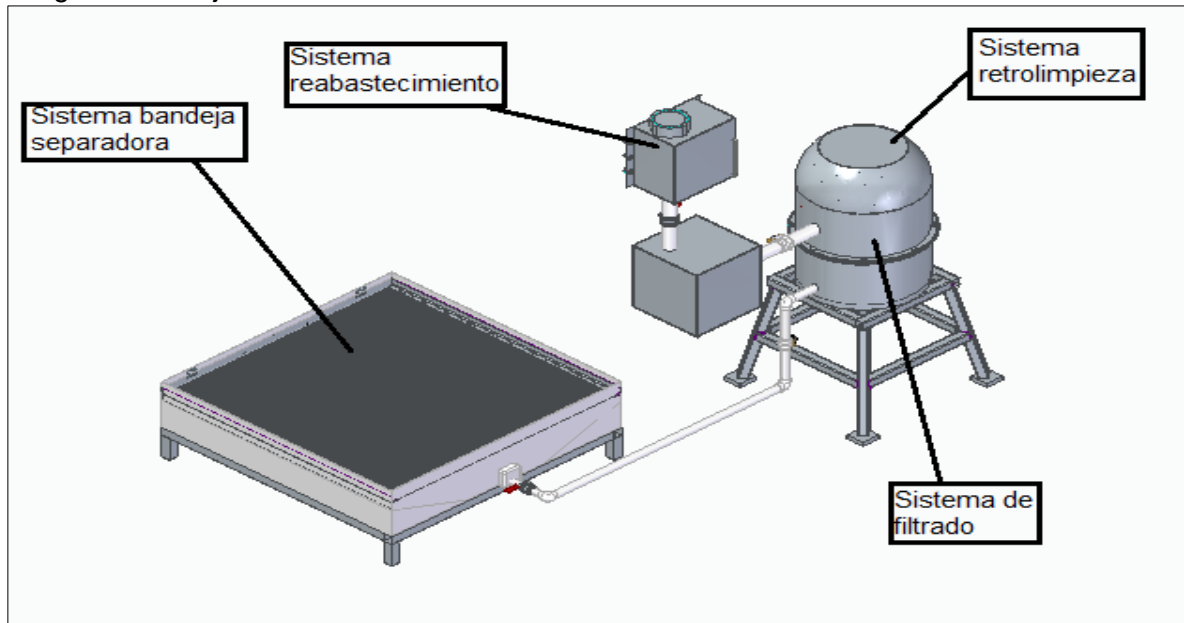
Fuente: elaboración propia

Con los resultados obtenidos en la evaluación porcentual evidenciados en el Cuadro 4, se determina la Alternativa 1 como la más viable para el diseño de la máquina puesto que en la sumatoria de los ítems evaluados, el mayor; tiene una fortaleza frente a las demás, ya que es una máquina que logra filtrar la mayor cantidad de material particulado, gracias al sistema de filtrado por velas, su alto desempeño por filtrar en menos tiempo y por qué el costo de fabricación.



## 5. DISEÑO DETALLADO

Imagen 25. Conjunto de sistemas



Fuente: elaboración propia

Para realizar un diseño completo de la máquina es importante incluir todos los subsistemas que la componen, teniendo un orden de trabajo para llegar a una solución final, partiendo de los parámetros citados en el capítulo anterior. En este capítulo se busca realizar paso por paso la máquina de filtrado (Imagen 25) incluyendo todos sus componentes, para así llegar a solucionar el problema presentado en el sistema de reutilización de aceite lubricante.

### 5.1 BANDEJA PRE FILTRO

La bandeja separadora es nombrada de esta manera ya que su función principal es apartar las partículas más grandes del aceite lubricante, buscando así, reducir la cantidad de material contaminado y aumentar la eficiencia de filtrado de la máquina. Este sistema tiene dos funciones principales en la cual separa las partículas más grandes y recolecta el aceite que se va a filtrar, para el diseño de este subsistema se deben tener en cuenta la geometría, la dimensión, el tamaño de la malla y su estructura.

Como es un sistema que va a almacenar aceite contaminado se necesita de un material que tenga alta resistencia a la corrosión y oxidación para garantizar un funcionamiento con una vida útil alta.

En la Tabla 2 se encuentra una comparación entre materiales que tiene características similares y se podrían utilizar para la elaboración de la bandeja.

Tabla 2. Alternativa materiales

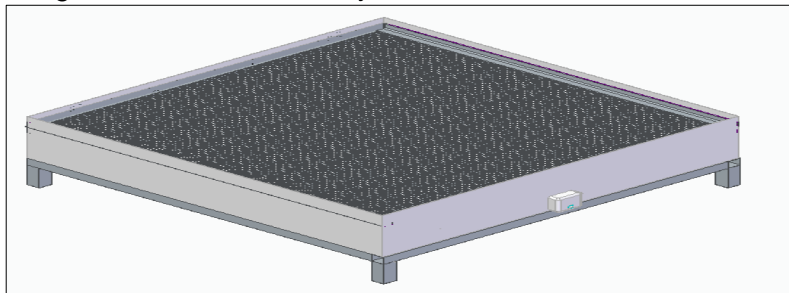
Material	Características	Costo por lamina (1,50mm x 2,10 m)	Peso
Aluminio	Buena conductividad, resistencia a la corrosión	\$ 210.000	1,5 kg/m <sup>2</sup>
Acero galvanizado	Alta duración, protección de piezas internas, resistencia a la abrasión y corrosión	\$ 190.000	1,83 kg/m <sup>2</sup>
Acero inoxidable	Alta vida útil, gran capacidad de flexibilidad, resistencia a la corrosión y oxidación a altas temperaturas	\$ 280.000	2,1 kg/m <sup>2</sup>

Fuente: elaboración propia

Con las características de cada material y teniendo en cuenta que es un sistema de alta oxidación que va a estar expuesto a la corrosión y se necesitan realizar dobleces se escoge el Acero inoxidable como el material con el que se fabricara la bandeja separadora. El acero inoxidable es un material que se utiliza para realizar montajes en las industrias de refrigeración, construcción y metalúrgica para ver las características ver Anexo A

5.1.1 Dimensiones de la bandeja. El diseño de la bandeja se definió por las necesidades de la troqueladora, ya que el aceite es precipitado a la bandeja durante el proceso de producción de las tapas; considera una base cuadrada de 720 mm x 720 mm para retener en su totalidad la cantidad de aceite que se consideró inicialmente sería depositado en la misma, además es importante resaltar que la altura de la bandeja no puede superar los 150 mm puesto que el espacio es limitado, por lo tanto se divide entre la bandeja y el soporte donde se ubicara la misma. (ver Imagen 26)

Imagen 26. Pre filtro bandeja



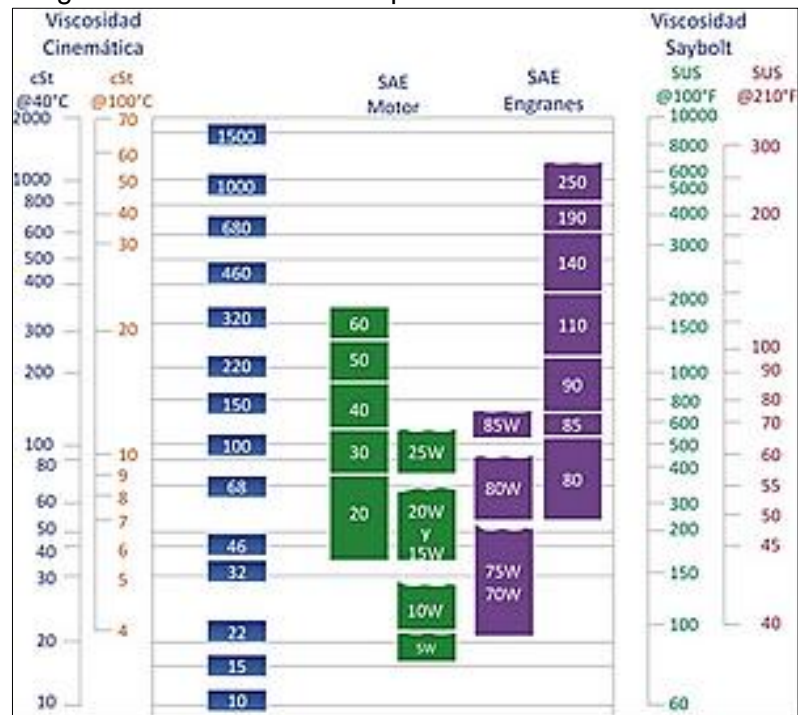
Fuente: elaboración propia

Según el dimensionamiento de la troqueladora, se establecen las siguientes medidas que se utilizarán para el diseño de los siguientes sistemas de la máquina.

5.1.2 Viscosidad del aceite. Los aceites más utilizados para las troqueladoras son los tipos HD ISO 32, 46 y 68<sup>18</sup>, recomendados para estos tipos de sistemas; se determinarán las tablas de viscosidad para determinar la estabilidad del aceite y la flotabilidad del material particulado sobre el mismo.

5.1.2.1 Tablas de viscosidad del aceite. En la Imagen 27 se puede evidenciar la equivalencia entre los sistemas de clasificación de los lubricantes para poder determinar si los aceites usados son o no inviscido identificando si la viscosidad del aceite es alta o baja.

Imagen 27. Clasificación comparativa de viscosidad



Fuente: MACHINERY LUBRICATION, Clasificación de la viscosidad aceites lubricantes, julio 2011 [en línea], Disponible en: <https://www.machinerylubrication.com/>

Se puede establecer que los aceites Rando ISO 32,46 y 68 tienen una viscosidad relativamente baja, es decir que los aceites son capaces de fluir fácilmente, permitiendo considerar que se pueden almacenar con una baja inclinación en el recipiente.

<sup>18</sup> Fuente: CONAUTO, Aceite rando HD 32-46-68 [en línea], Disponible en: [http://www.conauto.com.ec/wp-content/uploads/2008/11/rando\\_hd\\_32\\_46\\_68](http://www.conauto.com.ec/wp-content/uploads/2008/11/rando_hd_32_46_68)

5.1.2.2 Estabilidad del aceite. Este cálculo determina el índice de viscosidad de los aceites usados en las troqueladoras permitiendo comprobar mediante cálculos si el aceite no cambia su viscosidad con la variación de temperaturas.

IV=0 → No estable.

IV hasta 75 → Poco estable.

IV hasta 200 → Muy estable.

Ecuación 1. Índice de viscosidad del aceite

$$I.V = \frac{L - U}{L - H} * 100$$

Fuente: PARÍS DE FERRER. Magdalena, Fundamentos de ingeniería de yacimiento. Maracaibo, Ediciones Astro Data S. A. p.56. 2009.

Donde;

L → Valor de un aceite estándar de 40° con IV de cero, y que a 100° tiene la misma viscosidad del aceite de prueba (cSt) (tabla ASTM D2270).

U → Viscosidad cinemática del aceite de prueba a 40°(cSt) (Imagen 12. Información de pruebas típicas).

H → Valor de un aceite estándar de 40° con IV de 100, y que a 100° tiene la misma viscosidad del aceite de prueba (cSt) (tabla ASTM D2270).

Índice de viscosidad de aceite Rando HD 32.

Tabla 3. Estándares de viscosidad Rando HD 32 ASTM D2270

kinematic viscosity at 100°C m2/s (cSt)	L	H	kinematic viscosity at 100°C m2/s (cSt)	L	H	kinematic viscosity at 100°C m2/s (cSt)	L	H
5.00	40.23	28.49	10.0	147.7	82.87	15.0	296.5	149.7
5.10	41.99	29.46	10.1	150.3	84.08	15.1	300.0	151.2
5.20	43.76	30.43	10.2	152.9	85.30	15.2	303.4	152.6
5.30	45.53	31.40	10.3	155.4	86.51	15.3	306.9	154.1
5.40	47.31	32.37	10.4	158.0	87.72	15.4	310.3	155.6

Fuente: AMERICAN NATIONAL STANDARD BRITISH STANDARD 4459, STANDARD PRACTICE FOR CALCULATING VISCOSITY [en línea], [Citado 20 Abril 2019]. Disponible en: <http://www.asiajuleh.com/astm/ASTM%20D%202270.pdf>. Modificado por los autores, Abril 2019

Para verificar el índice de viscosidad de este aceite se mira la viscosidad cinemática a 100°C que en este caso es 5,30 cSt con este dato se determina que L=45,53 Y H=31,40.

La viscosidad cinemática a 40° C es el valor U que en este caso es 30,4.

$$I.V = \frac{43,76 - 30,4}{43,76 - 30,43} * 100 = 100$$

En la industria se usan 3 tipos de aceites Rando HD para los siguientes dos fluidos se hace el mismo calculo anterior.

Índice de viscosidad de aceite Rando HD 46 (ver Tabla 4).

Tabla 4. Estándares de viscosidad Rando HD 46 ASTM D2270

kinematic viscosity at 100°C m2/s (cSt)	L	H	kinematic viscosity at 100°C m2/s (cSt)	L	H	kinematic viscosity at 100°C m2/s (cSt)	L	H
6.50	67.12	43.18	11.5	187.6	101.5	16.5	350.3	172.3
6.60	69.16	44.24	11.6	190.4	102.8	16.6	354.1	173.8
6.70	71.29	45.33	11.7	193.3	104.1	16.7	358.0	175.4
6.80	73.48	46.44	11.8	196.2	105.4	16.8	361.7	177.0
6.90	75.72	47.51	11.9	199.0	106.7	16.9	365.6	178.6

Fuente: AMERICAN NATIONAL STANDARD BRITISH STANDARD 4459, STANDARD PRACTICE FOR CALCULATING VISCOSITY [en línea], [Citado 20 Abril 2019]. Disponible en: <http://www.asiajuleh.com/astm/ASTM%20D%202270.pdf>. Modificado por los autores, Abril 2019

L= 67,12 cSt

H= 43,18 cSt

U=43,7 cSt

$$I.V = \frac{67,12 - 43,7}{67,12 - 43,18} * 100 = 98$$

Índice de viscosidad de aceite Rando HD 68. (ver Tabla 5).

Tabla 5. Estándares de viscosidad Rando HD 68 ASTM D2270

kinematic viscosity at 100°C m <sup>2</sup> /s (cSt)	L H		kinematic viscosity at 100°C m <sup>2</sup> /s (cSt)	L H		kinematic viscosity at 100°C m <sup>2</sup> /s (cSt)	L H	
3.00	15.49	12.15	8.00	100.0	59.60	13.0	231.9	121.5
3.10	16.36	12.82	8.10	102.3	60.74	13.1	235.0	122.9
3.20	17.26	13.51	8.20	104.6	61.89	1.2	238.1	124.2
3.30	18.18	14.21	8.30	106.9	63.05	13.3	241.2	125.6
3.40	19.12	14.93	8.40	109.2	64.18	13.4	244.3	127.0

Fuente: AMERICAN NATIONAL STANDARD BRITISH STANDARD 4459, STANDARD PRACTICE FOR CALCULATING VISCOSITY [en línea], [Citado 20 Abril 2019]. Disponible en: <http://www.asiajuleh.com/astm/ASTM%20D%202270.pdf>. Modificado por los autores, Abril 2019

L=109,2 cSt

H=64,1 cSt

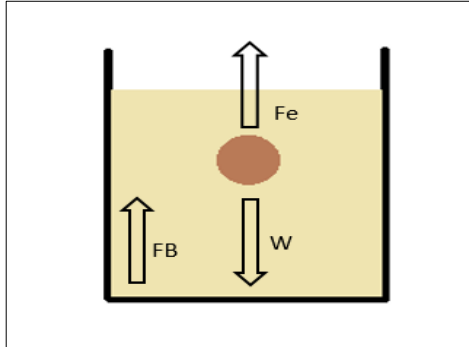
U=64,6 cSt

$$I.V = \frac{109,2 - 64,6}{109,2 - 64,1} * 100 = 99$$

Los tres aceites comúnmente utilizados en la industria de las troqueladoras tienen un índice de viscosidad mayor a 75 por lo cual se denota que es un aceite muy estable. Este lubricante bajo los cambios de temperatura no varía su viscosidad.

5.1.2.3 Flotabilidad del material particulado. Para la suspensión del material particulado es necesario tener en cuenta la estática de fluidos donde se determinará si el material particulado flota, se sumerge parcialmente o si se sumerge completamente; con el fin de establecer la geometría del recipiente donde se recopilará el aceite con material particulado. (ver Imagen 28).

Imagen 28. Flotabilidad del material



Fuente: elaboración propia

Se establece un diámetro máximo de material particulado y un material de acero cromado.

$$d = 5 \text{ mm}$$

En el siguiente cálculo se utiliza la ecuación de volumen de una esfera considerando que el material con estas medidas se aproxime a dicha forma geométrica, así mismo calculando el volumen desplazado en el fluido.

Ecuación 2. Cálculos geométricos

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

Fuente: P BUSER. A. Costa, Curso de geometría básica. Ediciones Sanz Y Torres . p.12. 2012.

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

Donde;

r → Radio de la esfera.

$$V_d = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi (2.500 \text{ micras})^3 = 6,544 * 10^{10} \text{ micras}^3 = 6,544 * 10^{-8} \text{ m}^3$$

Para determinar el peso específico del fluido se necesita saber cuánto es la gravedad específica del aceite, teniendo los datos de la gravedad API (American

Petroleum Institute) y por medio la siguiente ecuación se encuentra el valor deseado.

Gravedad específica para Rando HD 32 con API 32.6

Ecuación 3. Gravedad específica

$$S_g = \frac{141,5}{131,5 + \text{API}}$$

Fuente: CENGEL. Yunus A, Mecánica de fluidos. , Mexico. Ediciones Mc Graw Hill. . p.15. 2006.

Donde;

API → Gravedad (American Petroleum Institute).

$$S_g = \frac{141,5}{131,5 + \text{API}}$$

$$S_g = \frac{141,5}{131,5 + \text{API}} = \frac{141,5}{131,5 + 32,6} = 0.8623$$

$$S_g = \frac{\gamma_{\text{fluido}}}{\gamma_{\text{H}_2\text{O}}} \rightarrow \gamma_{\text{fluido}} = S_g \times \gamma_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$\gamma_{\text{fluido}} = 0,8623 \times 9.81 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} = 8,4505 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$$

En la Imagen 28 se muestran las fuerzas que actúan en el fluido, como son Fb (fuerza de flotación o empuje), Fe (fuerza necesaria para mantener sumergido un cuerpo en su lugar) y W (peso de la partícula); mediante el diagrama de cuerpo libre se determinará el peso de la partícula y la fuerza de equilibrio para posteriormente determinar si la partícula se sumerge completamente, se mantiene en equilibrio o si flota.



Ecuación 4. Diagrama cuerpo libre

$$\sum F_y = 0$$

Fuente: ANAND.  
D.K, Mecánica para  
ingenieros, México.  
Ediciones Continental.  
p.32. 2003.

$$\sum F_y = 0$$

$$F_e + F_b - W = 0$$

Donde;

$F_e$  → Fuerza de flotabilidad.

$F_b$  → Fuerza de empuje.

$W$  → Peso del material.

Con el resultado del volumen desplazado y peso específico del fluido se encuentra el valor de la fuerza de empuje.

Ecuación 5. Fuerza de empuje

$$F_b = \gamma_f \times V_d$$

Fuente: CENGEL.  
Yunus A, Mecánica de fluidos, México.  
Ediciones Mc Graw Hill. p.72. 2006.

Donde;

$\gamma_f$  → Peso específico del aceite.

$V_d$  → Volumen de la esfera.

$$F_b = \gamma_f \times V_d$$

$$F_b = 8,4505 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \times (6,544 \times 10^{-8} \text{m}^3)$$

$$F_b = 5,5308 \times 10^{-7} \text{KN}$$

Con el peso específico del material particulado y el volumen de la esfera se determina la fuerza total que produce el material.

Ecuación 6. Peso específico

$$\gamma_{\text{esfera}} = \frac{W}{V} = \frac{m \times g}{V} = \rho \times g$$

Fuente: CENGEL. Yunus A, Mecánica de fluidos, México. Ediciones Mc Graw Hill. . p.74. 2006.

Donde;

W → Peso del material.

g → gravedad.

$$\gamma_{\text{esfera}} = \frac{W}{V} = \frac{m \times g}{V} = \rho \times g$$

$$\gamma_{\text{esfera}} = 7900 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\gamma_{\text{esfera}} = 77499 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \rightarrow 77,499 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$$

$$W = \gamma_{\text{esfera}} \times V_d$$

$$W = 77,499 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \times 6,544 \times 10^{-8} \text{m}^3$$

$$W = 5,071 \times 10^{-6} \text{KN}$$

Con los datos obtenidos de W y Fb se obtiene el valor de Fe.

$$F_e = W - F_b$$

$$F_e = 5,071 \times 10^{-6} \text{KN} - 5,5308 \times 10^{-7} \text{KN}$$

$$F_e = 4,5184 \times 10^{-6} \text{KN}$$

Una vez encontrados los valores para el aceite Rando HD 32, se realizan los mismos cálculos para los aceites Rando HD 46 y 68, teniendo en cuenta que el peso del material particulado es el mismo en los tres casos.

Gravedad específica para Rando HD 46 con API 31,8.

$$Sg = \frac{141,5}{131,5 + API} = \frac{141,5}{131,5 + 31,8} = 0.8665$$

$$Sg = \frac{Y_{\text{fluido}}}{Y_{H_2O}} \rightarrow Y_{\text{fluido}} = Sg \times Y_{H_2O}$$

$$Y_{\text{fluido}} = 0.8665 \times 9.81 \frac{N}{m^3} = 8,5003 \frac{N}{m^3}$$

$$Fb = \gamma_f \times Vd$$

$$Fb = 8,5003 \frac{KN}{m^3} \times (6,544 \times 10^{-8} m^3)$$

$$Fb = 5,5625 \times 10^{-7} KN$$

$$Fe = W - Fb$$

$$Fe = 5,071 \times 10^{-6} KN - 5,5625 \times 10^{-7} KN$$

$$Fe = 4,5147 \times 10^{-6} KN$$

Gravedad específica para Rando HD 68 con API 31,6

$$Sg = \frac{141,5}{131,5 + API} = \frac{141,5}{131,5 + 31,6} = 0.8675$$

$$Sg = \frac{Y_{\text{fluido}}}{Y_{H_2O}} \rightarrow Y_{\text{fluido}} = Sg \times Y_{H_2O}$$

$$Y_{\text{fluido}} = 0.8665 \times 9.81 \frac{N}{m^3} = 8,5101 \frac{N}{m^3}$$

$$Fb = \gamma_f \times Vd$$

$$Fb = 8,5101 \frac{KN}{m^3} \times (6,544 \times 10^{-8} m^3)$$

$$F_b = 5,5690 \times 10^{-7} \text{KN}$$

$$F_e = W - F_b$$

$$F_e = 5,071 \times 10^{-6} \text{KN} - 5,5690 \times 10^{-7} \text{KN}$$

$$F_e = 4,5141 \times 10^{-6} \text{KN}$$

Una vez encontrado el valor de las fuerzas se determina que el valor de la fuerza del material particulado es mayor, el peso del material vence la fuerza que ejerce la viscosidad de los aceites y se sumerge; será necesario garantizar que las partículas sumergidas sean succionadas y para ello un direccionamiento para garantizar el deslizamiento de las partículas hacia la entrada de la tubería a la bomba.

En este capítulo es importante aclarar que después de analizar los tres aceites y con respecto a los fabricantes de troqueladoras el aceite más usado es el Rando HD 32, el diseño de la máquina se realizara bajo las condiciones de este aceite.

Aunque el diseño este fundamentado en solo este aceite se podrá utilizar como base para otros aceites Rando ya que tienen características muy similares.

5.1.3 Fuerza debido al fluido en movimiento. Dependiendo de la flotabilidad hallada anteriormente se evalúa que la partícula se sumerge, para garantizar que el filtrado de aceite se realice con todo y partículas se realiza el cálculo de arrastre para una partícula, determinando así la fuerza necesaria para poder succionarla y posteriormente filtrarla. Para este caculo se consulta el libro Mecánica de fluidos del autor Robert Mott el cual con la ecuación 7 ayuda a encontrar la fuerza de arrastre necesaria para succionar la partícula.

Ecuación 7. Fuerza de arrastre

$$F_D = C_D \frac{\rho V^2}{2} A$$

Fuente: MOTT.  
Robert L, Mecánica de fluidos.  
, México. Ediciones Pearson  
Educación . p.506. 2015

Donde;

$C_D$  → coeficiente de fricción.

$\rho$  → densidad del aceite.

V → Velocidad del fluido.

A → Área característica del cuerpo (superficie transversal máxima del cuerpo)

En el análisis visual se puede evidenciar que el rastro se debe a la fricción generada en el sistema, sin embargo, este análisis se fundamenta matemáticamente con el resultado del número de Reynolds.

Ecuación 8. Numero de Reynolds

$$N_R = \frac{\rho V D}{n}$$

Fuente: MOTT.  
Robert L, Mecánica de fluidos, México.  
Ediciones Pearson  
Educación. p.230.  
2015

Donde;

$\rho$  → densidad del aceite. (ver imagen 12)

V → Velocidad del fluido.

D → Diámetro esfera.

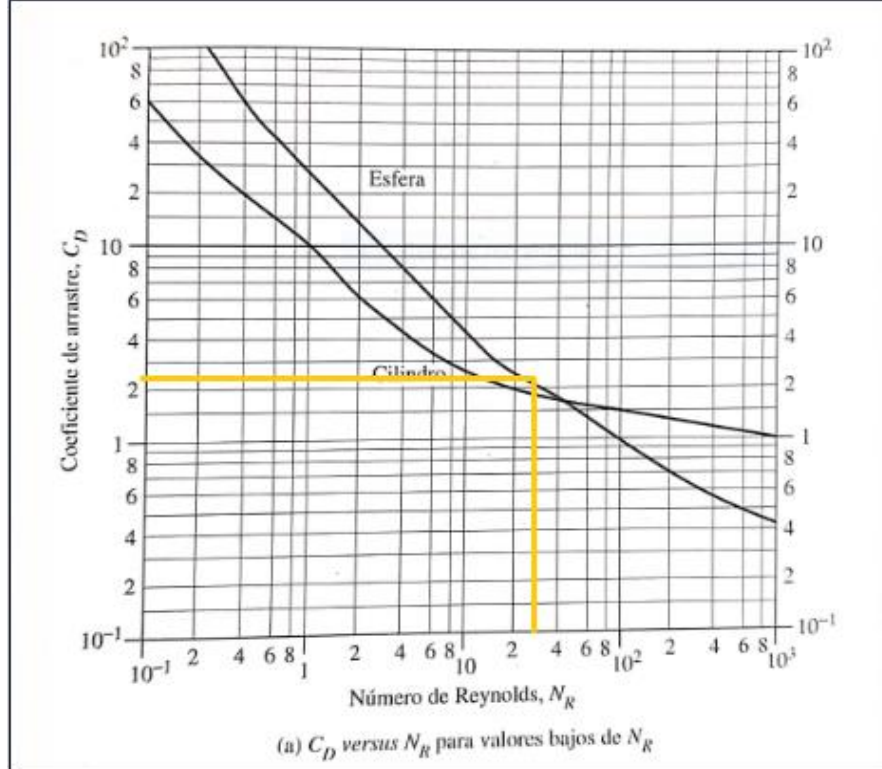
n → Viscosidad dinámica

$$N_R = \frac{862,3 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 0,0486 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,005\text{m}}{0,026213 \frac{\text{Kg}}{\text{m s}}}$$

$$N_R = 31,98$$

Para encontrar el coeficiente de fricción se utiliza la gráfica de coeficiente de arrastra encontrada en la Imagen 29, con un valor del número de Reynolds y el tipo de solido evaluado en este caso una esfera.

Imagen 29. Coeficiente de arrastre



Fuente: MOTT. Robert L, Mecánica de fluidos. , Mexico.Ediciones Pearson Educación . 2015

Para un numero de Reynolds igual a 31,98 el coeficiente de fricción en una esfera es 2,5 según la tabla, con estos valores se despeja la fuerza necesaria para succionar la partícula.

$$F_D = 2,5 \frac{862,3 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} (0,0486 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2} \frac{\pi}{4} (0,005\text{m})^2$$

$$F_D = 4,99 \times 10^{-5} \text{ N}$$

La fuerza necesaria para arrastrar una particular contaminada de diámetro 0,005m, inmersa en aceite Rando HD 32 es  $4.99 \times 10^{-5} \text{ N}$ ; ahora se calcula la fuerza necesaria para arrastrar la cantidad total de partículas presente en el aceite, para ello se calcula la masa de una partícula para determinar la cantidad de partículas y multiplicarlo por la fuerza.

Ecuación 9.  
Densidad

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

Fuente: MOTT.  
Robert L,  
Mecánica de  
fluidos, México.  
Ediciones  
Pearson  
Educación . p.17.  
2015

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho \times V$$

$$m = 862,3 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times \frac{4}{3} \pi (0,005 \text{ m}^3)$$

$$m = 4,5149 \times 10^{-4} \text{ kg}$$

La masa total de material particulado según datos del proceso actual es de 2,8 kg y la de una partícula es de  $4,5149 \times 10^{-4} \text{ kg}$ , se calcula la masa de las partículas restantes.

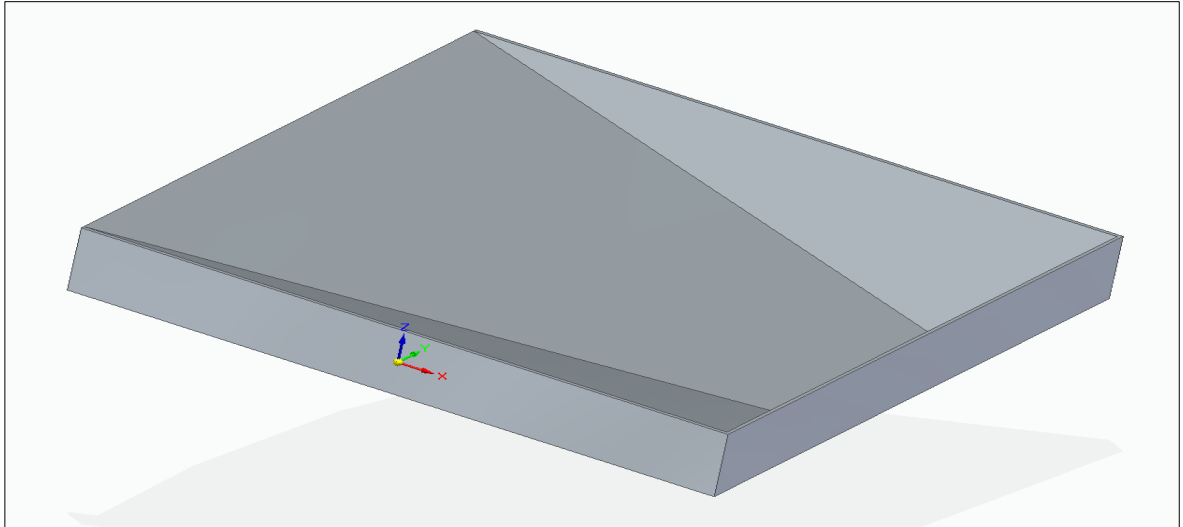
$$\text{Cantidad de partículas} = \frac{2,8 \text{ kg}}{4,51 \times 10^{-4} \text{ kg}} = 6202 \text{ Partículas}$$

La fuerza para arrastrar 6202 partículas es de 0,31N, este valor servirá para corroborar si la potencia de succión hallada será suficiente para arrastrar las partículas y el aceite presente en la bandeja.

5.1.4 Geometría de la bandeja sección inferior. El recipiente que se utiliza para retener el aceite tiene una forma de base cuadrada y una altura acorde a las restricciones de dimensionamiento de la troqueladora, este recipiente consta de dos niveles importantes para la separación de partículas de gran tamaño. En la parte inferior consta de una bandeja de almacenamiento de aceite contaminado con una geometría acorde para que el aceite se almacene en un solo lugar. Por cuestiones de corrosión y teniendo en cuenta que es un aceite lubricante el material de esta bandeja será un acero inoxidable ya que este material tiene propiedades capaces de deducir la oxidación de estos elementos.

En la imagen 30 se puede evidenciar la parte inferior donde estará reposando el aceite contaminado.

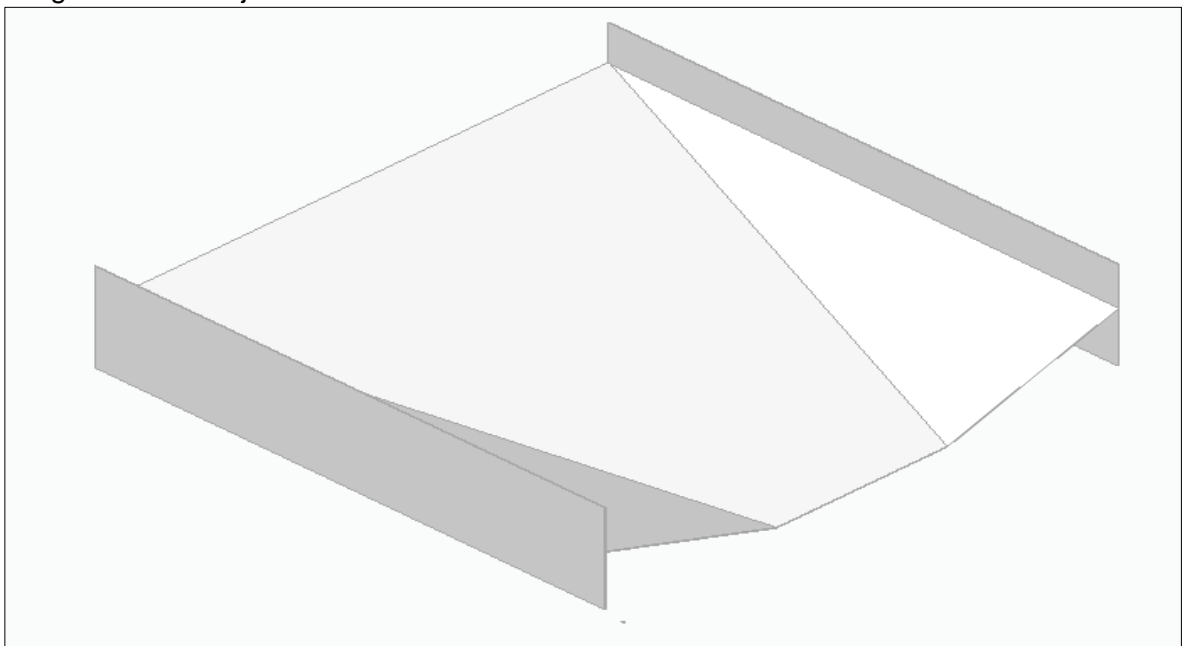
Imagen 30. Bosquejo bandeja parte inferior



Fuente: elaboración propia

5.1.4.1 Inclinación de la base. El volumen de aceite a filtrar con partículas debe ser identificado en el interior de la bandeja separadora para ello será necesario calcular la localización e inclinación de la bandeja para garantizar que el aceite y material particulado fluyan por gravedad. (ver Imagen 31)

Imagen 31. Bandeja inclinación de la base



Fuente: elaboración propia



Para identificar este ángulo se formula la máxima inclinación que tiene el sistema ya que tiene una altura de 90 mm.

Con la ecuación 10 teniendo las medidas de los catetos se puede hallar el ángulo requerido.

Angulo de inclinación.

Ecuación 10. Geometría y Trigonometría

$$\tan\theta = \frac{co}{ca}$$

Fuente: BALDOR Aurelio. Geometría y trigonometría Baldor. Ediciones Patria. p.32. 2008.

$$\tan\theta = \frac{co}{ca} \rightarrow \theta = \tan^{-1} \frac{co}{ca}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{90 \text{ mm}}{720 \text{ mm}}$$

$$\theta = 7,12^\circ$$

5.1.4.2 Sistema de direccionamiento. La geometría de dirección es importante ya que se encuentra un aceite con material particulado sumergible, para esto se debe dar una solución evitando que se hagan depósitos de material contaminado en los extremos de la bandeja sin poder ser retirados, es una ventaja tener este sistema para garantizar que todo el fluido se filtre y no existan pérdidas en sus extremos.

Para realizar un sistema eficiente se realizaron los siguientes cálculos permitiendo establecer los ángulos de inclinación y medidas para aprovechar la máxima cantidad de material.

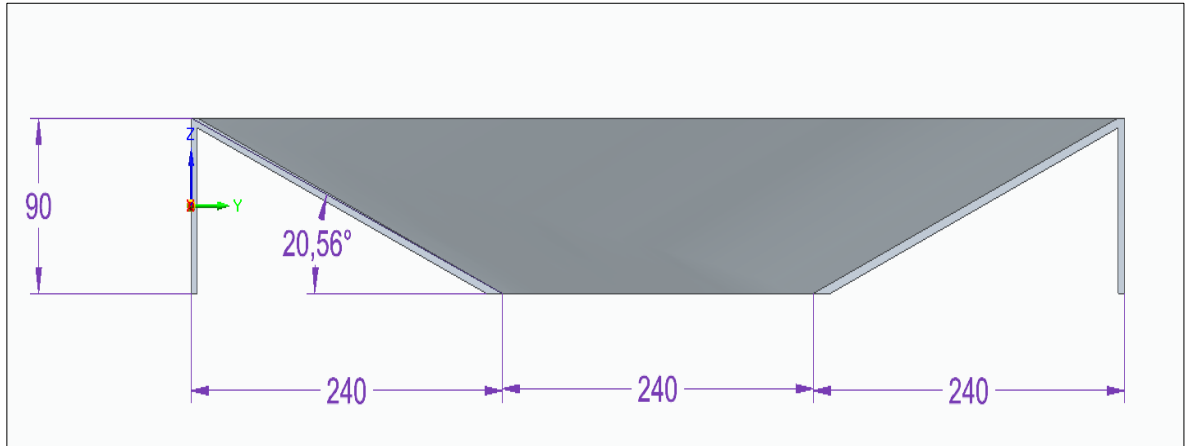
Angulo de inclinación de escurrimiento.

$$\theta = 7,12^\circ$$

Perfil frontal.

Para este perfil al igual que el anterior se toma la altura máxima posible de 90 mm y se calcula el ángulo de la inclinación.  
 Angulo direccionamiento frontal.

Imagen 32. Bandeja perfil frontal



Fuente: elaboración propia

Se toma la medida máxima de la bandeja inferior que es 90 mm y se asume una medida de 240 mm de ancho para poder calcular el ángulo de inclinación de la caída de la bandeja.

$$\tan\theta = \frac{co}{ca} \rightarrow \theta = \tan^{-1} \frac{co}{ca}$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \frac{90 \text{ mm}}{240 \text{ mm}}$$

$$\theta_2 = 20^\circ$$

Para tener la medida del largo de la lámina inclinada se calcula la hipotenusa por medio de la siguiente ecuación. (ver Imagen 32)

Ecuación 11. Hipotenusa de la geometría

$$h = \sqrt{co^2 + ca^2}$$

Fuente: BALDOR Aurelio.  
 Geometría y trigonometría  
 Baldor. Ediciones Patria.  
 p.109. 2008.

$$h = \sqrt{co^2 + ca^2}$$

$$h = \sqrt{90^2 + 240^2}$$

$$h = 256,32 \text{ mm}$$

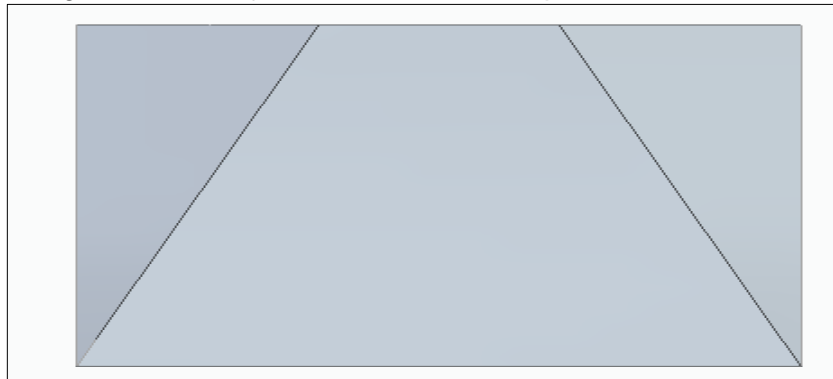
Vista superior.

Desde la parte superior de la bandeja se puede ver el ultimo ángulo que se debe tener en cuenta para el análisis. (ver Imagen 33).

El desarrollo de esta bandeja se realiza tomando las medidas calculadas y realizando los debidos dobleces sobre la lamina para garantizar la geometria diseñada.

Angulo direccionamiento superior.

Imagen 33. Bandeja direccionamiento superior



Fuente: elaboración propia

Con la cota de profundidad de 720 mm y el dato de la hipotenusa anterior de 256,32 mm se calcula el ángulo apertura de la inclinación de la bandeja.

$$\tan\theta = \frac{co}{ca} \rightarrow \theta = \tan^{-1} \frac{co}{ca}$$

$$\theta_3 = \tan^{-1} \frac{256,32 \text{ mm}}{720 \text{ mm}}$$

$$\theta_3 = 19,59^\circ$$

Con este ángulo se calcula las dimensiones totales de la lámina de direccionamiento, por medio de la hipotenusa se halla la dimensión faltante.

$$h = \sqrt{co^2 + ca^2}$$

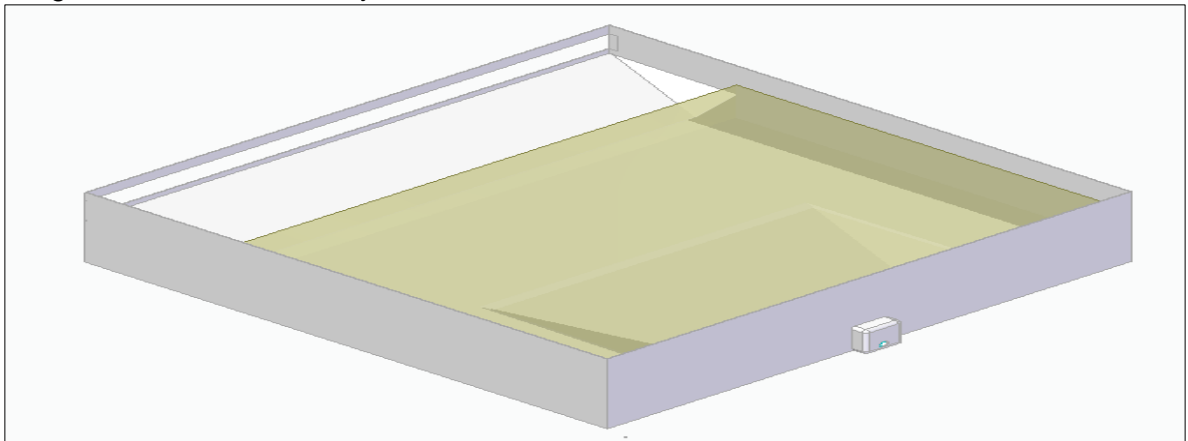
$$h = \sqrt{256,32\text{mm}^2 + 720\text{mm}^2}$$

$$h = 764,26 \text{ mm}$$

5.1.4.3 Capacidad máxima. El volumen máximo que soporta la bandeja se establece para saber el nivel máximo antes de existir un desborde de aceite en el sistema, el cálculo se realiza bajo las dimensiones y geometría ya establecida anteriormente.

La figura geometría de la bandeja es compleja y es necesario realizarlo por secciones dividiendo la inclinación de escurrimiento y el direccionamiento lateral.

Imagen 34. Volumen bandeja filtradora



Fuente: elaboración propia

Volumen inclinación de escurrimiento.

El volumen de aceite ocupado en la bandeja evidenciado en la Imagen 34 se calcula mediante la ecuación para un prisma triangular teniendo los siguientes datos.

Ecuación 12. Volumen de un prisma

$$V = \frac{b \times h}{2} \times p$$

Fuente: P BUSER. A. Costa, Curso de geometría básica. Ediciones Sanz Y Torres . p.66. 2012.

Donde;

b → base de la geometría.

h → altura de la bandeja inferior.

p → ancho de la bandeja.

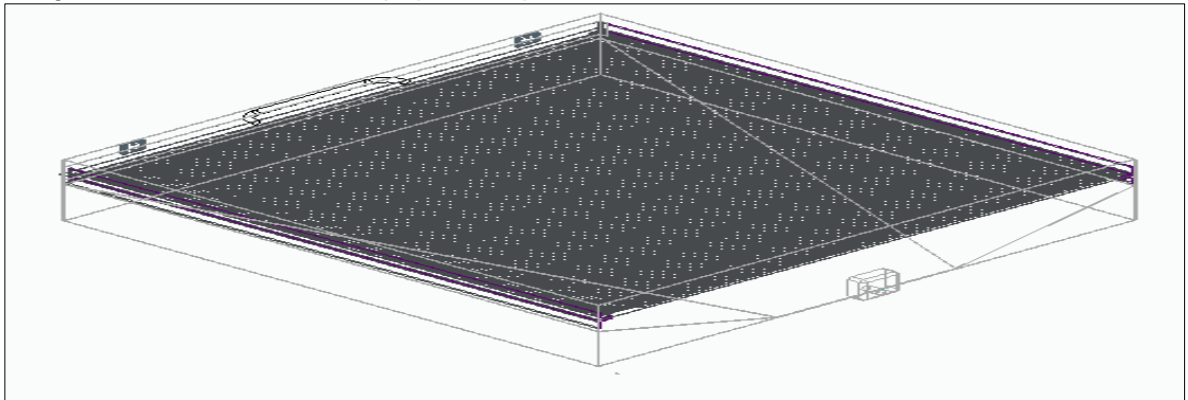
En donde la base = 720mm, la altura = 90mm y el ancho = 240mm.

$$V = \frac{720\text{mm} \times 90\text{mm}}{2} \times 240\text{mm}$$

$$V = 7776000\text{mm}^3$$

5.1.5 Geometría de la bandeja sección superior. Para evitar que las partículas de mayor tamaño se concentren en el orificio donde se ubicara la tubería se define una malla capaz de interrumpir el paso de estas permitiendo que el aceite sea succionado a velocidad constante, la parte superior de la bandeja tiene la capacidad de retirar un 95% de material contaminado ya que la mayor parte son retales de gran tamaño logrando dejar en el aceite el 5% de metal contaminante y que será retirado posteriormente, en la Imagen 35 se puede ver la configuración entre la bandeja y la malla.

Imagen 35. Geometría bandeja parte superior



Fuente: elaboración propia

Es importante resaltar que la limpieza de la bandeja se realizara de forma manual lo cual es pertinente realizar un sistema de apertura de fácil acceso evitando que exista derrame de aceite.

5.1.5.1 Selección de malla. Para escoger la mejor opción de separación de partículas se toma un parámetro inicial, se desea retirar partículas mayores de 5000 micras retirando así el material contaminante más grande en el sistema para que posteriormente exista mayor facilidad en la separación de micro partículas.

La malla es capaz de separar un 95% de material particulado y es fundamental saber cuánto es el peso que debe soportar el componente para así seleccionar la mejor opción.

Se determinan 3 pesos fundamentales sobre la malla donde los 2 primeros son cargas que no son constantes y una tercera que siempre va a estar presente.

Pac → peso Aceite.

Pmc → Peso material contaminado total.

Pmcb → Peso material contaminado en la bandeja superior.

Pmca → Peso material contaminado en la bandeja inferior.

$$Sg = \frac{141,5}{131,5 + API} = \frac{141,5}{131,5 + 31,8} = 0.8665$$

Ecuación 13. Gravedad específica en términos de densidades

$$Sg = \frac{\rho_{\text{fluido}}}{\rho_{H_2O}}$$

Fuente: CENGEL. Yunus A, Mecánica de fluidos. , Mexico. Ediciones Mc Graw Hill. p.52. 2006.

Con la ecuación 13 se halla la densidad del aceite Rando HD 32.

$$Sg = \frac{\rho_{\text{fluido}}}{\rho_{H_2O}}$$

$$\rho_{\text{fluido}} = \rho_{H_2O} \times Sg$$

$$\rho_{\text{fluido}} = 862,3 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{\text{fluido}} = \frac{m}{v}$$

Con esta densidad y apoyándose de la ecuación 9 se encuentra la masa del fluido contaminado.

$$m = \rho_{\text{fluido}} \times v$$

$$Pac = 0,007 \text{ m}^3 \times 862,3 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$Pac = 6,0361 \text{ kg}$$

Para determinar el peso total de material contaminado es importante saber los siguientes datos.

- Cada lamina tiene un peso de 700 gramos.
- Se troquelan 140 láminas por hora.
- Los turnos de las troqueladoras son de 6 a 8 horas.

De 1 lamina cromada con un peso de 700 g el 7.1% de material cae a la bandeja separadora.

$$\text{Cantidad de material particulado por lamina} = 700 \text{ gramos} \times 7,1\%$$

$$Cmpl = 50 \text{ gramos}$$

Para determinar la cantidad en una hora se realiza la siguiente ecuación.

$$\text{Cantidad por hora} = 50 \text{ gramos} \times 140 \text{ laminas}$$

$$\text{Cantidad por hora} = 7.000 \text{ gramos}$$

Teniendo en cuenta los datos iniciales, los turnos van de 6 a 8 horas, teniendo un total de material particulado.

Para un turno de 6 horas

$$\text{Total material particulado} = 7000 \text{ gramos} \times 6$$

$$Pmc = 42.000 \text{ gramos}$$

Para un turno de 8 horas

$$\text{Total material particulado} = 7000 \text{ gramos} \times 8$$

$$Pmc = 56.000 \text{ gramos}$$

Determinando el peso total de material particulado que cae sobre la bandeja se puede determinar qué cantidad de peso cae en la parte inferior y superior.

Parte inferior.

Para un turno de 6 horas

$$Pmca = 42.000 \times 5\%$$

$$Pmca = 2100 \text{ gramos}$$

Para un turno de 8 horas

$$Pmca = 42.000 \times 5\%$$

$$Pmca = 2.800 \text{ gramos}$$

Parte superior.

Para un turno de 8 horas

$$Pmcb = 42.000 \times 95\%$$

$$Pmcb = 39.900 \text{ gramos}$$

Para un turno de 8 horas

$$Pmcb = 56.000 \times 95\%$$

$$Pmcb = 53.200 \text{ gramos}$$

Para la selección de la malla se toma como referencia a la empresa icomallas reconocida en el mercado nacional por sus productos de alta calidad<sup>19</sup>; Según el fabricante, se encuentran diferentes mallas utilizadas en la industria y a partir del uso al cual tiene que ser sometido hay diferentes condiciones y calibres. Para la aplicación de separación de partículas en un aceite es recomendable usar una malla tejida en acero inoxidable AISI 304 (ver Anexo B).

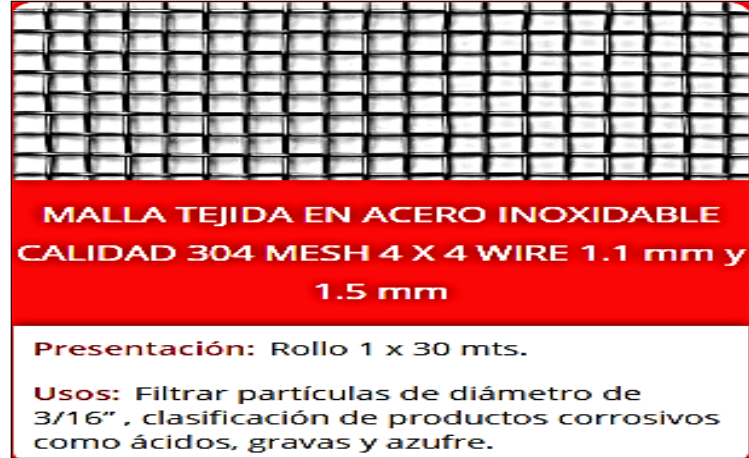
Para realizar la selección de la malla se tiene en cuenta como criterio principal la cantidad máxima de material particulado a filtrar en la separación del aceite, el cual retira partículas mayores a 5000 micras.

---

<sup>19</sup> ICOMALLAS. Malla tejida de acero inoxidable AISI 304. Colombia. 2016. Obtenido de: <http://www.icomallas.com/productos/mallas-tejidas>



Imagen 36. Selección de malla por diámetro de filtrado



Fuente: ICOMALLA, Malla tejida de acero inoxidable AISI 304 [en línea], [Citado 2 Marzo 2019]. Disponible en: <http://www.icomallas.com/productos/mallas-tejidas>

Para un pre filtrado de productos lubricantes la mejor opción es la malla tejida en acero inoxidable calidad 304 y con orificios de 5mm.

Para calcular las medidas de la malla es necesario saber el dato MESH (número de huecos por pulgada lineal).

$$\text{MESH} = \frac{25,4}{L + D}$$

$$\text{MESH} = \frac{25,4}{4,76\text{mm} + 1,1\text{mm}}$$

MESH =4,33 número de huecos por pulgada lineal

Imagen 37. Cuadro de medidas malla de separación

<b>MALLA TEJIDA EN ACERO INOXIDABLE</b>				
MESH PULGADA	CALIBRE MILÍMETROS	ABERTURA MILÍMETROS	ÁREA ABIERTA %	PESO METRO <sup>2</sup> / KILOGRAMO
1	2.030	23.37	84.6%	2.08
2	1.600	11.10	76.4%	2.58
3	1.370	7.097	70.3%	2.84
4	1.600	4.750	56.0%	5.17
4	1.500	4.850	58.3%	4.55
4	1.700	5.250	68.4%	2.44
5	1.400	3.680	52.5%	4.95
5	1.040	4.040	63.2%	2.73

Fuente: ICOMALLA, Malla tejida de acero inoxidable AISI 304 [en línea], Citado 2 Marzo 2019]. Disponible en: <http://www.icomallas.com/productos/mallastejidas>

según las características del sistema de pre filtrado se selecciona una malla en acero inoxidable con una apertura máxima de 4,850mm y con un área de apertura del 58,3% permitiendo que el aceite no se almacene en esta sección, sino que por gravedad fluya a la bandeja inferior donde será filtrado, en la Imagen 36 y 37 se encuentran las características principales de la malla seleccionada.

Nota: se recomienda utilizar una malla con un orificio menor, por ejemplo, de mesh 3, tiene agujero de 2,8 mm que ayuda a evitar el deterioro de la bomba y los filtros, y con este parámetro de selección se puede reducir a 4mm.

5.1.5.2 Soporte de malla. Es importante tener esta base para poder realizar un fácil mantenimiento sobre la bandeja, para el diseño de este componente es fundamental hallar las cargas que existen sobre los perfiles y así hallar el área gross (área bruta de sección transversal del perfil), determinando que perfil es el adecuado para implementar en el diseño, se tiene en cuenta la masa de material particulado retirado en la malla que es de 53,2 kgf y el material utilizado acero AISI A36 (ver Anexo C).

Se determina el valor de la carga mayorada para la estructura.

Ecuación 14. Carga mayorada

$$P_u = 1,4 \times D$$

Fuente: BEER, Ferdinand P, Mecánica de materiales. Santafé de Bogotá: Mc Graw Hill. p.308. 2007.

En donde D es la carga muerta que existe en la bandeja

$$P_u = 1,4 \times 53,2 \text{ kgf}$$

$$P_u = 74,48 \text{ kgf}$$

En donde  $P_u$  es la carga ejercida sobre el material y  $R_{d1}$  la Resistencia de diseño.  
 $P_u \leq R_{d1}$

Teniendo la carga mayorada y para determinar el área gross se asume que la resistencia de diseño va a ser igual a la carga anteriormente hallada para así poder tener el siguiente valor.

Ecuación 15. Resistencia de diseño

$$Rd1 = \emptyset \times Ag \times \gamma_y$$

Fuente: BEER, Ferdinand P, Mecánica de materiales. Santafé de Bogotá: Mc Graw Hill. p.309. 2007.

$$Rd1 = \emptyset \times Ag \times \gamma_y$$

Donde.

$\gamma_y$  → Límite de fluencia del material.

$\emptyset$  → Factor de resistencia

$Ag$  → Área gross

El límite de fluencia es el de un acero AISI A36

Ecuación 16.  
Área gross

$$Ag = \frac{Rd1}{\emptyset \times \gamma_y}$$

Fuente: BEER, Ferdinand P, Mecánica de materiales. Santafé de Bogotá: Mc Graw Hill. p.309. 2007.

$$Ag = \frac{Rd1}{\emptyset \times \gamma_y}$$

$$Ag = \frac{74,48 \text{ kgf}}{0,9 \times 25,3 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}}$$

$$Ag = 3,2709 \text{ mm}^2$$

Al hallar al área gross es importante consultar un fabricante reconocido y certificado para poder seleccionar el mejor perfil para esta estructura. Para la estructura se

escoge un perfil en L ya que por su geometría es el más adecuado para unir la malla al soporte. La empresa Gerdaucor SA trabaja con aceros AISI A36 fabricando perfiles en L<sup>20</sup> según su catálogo se selecciona la mejor opción. (ver Imagen 38 y 39)

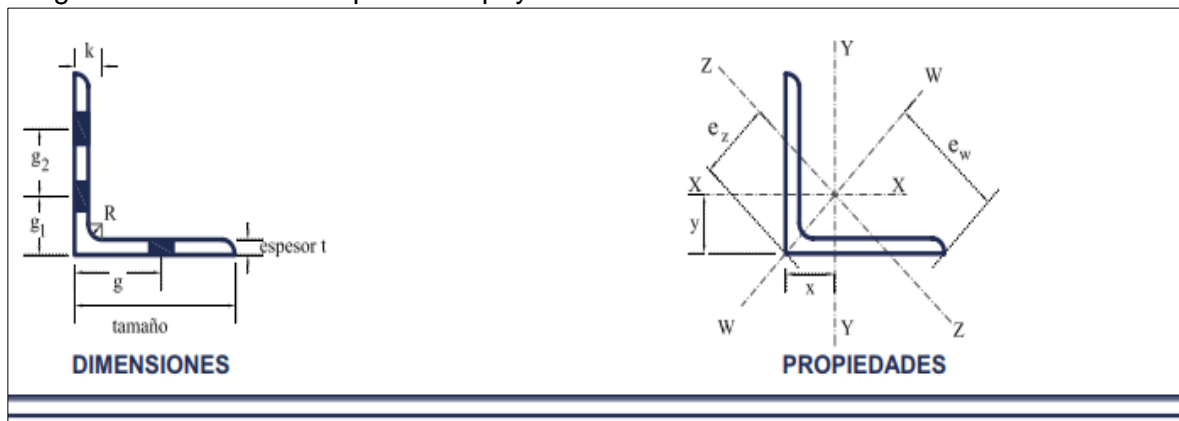
Imagen 38. Medidas y especificación perfil L

Designación tamaño x espesor	Peso	k	R	Gramil			Sujetadores				
				g	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>	Diámetro Máximo	Espac. Recom.			
PERFIL	mm* x mm*	in x in	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
LI	19 x 3	3/4 x 1/8	0.88	11.1	3.2	11	-	-	6.3	1/4	20
LI	25 x 3	1 x 1/8	1.19	11.1	3.2	14	-	-	9.5	3/8	30
LI	25 x 5	1 x 3/16	1.73	12.7	3.2	14	-	-	9.5	3/8	30
LI	25 x 6	1 x 1/4	2.22	14.3	3.2	14	-	-	9.5	3/8	30

Fuente: GERDAUCOR SA, Perfiles en acero AISI A36 perfiles en L [en línea], [Citado 2 Marzo 2019]. Disponible en: [https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/productsservices/products/Document%20Gallery/TABLAS%20DE%20DIMENSIONES\\_2017.pdf](https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/productsservices/products/Document%20Gallery/TABLAS%20DE%20DIMENSIONES_2017.pdf)

Como el área gross tiene un valor tan pequeño se toma el perfil más grande y cercano a nuestro valor teniendo en cuenta que será funcional para el perfil diseñado. Para establecer que este perfil cumple con las condiciones del diseño se hace un chequeo por esbeltez para determinar que sea el más acorde.

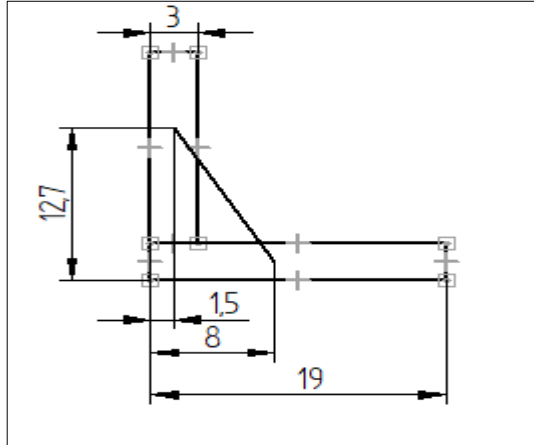
Imagen 39. Geometría del perfil de apoyo



Fuente: GERDAUCOR SA, Perfiles en acero AISI A36 perfiles en L [en línea], [Citado 2 Marzo 2019]. Disponible en: [https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/productsservices/products/Document%20Gallery/TABLAS%20DE%20DIMENSIONES\\_2017.pdf](https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/productsservices/products/Document%20Gallery/TABLAS%20DE%20DIMENSIONES_2017.pdf)

<sup>20</sup> Perfiles en acero AISI A36 perfiles en L. México. Gerdaucor SA. Obtenido de: [https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/productsservices/products/Document%20Gallery/TABLAS%20DE%20DIMENSIONES\\_2017.pdf](https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/productsservices/products/Document%20Gallery/TABLAS%20DE%20DIMENSIONES_2017.pdf)

Imagen 40. Perfil explicativo



Fuente: elaboración propia

En la imagen 40 se puede segmentado el perfil en L para realizar los cálculos pertinentes ubicados en la tabla 6 que servirán para el análisis de esbeltez.

Tabla 6. Diseño radio mínimo de giro

Figura	1	2	Sumatoria
bi(mm)	19	3	
hi(mm)	3	16	
Ai(mm <sup>2</sup> )	57	48	105
Xi(mm)	8	1,5	
Yi(mm)	1,5	12,7	
AiXi(mm <sup>3</sup> )	456	72	528
AiYi(mm <sup>3</sup> )	85,5	609,6	695,1
I Xi(mm <sup>4</sup> )	42,75	1024	
I Yi (mm <sup>4</sup> )	1714,75	36	

Fuente: elaboración propia

Para hallar el área gross se hace la sumatoria de A1 y A2 teniendo en cuenta que esta es el área total del perfil seleccionado.

$$A1 = 19\text{mm} \times 3\text{mm}$$

$$A1 = 57 \text{ mm}$$

$$A2 = 16\text{mm} \times 3\text{mm}$$

$$A1 = 48 \text{ mm}$$

$$A \text{ gross} = 57\text{mm} + 48\text{mm}$$

$$A \text{ gross} = 105 \text{ mm}$$

Conocido los datos  $b_i$  y  $h_i$  se puede calcular el momento de inercia que existe en los perfiles con las siguientes ecuaciones.

Ecuación 17. Momento de inercia

$$I_{Xi} = \frac{1}{12} b h^3$$

Fuente: BEER, Ferdinand P, Mecánica de materiales. Santafé de Bogotá: Mc Graw Hill. p.222. 2007.

$$I_{Xi} = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} (19)(3)^3 = 42,75 \text{ mm}^4$$

$$I_{Yi} = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} (19)^3(3) = 1714.75 \text{ mm}^4$$

$$I_{Xi} = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} (3)(16)^3 = 1024 \text{ mm}^4$$

$$I_{Yi} = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} (3)^3(16) = 36 \text{ mm}^4$$

Obteniendo los datos anteriores, por el teorema de los ejes paralelos se determina los valores de  $I_{XCGi}$  y  $I_{YCGi}$ .

Para poder determinar estos valores, primero se deben obtener los datos de X y Y y realizar la sumatoria respectiva.

Obtención del dato X

Ecuación 18. Datos X y Y

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n A_i x_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad Y = \frac{\sum_{i=1}^n A_i y_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Fuente: BEER, Ferdinand P, Mecánica de materiales. Santafé de Bogotá: Mc Graw Hill. p.223. 2007.

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n A_i x_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

$$X = \frac{528 \text{ mm}^3}{105 \text{ mm}^2}$$

$$X = 5,02 \text{ mm}$$

Obtención del dato Y

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n A_i y_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

$$Y = \frac{695,1 \text{ mm}^3}{105 \text{ mm}^2}$$

$$Y = 6,62 \text{ mm}$$

Para determinar los momentos de inercia en las figuras se realiza la siguiente operación.

Para el primer perfil.

$$IX_{CGi} = 42,75 \text{ mm}^4 + 57 \text{ mm}^2 (6,62 \text{ mm} - 1,5 \text{ mm})^2 = 1536,9708 \text{ mm}^4$$

$$IY_{CGi} = 1714,75 \text{ mm}^4 + 57 \text{ mm}^2 (5,02 \text{ mm} - 8 \text{ mm})^2 = 2220,932 \text{ mm}^4$$

Para el segundo perfil.

$$IX_{CGi} = 1714,75 \text{ mm}^4 + 48 \text{ mm}^2 (6,62 \text{ mm} - 12,7 \text{ mm})^2 = 3488,8872 \text{ mm}^4$$

$$IY_{CGi} = 36 \text{ mm}^4 + 48 \text{ mm}^2 (5,02 \text{ mm} - 1,5 \text{ mm})^2 = 630,7392 \text{ mm}^4$$

Se hace la sumatoria de momentos para determinar el total.

$$\sum IX_{CGi} = 1536,9708 \text{ mm}^4 + 3488,8872 \text{ mm}^4 = 5025,858 \text{ mm}^4$$

$$\sum IY_{CGi} = 2220,932 \text{ mm}^4 + 630,7392 \text{ mm}^4 = 2851,6712 \text{ mm}^4$$

Se procede hacer el cálculo del radio mínimo de giro para luego hacer el análisis de esbeltez.

Ecuación 19. Radio mínimo de giro

$$r_x = \sqrt{\frac{IXCG_i}{A_{gros}}}$$

Fuente: BEER, Ferdinand P, Mecánica de materiales. Santafé de Bogotá: Mc Graw Hill. p.224. 2007.

$$r_x = \sqrt{\frac{5025,858\text{mm}^4}{105\text{mm}^2}}$$

$$r_x = 6,918\text{mm}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{IYCG_i}{A_{gros}}}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{2851,6712\text{mm}^4}{105\text{mm}^2}}$$

$$r_y = 5,211\text{mm}$$

Se toma el radio menor para el cálculo de esbeltez y se analiza bajo la siguiente ecuación.

Ecuación 20. Análisis de esbeltez

$$\frac{k \times L}{r} \leq 300$$

Fuente: BEER, Ferdinand P, Mecánica de materiales. Santafé de Bogotá: Mc Graw Hill. p.225. 2007.



$$\frac{k \times L}{r} \leq 300$$

$$\frac{0,75 \times 720\text{mm}}{5,211\text{mm}} \leq 300$$

$$103,62 \leq 300$$

Lo que concluye es que el perfil seleccionado cumple con la aplicación a la que se va a usar.

5.1.5.2.1 Soldadura del perfil. Para la unión de este sistema se realiza el cálculo de soldadura donde se escoge una geometría en L esto se selecciona bajo un criterio de diseño, para garantizar la mejor aplicación. Se utiliza la siguiente tabla para determinar las ecuaciones que se utilizan. (Ver Anexo D ecuación 4).

Esta soldadura no se puede realizar por el método MIG (soldadura por arco de gas con electrodo consumible) ya que en la aplicación se soldará acero inoxidable con espesores mínimos, sin embargo, es importante resaltar que como es un proceso de soldadura de dos materiales diferentes la aplicación TIG (electrodo permanente de tungsteno) produce una soldadura mucho más segura.

Con lo anterior para un perfil en L, se utiliza la siguiente ecuación.

Ecuación 21.  
Soldadura en L

$$Aw = b + d$$

Fuente: MOTT,  
Robert L, Diseño de  
elementos de  
máquinas. México,  
Prentice – Hall.  
p.457. 2006.

Para estas ecuaciones los datos se deben tomar en unidades inglesas teniendo las siguientes medidas

Donde;

b es 19 mm → 0,748 in.

D es 19mm- 3mm= 16mm → 0,478 in.

$$A_w = 0,748 \text{ in} + 0,478 \text{ in}$$

$$A_w = 1,496 \text{ in} \rightarrow 37,99 \text{ mm}$$

Este perfil estará expuesto a una fuerza de compresión realizado por el material particulado que se deposita en la bandeja, con una carga igual a 53,2 Kgf  $\rightarrow$  117,2859 lbf.

Ecuación 22. Fuerza de compresión

$$f = \frac{P}{A_w}$$

Fuente: MOTT, Robert L, Diseño de elementos de máquinas. México, Prentice – Hall. p.458. 2006.

$$f = \frac{117,2859 \text{ lbf}}{1,496 \text{ in}}$$

$$f = 78,399 \frac{\text{lbf}}{\text{in}} \rightarrow 1,4036 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}}$$

Esta carga se divide en los cuatro perfiles para determinar la carga cortante vertical que se ejerce sobre la estructura.

$$f = \frac{78,399 \frac{\text{lbf}}{\text{in}}}{4}$$

$$f = 19,599 \frac{\text{lbf}}{\text{in}}$$

Para una sumatoria de fuerzas igual a:

$$f = 19,599 \frac{\text{lbf}}{\text{in}} + 78,399 \frac{\text{lbf}}{\text{in}}$$

$$f = 97,998 \frac{\text{lbf}}{\text{in}}$$

Ahora de acuerdo con las tablas de esfuerzos sobre estructuras se selecciona el cordón de acero inoxidable para así determinar el ancho de soldadura, teniendo en cuenta la fuerza admisible por pulgada de lado.

El ancho de la soldadura se hallará mediante la siguiente información

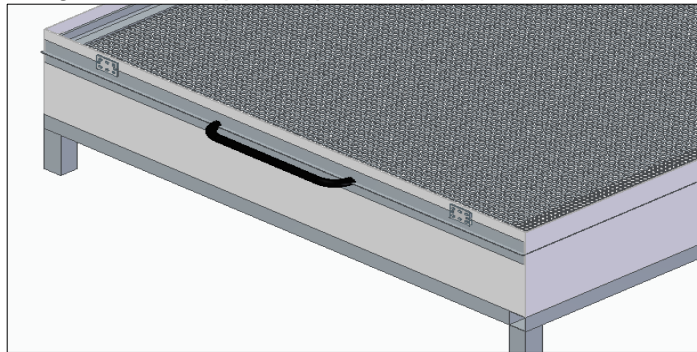
$$W = \frac{104,532 \frac{\text{lbf}}{\text{in}}}{9600 \frac{\text{lbf}}{\text{in lado}}}$$

$$W = 0,01088 \text{ in}$$

Para la aplicación de nuestra soldadura se exige una soldadura de 3/16 in ya que debido al espesor del perfil es el más adecuado.

5.1.5.3 Compuerta. Para la disposición del material de mayor volumen retenido por la bandeja en la parte superior se contará con una compuerta que servirá a su vez para montaje y desmontaje de la malla en el caso que la misma haya cumplido su vida útil, además para el mantenimiento en general que se requiera hacer todo el sistema de la bandeja.

Imagen 41. Compuerta para limpieza



Fuente: elaboración propia

La compuerta tendrá unas bisagras que ayudan a sostener la compuerta en la bandeja, este elemento no necesita de estudios y cálculos de diseño ya que no va a estar expuesto a ninguna carga, la configuración de esta se puede ver en la Imagen 41.

5.1.6 Estructura. La bandeja será puesta en unos perfiles para evitar que este anclada al piso y al mismo tiempo evitar que exista salpicaduras fuera del sistema así mismo el material es un acero ASTM A36 para la estructura ya que este material es adecuado y es el más económico en la industria. Se desea realizar una estructura capaz de soportar el material residual de las tapas, el aceite y el peso de esta para eso se realiza el cálculo de cargas que actúa sobre la bandeja y sobre su estructura.

Para determinar el perfil de la estructura se escoge al fabricante colmena reconocido en la industria por sus perfiles<sup>21</sup> en acero AISI A36

El perfil a utilizar es un perfil cuadrado que por su geometría es el más adecuado para el sistema como se ilustra en la imagen 42.

Imagen 42. Estructura cuadrada

PERFIL CUADRADO											
TAMAÑO PERFIL		ESPESOR DE PARED e mm	PESO NEGRO (kg/m)	ÁREA cm <sup>2</sup>	FLEXIÓN			MÓDULO PLÁSTICO Zx = Zy cm <sup>3</sup>	TORSIÓN		UNIDAD DE EMPAQUE
TAMAÑO NOMINAL					MOMENTO INERCIA Ix = Iy cm <sup>4</sup>	MÓDULO ELÁSTICO Sx = Sy cm <sup>3</sup>	RADIO DE GIRO rx = ry cm		MOMENTO INERCIA J cm <sup>4</sup>	MÓDULO ELÁSTICO B cm <sup>3</sup>	
PULG.	MM										
1 X 1	25 X 25	1,50	1,06	1,35	1,22	0,97	0,95	1,17	2,03	1,48	36
		2,00	1,36	1,73	1,48	1,19	0,93	1,47	2,58	1,82	
		2,50	1,64	2,09	1,69	1,35	0,90	1,71	3,07	2,11	
1 4/7 X 1 4/7	40 X 40	1,50	1,77	2,25	5,49	2,75	1,56	3,22	8,77	4,13	25
		2,00	2,31	2,94	6,94	3,47	1,54	4,13	11,36	5,25	
		2,50	2,82	3,59	8,22	4,11	1,51	4,97	13,79	6,25	

Fuente: COLMENA. Perfiles estructurales tubular. Colombia [Citado 10 Marzo 2019].  
Obtenido de: <http://tuboscolmena.com/colmena/productos-estructurales/>

Se determina el valor de la carga mayorada para la estructura.

$$P_u = 1,4 \times D$$

En donde D es la carga muerta presente en la estructura

$$P_u = 1,4 \times 33,32924 \text{ kgf}$$

$$P_u = 46,6609 \text{ kgf}$$

Teniendo la carga mayorada y para determinar el área gross se asume que la resistencia de diseño va a ser igual a la carga anteriormente hallada para así poder tener el siguiente valor.

$$R_{d1} = \phi \times A_g \times \sigma_y$$

Donde.

$\sigma_y$  → Límite de fluencia del material.

$\phi$  → Factor de resistencia.

<sup>21</sup>COLMENA. Perfiles estructurales tubular. Colombia. Obtenido de: <http://tuboscolmena.com/colmena/productos-estructurales/>

Ag → Área gross.

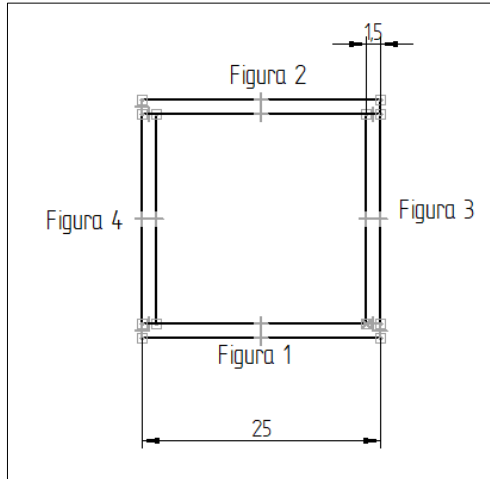
El límite de fluencia es el de un acero AISI A36

$$A_g = \frac{Rd1}{\phi \times \sigma_y}$$

$$A_g = \frac{46,6609 \text{ kgf}}{0,9 \times 25,3 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}}$$

$$A_g = 2,0017 \text{ mm}^2$$

Imagen 43. Esquema perfil cuadrado



Fuente: elaboración propia

Tabla 7. Radio mínimo de giro perfil cuadrado

Figura	1	2	3	4	Sumatoria
bi(mm)	2,5	25	1,5	1,5	
hi(mm)	1,5	1,5	22	22	
Ai(mm <sup>2</sup> )	37,5	37,5	33	33	141
Xi(mm)	12,5	12,5	24,25	0,75	
Yi(mm)	0,75	24,25	12,5	12,5	
AiXi(mm <sup>3</sup> )	468,75	468,75	800,25	24,75	1762,5
AiYi(mm <sup>3</sup> )	28,125	909,375	412,5	412,5	1762,5
I Xi(mm <sup>4</sup> )	1953,12	1953,12	6,1375	6,1375	
I Yi(mm <sup>4</sup> )	7,0312	7,03125	1331	1331	

Fuente: elaboración propia

Obtención del dato X

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n Aixi}{\sum_{i=1}^n Ai}$$
$$X = \frac{1762,5 \text{ mm}^3}{141 \text{ mm}^2}$$
$$X = 12,5 \text{ mm}$$

Obtención del dato Y

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n Aiyi}{\sum_{i=1}^n Ai}$$
$$Y = \frac{1762,5 \text{ mm}^3}{141 \text{ mm}^2}$$
$$Y = 12,5 \text{ mm}$$

Para determinar los momentos de inercia de cada una de las figuras se realiza la siguiente operación.

Para la primera figura.

$$IXCGi = 1953,125 \text{ mm}^4 + 37,5 \text{ mm}^2 (12,5 \text{ mm} - 12,5\text{mm})^2 = 1953,125 \text{ mm}^4$$

$$IYCGi = 7,03125 \text{ mm}^4 + 37,5 \text{ mm}^2 (12,5 \text{ mm} - 0,75\text{mm})^2 = 5184,375 \text{ mm}^4$$

Para la segunda figura.

$$IXCGi = 1953,125 \text{ mm}^4 + 37,5 \text{ mm}^2 (12,5 \text{ mm} - 12,5,5\text{mm})^2 = 1953,125 \text{ mm}^4$$

$$IYCGi = 7,03125 \text{ mm}^4 + 37,5 \text{ mm}^2 (12,5 \text{ mm} - 24,25\text{mm})^2 = 5184,375 \text{ mm}^4$$

Para la tercera figura.

$$IXCGi = 6,1875 \text{ mm}^4 + 33 \text{ mm}^2 (12,5 \text{ mm} - 24,25 \text{ mm})^2 = 4562,25 \text{ mm}^4$$

$$IYCGi = 1331 \text{ mm}^4 + 33 \text{ mm}^2 (12,5\text{mm} - 12,5\text{mm})^2 = 1331 \text{ mm}^4$$

Para la cuarta figura.

$$IXCGi = 6,1875 \text{ mm}^4 + 33 \text{ mm}^2 (12,5 \text{ mm} - 0,75 \text{ mm})^2 = 4562,25 \text{ mm}^4$$

$$IYCGi = 1331 \text{ mm}^4 + 33 \text{ mm}^2 (12,5\text{mm} - 12,5\text{mm})^2 = 1331 \text{ mm}^4$$

Se hace la sumatoria de momentos para determinar el total.

$$\sum IXCGi = 857,375 \text{ mm}^4 + 1842 \text{ mm}^4 + 857,375 \text{ mm}^4 + 1842 \text{ mm}^4 = 5398,75 \text{ mm}^4$$

$$\sum IYCGi = 2187,375 \text{ mm}^4 + 512 \text{ mm}^4 + 2187,375 \text{ mm}^4 + 512 \text{ mm}^4 = 5398,75 \text{ mm}^4$$

Se procede hacer el cálculo del radio mínimo de giro para luego hacer el análisis de esbeltez.

$$r_x = \sqrt{\frac{IXCGi}{A_{\text{Gros}}}}$$

$$r_x = \sqrt{\frac{13030,75 \text{ mm}^4}{141 \text{ mm}^2}}$$

$$r_x = 9,61225 \text{ mm}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{IYCGi}{A_{\text{Gros}}}}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{13030,75 \text{ mm}^4}{141 \text{ mm}^2}}$$

$$r_y = 9,61225 \text{ mm}$$

Se toma el radio menor para el cálculo de esbeltez y se analiza bajo la siguiente ecuación.

$$\frac{k \times L}{r} \leq 300$$

$$\frac{0,75 \times 300 \text{ mm}}{9,61225 \text{ mm}} \leq 300$$

$$23,4049 \leq 300$$

5.1.6.1 Soldadura estructural. Para la unión de este sistema se realiza el cálculo de soldadura para poder juntar la bandeja a la estructura.

Se utiliza el radio mínimo de giro soldadura para determinar la ecuación 21. (Anexo D dato 7)

$$A_w = 2b + 2d$$

Para estas ecuaciones los datos se deben tomar en unidades inglesas teniendo las siguientes medidas 25 mm  $\rightarrow$  1 in.

$$A_w = 2(1 \text{ in}) + 2(1 \text{ in})$$

$$A_w = 4 \text{ in}$$

Este perfil estará expuesto a una fuerza de compresión realizado por el material particulado que se deposita en la bandeja, con una carga igual a 53,2 Kgf  $\rightarrow$  167,88 lbf s utiliza la ecuación 22.

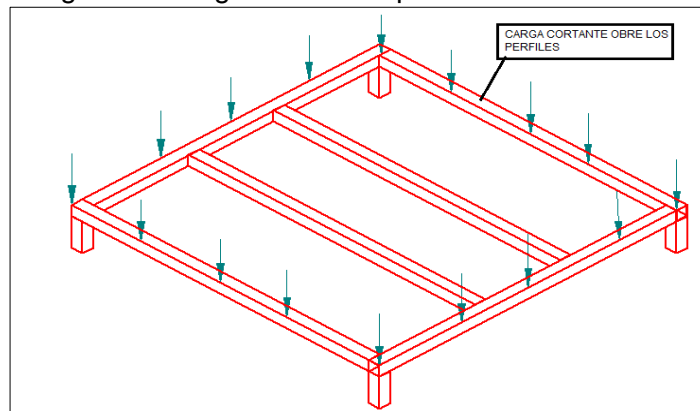
$$f = \frac{P}{A_w}$$

$$f = \frac{167,88 \text{ lbf}}{4 \text{ in}}$$

$$f = 41,97 \frac{\text{lbf}}{\text{in}}$$

Esta carga se divide en los perfiles para determinar la carga cortante vertical que se ejerce sobre la estructura.

Imagen 44. Cargas sobre los perfiles



Fuente: elaboración propia



$$f = \frac{41,97 \frac{\text{lbf}}{\text{in}}}{4}$$

$$f = 10,49 \frac{\text{lbf}}{\text{in}}$$

Para una sumatoria de fuerzas igual a:

$$f = 41,97 \frac{\text{lbf}}{\text{in}} + 10,49 \frac{\text{lbf}}{\text{in}}$$

$$f = 52,46 \frac{\text{lbf}}{\text{in}}$$

Ahora de acuerdo con las tablas de esfuerzos sobre estructuras se selecciona el electrodo para así determinar el ancho de soldadura, teniendo en cuenta la fuerza admisible por pulgada de lado.

Tabla 8. Esfuerzos cortantes y fuerzas sobre soldaduras

Grado ASTM del metal base	Electrodo	Esfuerzo cortante admisible	Fuerza admisible por pulgada de lado
Estructuras de edificios			
A36, A441	E60	136000 psi	9600 lb/pulg
A36, A441	E70	15800 psi	11200 lb/pulg
Estructuras de puentes			
A36	E60	12400 psi	8800 lb/pulg
A441, A242	E70	14700 psi	10400 lb/pulg

Fuente: elaboración propia con base en. Diseño de elementos de máquinas. Robert L.Mott cuarta edición, [Citado 20 Abril 2019]. abril 2019.

Se establece el tipo de electrodo a usar para obtener la mejor soldadura en el diseño de la bandeja.

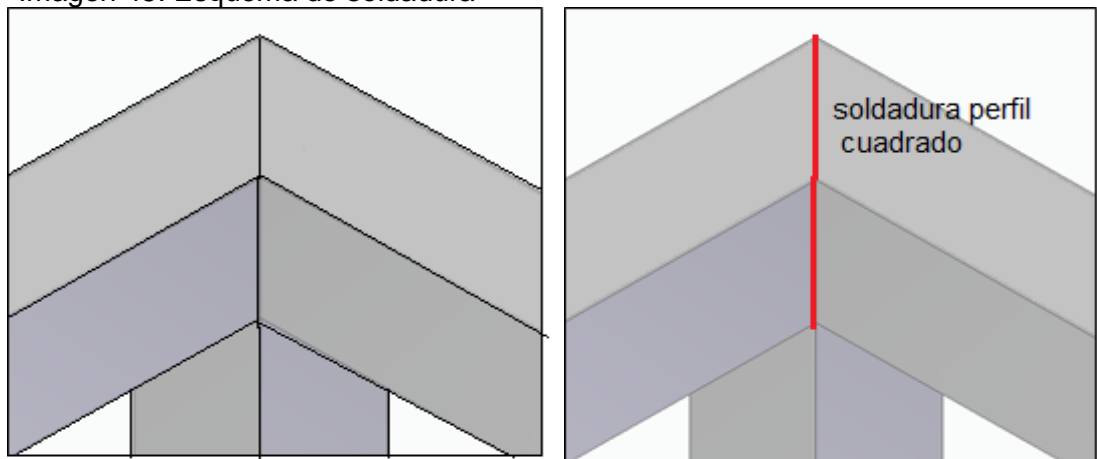
El ancho de la soldadura se hallará mediante la siguiente información

$$W = \frac{52,46 \frac{\text{lbf}}{\text{in}}}{9600 \frac{\text{lbf}}{\text{in lado}}}$$

$$W = 5,46 \times 10^{-3} \text{ in}$$

Para la aplicación de la soldadura se utilizará un electrodo de 3/32", en los elementos de acero inoxidable se recomienda no usar electrodo revestido para evitar el proceso de remoción de escoria y contaminación del material. Se realizará el proceso de soldadura tipo TIC con material de aporte alambre inoxidable de 1 mm de diámetro y gas protector argón para evitar la contaminación de la soldadura, posterior a la soldadura es necesario realizar la respectiva limpieza a los cordones según procedimientos de limpieza para soldaduras en acero inoxidable aplicando ácido y sabra.

Imagen 45. Esquema de soldadura

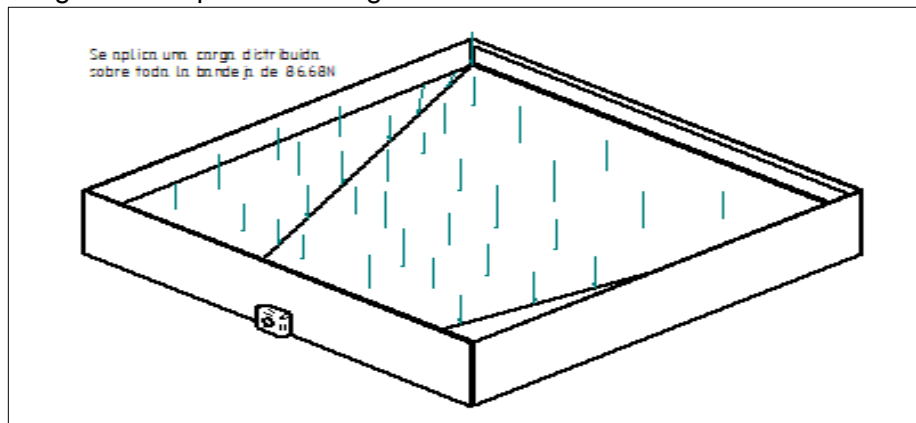


Fuente: elaboración propia

5.1.6.2 Calculo cargas bandeja inferior. Este elemento es el más crítico en este subsistema ya que es el que resiste el peso total del aceite y material particulado que se va a almacenar.

Para el cálculo de la bandeja inferior de Acero Inoxidable con un esfuerzo admisible  $Y = 205 \text{ Mpa}$ , se tiene una fuerza total sobre la bandeja  $F = 86,682 \text{ N}$ .

Imagen 46. Esquema de cargas

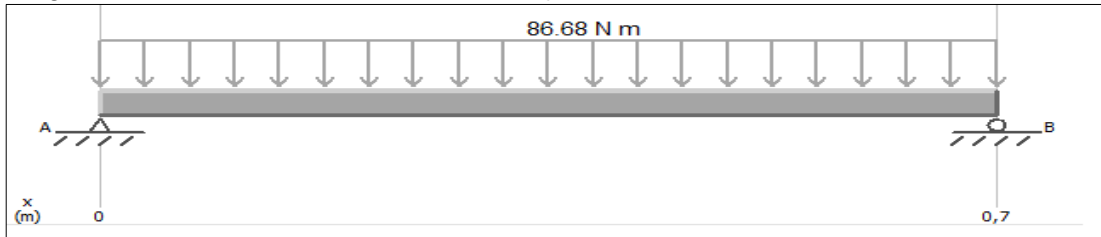


Fuente: elaboración propia

Teniendo estos datos se procede a determinar el espesor mínimo para que la bandeja resista este peso.

Para graficar los diagramas de momentos y cortante se utilizó un software gratuito llamado MD solids 4.0 el cual arrojó los datos y gráficas correspondientes a la bandeja, para corroborar los datos obtenidos por el programa se realiza los cálculos manualmente y se comparan para así concluir que el programa es confiable para la aplicación.

Imagen 47. Fuerza distribuida en la bandeja



Fuente: elaboración propia

Se realiza el diagrama de cuerpo libre para determinar las fuerzas que se ejercen. (ver Imagen 47)

$$\sum F_y = 0$$

$$0 = R_a - F + R_b$$

Ecuación 23. Fuerza puntual

$$F = \text{Fuerza distribuida} \times \text{largo de la pieza}$$

Fuente: BEER, Ferdinand P, Mecánica de materiales. Santafé de Bogotá: Mc Graw Hill. p.29.2007.

$$F = 86,68 \text{ N/m} \times 0,72 \text{ m}$$

$$F = 62,40 \text{ N}$$

$$R_a = R_b$$

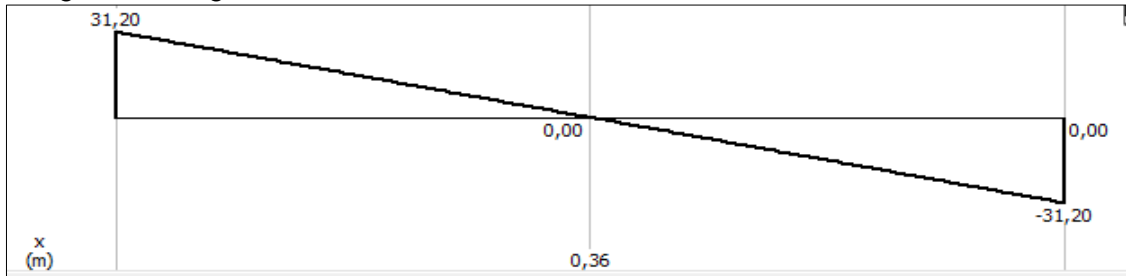
$$0 = R_a - F + R_a$$

$$R_a = \frac{62,40 \text{ N}}{2} = 31,2 \text{ N}$$

$$R_b = 31,2 \text{ N}$$

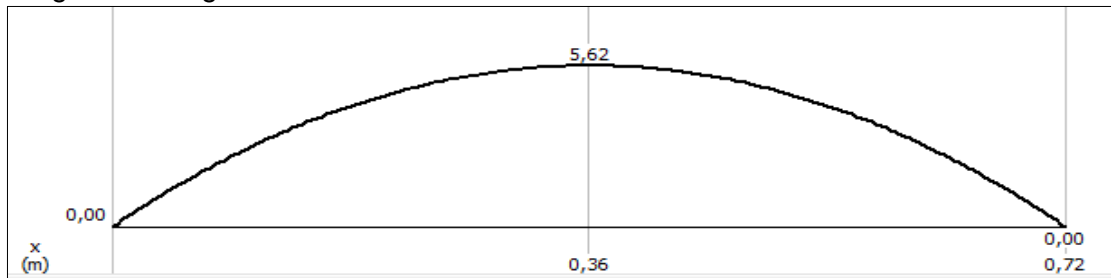
Ya con estos datos hallados y apoyándose del software los diagramas de cortante y momento (imagen 48 y 49) se pueden hallar para saber el máximo momento que se da en el sistema a calcular.

Imagen 48. Diagrama de cortante



Fuente: elaboración propia

Imagen 49. Diagrama de momentos.



Fuente: elaboración propia

$$M = 5,62 \text{ Nm}$$

Para poder determinar el espesor mínimo en la lámina se hace la siguiente operación.

Se utiliza la ecuación 24 en donde se determina el esfuerzo admisible.

Ecuación 24. Factor de seguridad

$$F.S = \frac{\sigma_{\text{material}}}{\sigma_{\text{adm}}}$$

Fuente: MOTT, Robert L, Diseño de elementos de máquinas. México, Prentice - Hall p.28. 2006.

Donde;

F.S → Factor de seguridad según el criterio del libro Diseño de elemento de máquinas de Mott se escoge un valor entre 2- 4.

$\sigma$  material → Acero inoxidable 230 MPa

$\sigma_{adm}$  → Esfuerzo admisible

$$\sigma \text{ admisible} = \frac{\sigma_{\text{material}}}{F.S}$$

$$\sigma \text{ admisible} = \frac{230 \text{ MPa}}{4} = 57,5 \text{ MPa}$$

Con este dato y aplicando la ecuación 25 y 26 se procede hallar el ancho mínimo de la lámina inferior de la bandeja

Ecuación 25. Esfuerzo admisible

$$\sigma \text{ admisible} = \frac{M C}{I}$$

Fuente: MOTT, Robert L, Diseño de elementos de máquinas. México, Prentice - Hall, 2006.

Donde:

$\sigma$  admisible → Esfuerzo admisible 57,5 MPa

M → Momento 5,62 Nm

$$C \rightarrow \frac{h}{2}$$

Este cálculo espera flexión de vigas ya que se asumió toda la bandeja como si fuera una viga.

El valor I se halla mediante la ecuación 26.

Ecuación 26. Inercia del perfil

$$I = \frac{1}{6} b \times h^3$$

Fuente: SHIGLEY, Joseph Edward, Diseño en ingeniería mecánica. Mc Graw Hill, p.71. 2006.

Esta ecuación se reemplaza en la ecuación 25 para hallar el valor de h.

Nota: Cabe aclarar que esta bandeja va a tener un proceso de doblado y posteriormente se va unir por medio de soldadura, por el método de soldadura TIG y un cordón de material de acero inoxidable para poder soldar este material

$$\sigma \text{ admisible} = \frac{M C}{\frac{1}{6} b \times h^3}$$

$$57,5 \times 10^6 \text{ MPa} = \frac{0,57 \text{ Kgf} \times \frac{h}{2}}{\frac{1}{6} (0,72\text{m}) \times h^3}$$

$$h = 0,20 \text{ mm}$$

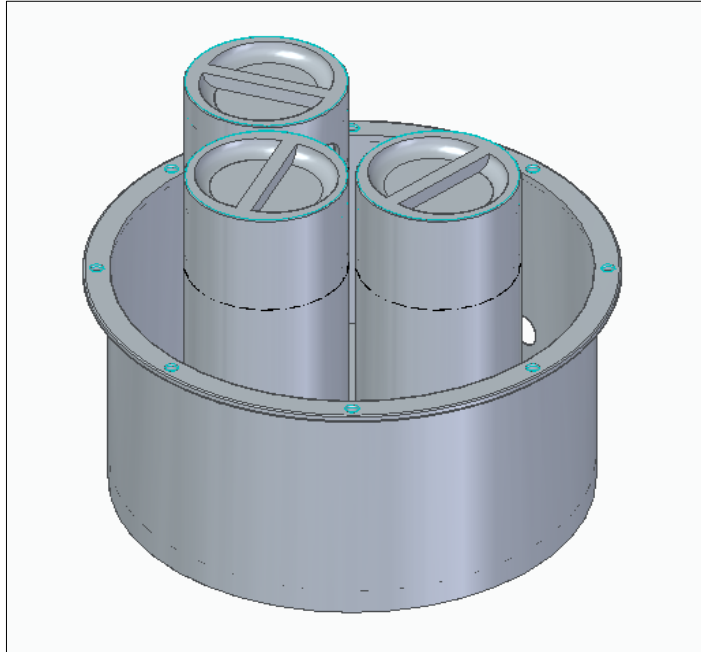
la bandeja en la parte inferior se fabricará con una lámina de 0,20 mm, comercialmente se escoge una lámina de calibre 28 que es el valor más cercano por encima a la medida.

## 5.2 SISTEMA DE FILTRADO.

El subsistema principal de la máquina es el de filtrado ya que por medio de la elaboración del mismo se logrará retener y disponer de las partículas inmersas en el aceite; se tuvieron en cuenta para el diseño; la selección de los elementos filtrantes, el caudal de aceite en la máquina.

5.2.1 Geometría de cámaras. Se realizarán tres cámaras que se encargaran de recibir el aceite por medio de una bomba para que en su interior sea filtrado, estas cámaras constaran de un cilindro en el cual se almacenará el aceite; como se puede observar en la Imagen 50. Por experiencia de los fabricantes se diseñan de tres a cuatro cámaras dependiendo el volumen de aceite a filtrar.

Imagen 50. Cámaras de filtrado



Fuente: elaboración propia

5.2.1.1 Cilindro de almacenamiento. Para este cilindro se estima una altura de 0,2 metros y un diámetro de 0,1m por limitaciones de espacio en la troqueladora, la filtradora se encuentra limitada por un espacio único disponible en la maquina actual; con estas dimensiones se hallará el volumen máximo que tendrá cada una de las cámaras.

Ecuación 27. Volumen de un cilindro

$$V_{\text{cámara}} = \frac{\pi}{4} (\phi)^2 \times h$$

Fuente: P BUSER. A. Costa, Curso de geometría básica. Ediciones Sanz Y Torres . p.67. 2012.

$$V_{\text{cámara}} = \frac{\pi}{4} (0,1 \text{ m})^2 \times 0,2\text{m}$$

$$V_{\text{cámara}} = 1,57 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

5.2.1.2 Selección de material. Para la selección de material se realizó una tabla con los materiales metálicos con la capacidad de soportar las condiciones a las que estará sometido por presencia de fluidos, se identifican 3 materiales con características óptimas para el sistema y la selección se realiza basándose en la necesidad del diseño.

Tabla 9. Selección de material

Material	Características	Ventajas
Acero galvanizado	Resistencia a la abrasión y a la corrosión	Resistencia mecánica elevada Alta duración
Acero inoxidable	Resistencia a la corrosión y oxidación	Protección integral de las piezas Alta vida útil Gran capacidad de flexibilidad
Aluminio	Conductividad y resistencia a la corrosión	No tóxico Versatilidad Maleabilidad

Fuente: elaboración propia

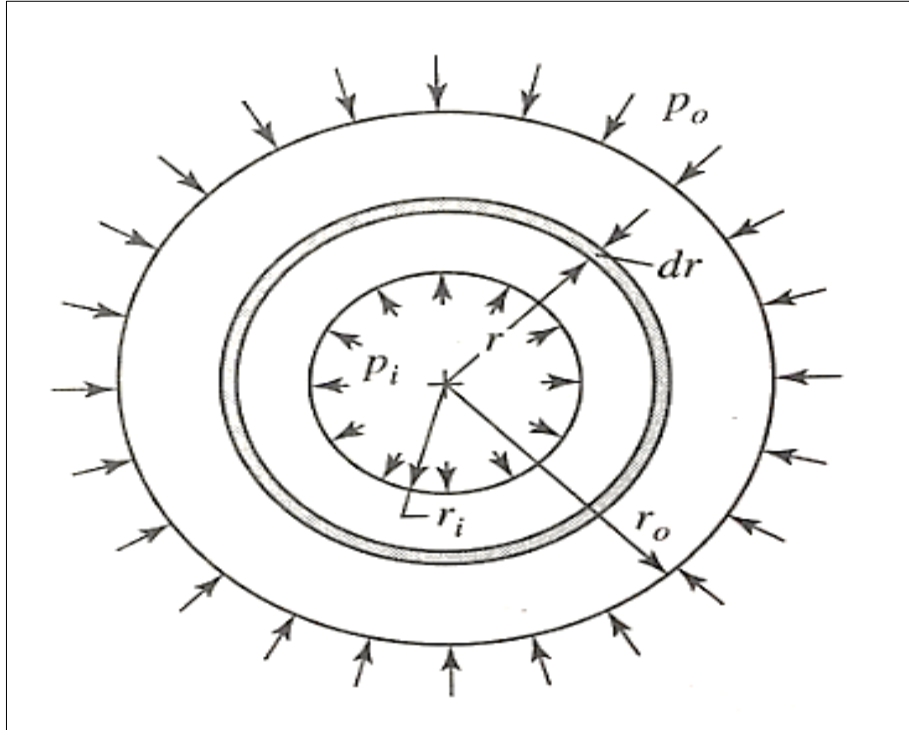
Se seleccionó el acero inoxidable para las cámaras ya que contrarrestará los efectos que conllevaría someter un material a fluidos como el aceite, agua y aire; su costo es un poco elevado, pero se considera que para la aplicación es necesario un material con alta vida útil.

5.2.1.3 Calculo de tanques sometidos presión. Los recipientes cilíndricos que están sometidos a alta presión desarrollan esfuerzos radiales y tangenciales con magnitudes que dependen del radio del elemento a considerar, en la imagen 51 se ve la representación de dichos esfuerzos. Las cámaras de filtrado en la etapa de auto lavado y filtrado experimentan presiones entre los 70 y 90 psi es por esto que será necesario determinar si las dimensiones del tanque y el material garanticen que la cámara soporte dichos esfuerzos.

Inicialmente estas cámaras serán diseñadas en un calibre de lámina de 10, dependiendo del resultado del cálculo se considerará el espesor óptimo para este sistema.



Imagen 51. Cilindro sometido a presión interna y externa



Fuente: SHIGLEY, Joseph Edward, Diseño en ingeniería mecánica. Mc Graw Hill, 2003.

Al determinar el  $\sigma$  tangencial y  $\sigma$  radial, la elongación longitudinal es constante alrededor de la circunferencia del cilindro, es decir que si una sección recta del cilindro permanece plana después de haber sido sometida a un esfuerzo.

Ecuación 28. Esfuerzo tangencial

$$\sigma_{\text{radial}} = \frac{P_i r_i^2 - P_o r_o^2 - \frac{r_i^2 r_o^2 (P_o - P_i)}{r^2}}{r_o^2 - r_i^2}$$

Fuente: SHIGLEY, Joseph Edward, Diseño en ingeniería mecánica. Mc Graw Hill, p.108. 2003.

Ecuación 29. Esfuerzo radial

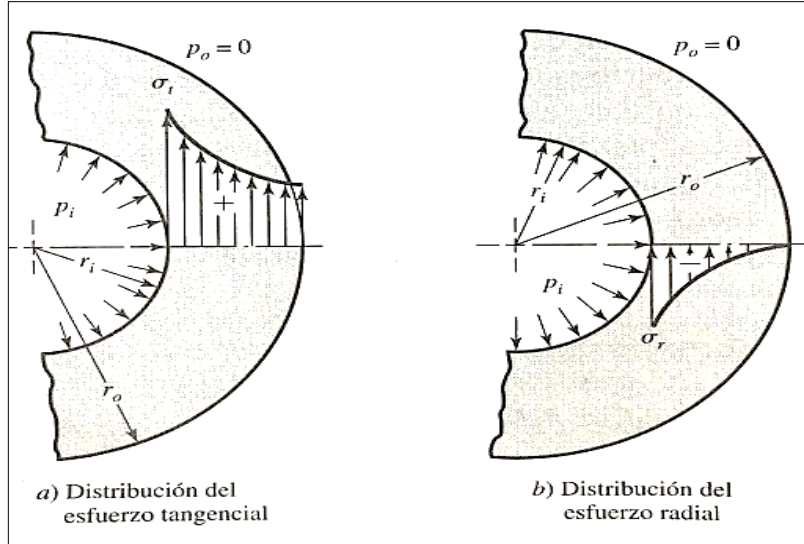
$$\sigma_{\text{tangencial}} = \frac{P_i r_i^2 - P_o r_o^2 + \frac{r_i^2 r_o^2 (P_o - P_i)}{r^2}}{r_o^2 - r_i^2}$$

Fuente: SHIGLEY, Joseph Edward, Diseño en ingeniería mecánica. Mc Graw Hill, p.108. 2003.

Donde en las ecuaciones 28 y 29 el radio interno se designa por  $r_i$ , el radio exterior por  $r_o$ , la presión interna por  $P_i$  y presión externa por  $P_o$ ; variables definidas en la imagen 52.

Como es usual, los valores positivos indican tensión y los negativos compresión, como la cámara en el exterior no estará sometida a presión  $P_o = 0$ , además el esfuerzo tangencial máximo ocurrirá en el radio interior por tanto se usa  $r = r_i$ .

Imagen 52. Distribución de esfuerzo en cilindro pared gruesa



Fuente: SHIGLEY, Joseph Edward, Diseño en ingeniería mecánica. Mc Graw Hill, 2003.

$$\sigma_{\text{radial}} = \frac{620528,81\text{Pa} \times 0,0478\text{m}^2 + \frac{0,0478\text{m}^2 \cdot 0,051\text{m}^2 \cdot (-620528,81\text{Pa})}{0,0478^2}}{0,051\text{m}^2 - 0,0478^2}$$

$$\sigma_{\text{radial}} = -620528,3\text{Pa} \rightarrow -0,6\text{MPa (compresión)}$$

$$\sigma_{\text{tangencial}} = \frac{620528,81\text{Pa} \times 0,0478\text{m}^2 - \frac{0,0478\text{m}^2 \cdot 0,051\text{m}^2 \cdot (-620528,81\text{Pa})}{0,0478^2}}{0,051\text{m}^2 - 0,0478^2}$$

$$\sigma_{\text{radial}} = 9589452,045 \text{ Pa} \rightarrow 9,58\text{MPa (tensión)}$$

para determinar el esfuerzo longitudinal se utiliza la ecuación 30.

Ecuación 30. Esfuerzo longitudinal

$$\sigma_{\text{longitudinal}} = \frac{P_i r_i^2}{r_o^2 - r_i^2}$$

Fuente: SHIGLEY, Joseph Edward, Diseño en ingeniería mecánica. Mc Graw Hill, p.108. 2003.

$$\sigma_{\text{longitudinal}} = \frac{620528,81 \text{ Pa} \times 0,0478 \text{ m}^2}{0,051 \text{ m}^2 - 0,0478^2}$$

$$\sigma_{\text{longitudinal}} = 4539087,446 \text{ Pa} \rightarrow 4,53 \text{ MPa}$$

con los valores obtenidos de los esfuerzos y con el valor del esfuerzo del material AISI SAE 304L con límite de fluencia de 230 MPa las cámaras podrán soportar la presión a la que serán sometidas.

5.2.2 Selección de velas filtrantes. Para el sistema de filtrado se requiere de un elemento que retire las partículas metálicas del aceite lubricante para esto es importante implementar el mejor elemento filtrante que reduzca el máximo de micras de partículas contaminantes.

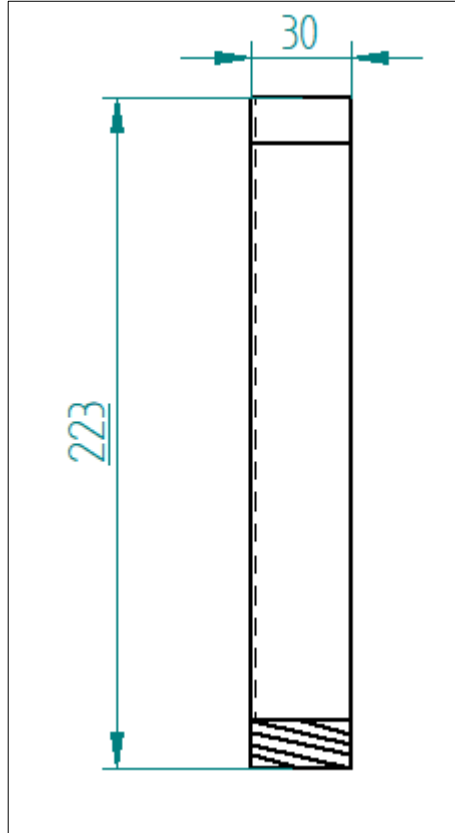
Para la selección de estos elementos filtrantes se tiene en cuenta la alternativa 1 previamente descrita en el capítulo 4 donde se eligen velas filtrantes capaces de filtrar hasta un régimen de 4 a 10 micras de material particulado, se tiene en cuenta fabricantes reconocidos a nivel mundial para escoger la mejor alternativa y basarse en su experiencia para aplicarlo en este diseño.

Imagen 53. Conjunto elementos filtrantes bolfilter



Fuente: BOLLFILTER, Filtro de aceite [en línea], Disponible en: <https://www.bollfilter.com/fileadmin/downloads/prospekte/Filtro-automatico-tipo-6.64-es-BOLLFILTER.pdf>

Imagen 54. Dimensiones vela



Fuente: elaboración propia

Cuadro 5. Características velas filtrantes

Información comercial						
Nombre	Modelo	Tipo de conexión	FLOW (L/min)	filtr (um)	size (mm)	
					D	L
Candle filter	BOLL- 30 X 223	M26 X 1,5	20	10	30	223
	BOLL- 30 X 400		35	10	30	400
	BOLL- 30 X 440		40	20	30	440
	BOLL- 30 X 723		60	35	30	723
	BOLL- 30 X 245	Ø 26	20	25	30	245
	BOLL- 30 X 422		3	40	30	422
	BOLL- 30 X 462		40	80	30	462
	BOLL- 30 X 745		60	80	30	745

Fuente: BOLLFILTER, Filtro de aceite [en línea], [Citado 20 Abril 2019]. Modificado por los autores, Abril 2019. Disponible en: <https://www.bollfilter.com/fileadmin/downloads/prospekte/Filtro-automatico-tipo-6.64-es-BOLLFILTER.pdf>

Las características de las velas filtrantes ofrecidas por el fabricante se encuentran en el Cuadro 5, donde se proporcionan las medidas de cada una, permitiendo saber cual es la mejor alternativa de selección para este diseño. En la Imagen 55 se pueden observar una vela filtrante, en la Imagen 56 la configuración de un grupo de estas y su ubicación en los soportes.

Imagen 55. Vela filtrante



Fuente: SEBACH, Velas de filtro [en línea], Disponible en: [https://www.seebach.com/es/productos/elementosfiltro/velascartuchosfiltro/?noredirect=es\\_ES](https://www.seebach.com/es/productos/elementosfiltro/velascartuchosfiltro/?noredirect=es_ES)

Para garantizar que estos elementos filtrantes soportan las presiones que se van a manejar tanto en la parte de filtrado como de retrolimpieza se mira el carné de identidad del elemento seleccionado (ver imagen 56), donde se muestra la presión máxima diferencial de la pieza.

Imagen 56. Carné de identidad velas filtrantes

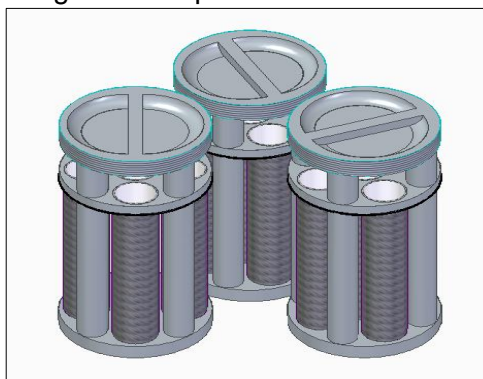
<b>CARNÉ DE IDENTIDAD</b> 10701	
<b>Tipo</b> Vela de filtro	
<b>Ejecución</b> plisado	
<b>Método de unión</b> soldado	
<b>Medio filtrante</b> malla de alambre	
<b>Diámetro externo</b> 65,5 mm	
<b>Clasificación de filtro</b> 75 µm	
<b>Max. presión diferencial</b> 7 bar	

Fuente: SEBACH, Velas de filtro [en línea], Disponible en: [https://www.seebach.com/es/productos/elementosfiltro/velascartuchosfiltro/?noredirect=es\\_ES](https://www.seebach.com/es/productos/elementosfiltro/velascartuchosfiltro/?noredirect=es_ES)

Estos elementos filtrantes ya vienen normalizados en todas las empresas que los venden permitiendo así una selección universal sin tener que escoger un solo proveedor y así mismo disminuyendo el costo de fabricación, para la selección de estos elementos fue importante la comunicación con el fabricante para que proporcionara información necesaria para el diseño de la máquina (ver Anexo E).

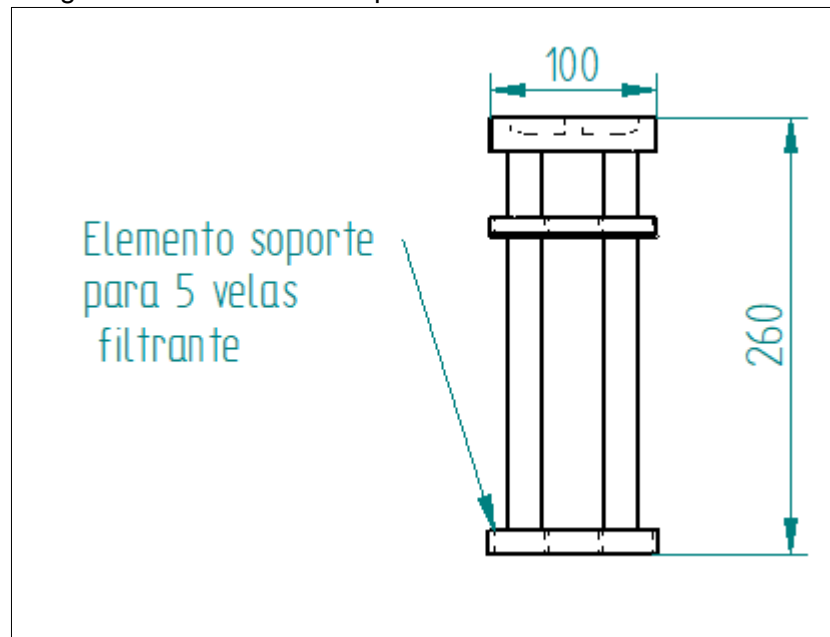
5.2.2.1 Soporte de velas filtrantes. Para colocar los elementos filtrantes es necesario contemplar que el sistema se encuentre sellado en las cámaras de filtrado para garantizar que no exista ningún escape de aceite, además es importante que se pueda retirar fácilmente para intervenciones de mantenimiento de la máquina.

Imagen 57. Soporte velas filtrantes



Fuente: elaboración propia

Imagen 58. Dimensiones soporte individual



Fuente: elaboración propia

Para el soporte de velas (ver Imagen 57) es fundamental realizar el cálculo de fuerzas para poder determinar si el mecanismo de ajuste de los elementos filtrantes logra superar la fuerza que ejerce el aceite en el sistema y se mantiene sellado. Este dato se realiza para garantizar que el sistema de sellado ejerce una mínima fuerza de cierre para que el aceite no lo expulse.

Ecuación 31. Masa de un elemento

$$m_{\text{Aceite}} = \frac{V}{3} \times \rho$$

Fuente: VERA. Maria Irene, Química básica. [en línea], [Citado 20 Abril 2019]. Disponible en: <http://exa.unne.edu.ar/quimica/quimgeneral/UnidadI/NocionesBasicas.pdf>

Donde:

V → volumen del aceite y se divide por la cantidad de tanques de filtrado.

ρ → densidad el aceite.

$$m_{\text{Aceite}} = \frac{7,39215 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{3} \times 862,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{\text{Aceite}} = 2,1247 \text{ kg}$$

Para hallar la fuerza del aceite se utiliza la ecuación de la fuerza de gravedad.

Ecuación 32. Fuerza del elemento

$$F = m \times g$$

Fuente: MOTT. Robert L, Mecánica de fluidos. , Mexico. Ediciones Pearson Educación . p.74. 2015.

m → masa del aceite

$g \rightarrow$  gravedad  $(9,81 \frac{m}{s^2})$

$$F = 2,1247 \text{ kg} \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F = 20,84 \text{ N}$$

Con la fuerza que ejerce el aceite sobre el sistema de sellado se procede a hallar la fuerza del sistema de cierre con la ecuación 27.

$$V = \frac{\pi}{4} (\phi)^2 \times h$$

Con esta ecuación se hallan los 3 volúmenes que contiene el sistema de sellado, utilizando cada diámetro de los elementos para poder calcular el peso total de la máquina.

Donde;

$\phi$  exterior = 0,1m

$\phi$  velas = 0,095m

$\phi$  cilindro menor = 0,04m

$$V_{\text{sellado con velas}} = \frac{\pi}{4} (0,095 \text{ m})^2 \times 0,01\text{m}$$

$$V_{\text{sellado con velas}} = 7,0882 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{cilindro menor}} = \frac{\pi}{4} (0,04 \text{ m})^2 \times 0,05\text{m}$$

$$V_{\text{cilindro menor}} = 6,2831 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{sellado sistema}} = \frac{\pi}{4} (0,1 \text{ m})^2 \times 0,05\text{m}$$

$$V_{\text{sellado sistema}} = 3,9269 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{total}} = 7,0882 \times 10^{-5} \text{ m}^3 + 6,2831 \times 10^{-5} \text{ m}^3 + 3,9269 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{total}} = 5,2649 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$



Ya teniendo el volumen total del sistema se puede hallar la masa total con la densidad del acero ( $7980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ )

$$m_{\text{cilindro total}} = V \times \rho$$

$$m_{\text{cilindro total}} = 5,2640 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \times 7980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{\text{cilindro total}} = 4,2001 \text{ Kg}$$

Para hallar la fuerza del cilindro se utiliza la ecuación de la fuerza de gravedad.

$$F = m \times g$$

m: masa del acero

g: gravedad ( $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ )

$$F = 4,2001 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 41,21 \text{ N}$$

Para hallar el volumen del recubrimiento de caucho se tiene en cuenta el espesor que en este caso es de 0,005m y se hallan los volúmenes tanto exterior como interior para posteriormente ser restados.

Donde;

$\emptyset$  empaque exterior = 0,1m

$\emptyset$  empaque interior = 0,095m

$$V_{\text{caucho exterior}} = \frac{\pi}{4} (0,1 \text{ m})^2 \times 0,005\text{m}$$

$$V_{\text{caucho exterior}} = 3,9269 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{caucho interior}} = \frac{\pi}{4} (0,095 \text{ m})^2 \times 0,005\text{m}$$

$$V_{\text{caucho interior}} = 3,5441 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{caucho exterior}} = 3,9269 \times 10^{-5} - 3,5441 \times 10^{-5}$$

$$V_{\text{caucho}} = 3,828 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Para determinar la masa del caucho se multiplica el volumen por la densidad del material ( $950 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ )

$$m_{\text{caucho}} = V \times \rho$$

$$m_{\text{caucho}} = 3,828 \times 10^{-6} \text{m}^3 \times 950 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$
$$m_{\text{caucho}} = 3,6366 \times 10^{-3} \text{Kg}$$

Para hallar la fuerza del cilindro se utiliza la ecuación 32 de la fuerza de gravedad.

$$F = m \times g$$

m → masa del caucho

g → gravedad ( $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ )

$$F = 3,6366 \times 10^{-3} \text{Kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 0,035 \text{ N}$$

Teniendo las fuerzas del empaque en caucho y el cilindro se realiza la sumatoria para determinar el total de la fuerza que ejerce el sistema.

$$F = 41,21 \text{ N} + 0,035 \text{ N}$$

$$F = 41,24 \text{ N}$$

En conclusión, la fuerza que ejerce el sistema de sellado es mayor que la fuerza del aceite  $41,24 \text{ N} > 20,84 \text{ N}$ , garantizando así que el sistema no fallará, sin embargo, por cuestiones de seguridad la parte sellada del sistema tendrá un roscado para un mejor cierre en el cilindro.

5.2.3 Calculo de bomba. Para este sistema se partirá de la sumatoria de volúmenes a filtrar entre el volumen de aceite y volumen de material particulado, para determinar el caudal con que se filtrará el aceite la máquina.

$$V_{\text{aceite}} = 0,007 \text{ m}^3 \rightarrow 7 \text{ litros}$$

Partiendo de la ecuación de densidad; teniendo los valores de masa y densidad despejamos volumen

$$V_{\text{material particulado}} = \frac{m}{\rho}$$

$$V_{\text{material particulado}} = \frac{2,8 \text{ kg}}{7140 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V_{\text{material particulado}} = 3,9215 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \rightarrow 0,3921 \text{ litros}$$

$$V_{\text{total}} = 3,9215 \times 10^{-4} \text{ m}^3 + 0,007 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{total}} = 7,39215 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \rightarrow 7,39215 \text{ litros}$$

Para halla el caudal del sistema se utiliza la ecuación 33; el volumen es la sumatoria hallada anteriormente y el tiempo establecido para filtrar el aceite será de 5 minutos.

Ecuación 33. Caudal del fluido

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

Fuente: MOTT.  
Robert L, Mecánica de fluidos.  
, Mexico. Ediciones  
Pearson Educación .  
p.67. 2015

Donde:

V → volumen total.

t → tiempo (5 min).

$$Q = \frac{7,39215 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{5 \text{ min} \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}}} = 2,4638 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

5.2.3.1 Material de tubería. para la selección de material se comparan tres tipos de tuberías que son las más usadas en estos sistemas, realizando la comparación se escoge la alternativa más adecuada para el sistema.

Tabla 10. Material de tubería.

Material	Características	Ventajas
Acero galvanizado	Resistencia a la abrasión y a la corrosión	Resistencia mecánica elevada Alta duración
Acero inoxidable	Resistencia a la corrosión y oxidación	Protección integral de las piezas Alta vida útil Gran capacidad de flexibilidad
PVC	Es un material ligero y químicamente inerte e inocuo, las aplicaciones de PVC tienen una vida útil muy larga	Alta vida útil Económico fácil instalación

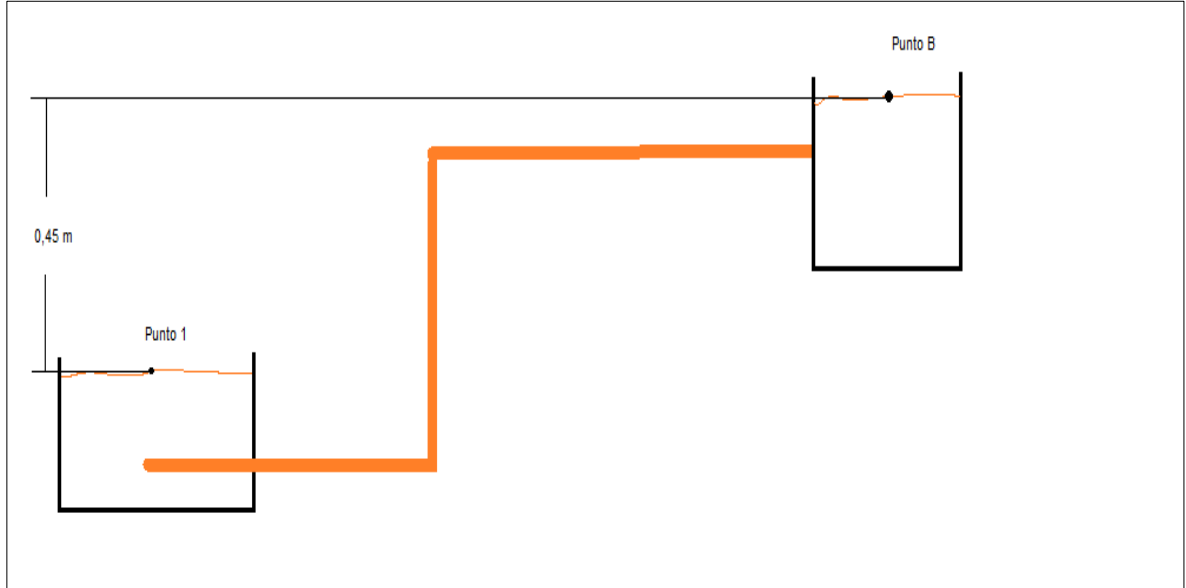
Fuente: elaboración propia

El material que se utilizara para la tubería es de PVC, por ser un material de plástico se evitara la corrosión y el óxido que se presentaría en una tubería de acero en contacto frecuente con el aceite y el agua en sus estados; además es un material que tiene un muy bajo costo en el mercado. Se realizará el análisis con tubería de succión de 1" y ½" para sección de descarga respectivamente, pero se corregirán dependiendo a las dimensiones de la bomba seleccionada.

5.2.3.2 Pérdidas de energía. Un fluido en movimiento presenta resistencia al fluir. Conforme un fluido pasa por ductos o tuberías existen pérdidas de energía por el cambio en el tamaño de trayectoria de flujo y por las válvulas y accesorios. Una bomba es un dispositivo mecánico que añade energía a un fluido; aprovecha la energía cinética y la transmite al fluido, lo que provoca el movimiento del fluido y el incremento de su presión. Para la máquina filtradora la bomba requerida para desplazar de la bandeja a el tanque de almacenamiento el aceite.

Para el cálculo de las pérdidas se utilizará la ecuación de energía total que toma en cuenta los cambios en la carga de elevación, carga de presión y velocidad entre dos puntos de un sistema de flujo además se tendrán en cuenta las pérdidas de energía por la fricción de las tuberías ( $-h_L$ ) y la energía necesaria para impulsar el fluido por medio de un dispositivo mecánico ( $+h_A$ ). (ver Imagen 59).

Imagen 59. Diagrama hidrodinámico



Fuente: elaboración propia

Ecuación 34. Energía Total

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{\vartheta_1^2}{2 \times g} + h_A - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{\vartheta_2^2}{2 \times g}$$

Fuente: MOTT. Robert L, Mecánica de fluidos. , Mexico.Ediciones Pearson Educación . p.165. 2015.

Como  $P_1 = P_2 = 0$ , y  $\vartheta_1$  y  $\vartheta_2$  son aproximadamente igual a cero, la ecuación se simplifica y queda de la siguiente manera:

$$Z_1 + h_A - h_L = Z_2$$


Debido a que el objetivo es calcular la carga total de la bomba se despeja  $h_A$ .

$$h_A = Z_2 - Z_1 + h_L$$

Para hallar los valores de las pérdidas en altura será necesario establecer los regímenes del fluido, para ello será necesario obtener los valores de las velocidades de succión y de descarga; despejando en la ecuación de caudal.

Se toman las medidas internas de los tubos, gracias al fabricante PAVCO, (ver imagen 60), para establecer las velocidades de succión y de descarga.

Imagen 60. Catalogo tuberías PVC

Tuberías Presión PAVCO									
Diámetro Nominal		Referencia	Peso	Diámetro Exterior Promedio		Espesor de Pared Mínimo		Diámetro Interior Promedio	
mm	pulg.		g/m	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	
 <p><b>RDE 9 PVC</b> Presión de Trabajo a 23°C: 500 PSI</p>									
21	1/2	2900266	218	21.34	0.84	2.37	0.09	16.60	
<p><b>RDE 11 PVC</b> Presión de Trabajo a 23°C: 400 PSI</p>									
26	3/4	2900210	304	26.67	1.05	2.43	0.09	21.81	
<p><b>RDE 13.5 PVC</b> Presión de Trabajo a 23°C: 315 PSI</p>									
21	1/2	2902449	157	21.34	0.84	1.58	0.06	18.18	
33	1	2900213	364	33.40	1.31	2.46	0.09	28.48	

Fuente: PAVCO. Tuberías en PVC. Colombia. [Citado 10 Marzo 2019]. Obtenido de: <https://pavco.com.co/download/10>

Velocidad en succión. Con diámetro interno para una tubería de diámetro nominal de 1 " → 28,48 mm = 0,0285 m.

Ecuación 35. Caudal términos de área y velocidad

$$Q = \vartheta \times A$$

Fuente: MOTT. Robert L, Mecánica de fluidos. , Mexico. Ediciones Pearson Educación . p.164. 2015.

Donde:

$\vartheta$  → Velocidad

A → Área de la tubería

Ecuación 36. Área de un círculo

$$A = \frac{\pi}{4} (\phi)^2$$

Fuente: P BUSER. A. Costa, Curso de geometría básica. Ediciones Sanz Y Torres . p.22. 2012.

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

$$\vartheta = \frac{2,4638 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}}{\frac{\pi}{4} (0,0284 \text{ m})^2} = 0,0386 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Velocidad en descarga. Con diámetro de Con diámetro interno para una tubería de diámetro nominal de  $\frac{1}{2}$  "  $\rightarrow$  16,60 mm = 0,0166 m

$$\vartheta = \frac{2,4638 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}}{\frac{\pi}{4} (0,0166 \text{ m})^2} = 0,1138 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Numero de Reynolds en succión.

Ecuación 37. Numero de Reynolds

$$\#Re = \frac{\vartheta_s * D_s * \rho}{\mu}$$

Fuente: MOTT. Robert L,  
Mecánica de fluidos. , Mexico. Ediciones  
Pearson Educación . p.230. 2015.

$$\#Re = \frac{0,0386 \frac{\text{m}}{\text{seg}} * 0,0284 \text{ m} * 862,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{(0,02621 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}})}$$

$$\#Re = 36,237 \rightarrow \text{laminar}$$

Numero de Reynolds en descarga.

$$\#Re = \frac{\vartheta_D * D_D * \rho}{\mu}$$

$$\#Re = \frac{0,1138 \frac{\text{m}}{\text{seg}} * 0,0166 \text{ m} * 862,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{(0,02621 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}})}$$

$$\#Re = 62,172 \rightarrow \text{laminar}$$

Hallado el Reynolds de succión del sistema se procede a calcular el factor de fricción con la ecuación 38.

Ecuación 38.  
Factor de fricción

$$f_s = \left( \frac{64}{Re} \right)$$

Fuente: MOTT.  
Robert L,  
Mecánica de  
fluidos.  
, Mexico. Edición  
es Pearson  
Educación.  
p.233. 2015.

$$f_s = \left( \frac{64}{36,237} \right) = 1,77$$

Para el cálculo de las pérdidas de energía total se procede a calcular las pérdidas en el área de succión.

Pérdidas primarias en succión.

Ecuación 39. Pérdidas por  
fricción en línea de succión

$$h_1 = f_s \times \left( \frac{L}{D} \right) \times \left( \frac{v_s^2}{2 \times g} \right)$$

Fuente: MOTT.  
Robert L, Mecánica de fluidos.  
, Mexico. Ediciones Pearson  
Educación . p.234. 2015.

Donde;

$f_s$  → Factor de fricción.

$v_s$  → Velocidad en la succión

$g$  → gravedad



$$h_1 = 1,77 \times (89,82\text{m}) \times \left( \frac{0,0386 \frac{\text{m}^2}{\text{seg}}}{2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right)$$

$$h_1 = 0,012 \text{ m}$$

Pérdidas secundarias en succión.

La primera pérdida secundaria que existe en la etapa de succión se produce por la entrada a la tubería ya que dependiendo si la entrada es recta, chaflanada o redonda tienen un coeficiente de pérdida diferente, en este caso el  $K=1$  y se calcula con la ecuación 40. (ver Anexo F)

Ecuación 40. Pérdidas en la entrada

$$h_2 = k \times \left( \frac{v_s^2}{2 \times g} \right)$$

Fuente: MOTT.  
Robert L, Mecánica de fluidos.  
, Mexico. Ediciones Pearson  
Educación . p.236. 2015.

$$h_2 = 1 \times \left( \frac{0,0386 \frac{\text{m}^2}{\text{seg}}}{2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right) = 7,594 \times 10^{-5} \text{ m}$$

La siguiente pérdida se produce por las válvulas de bolas que están en el sistema y dependiendo de la tubería se halla el factor de fricción con la tabla 11.

Tabla 11. Factor de fricción

Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción ft	Tamaño nominal de la tubería (pulg)	factor de fricción ft
1/2	0.027	3 1/2, 4	0.017
3/4	0.025	5	0.016
1	0.023	6	0.015
1 1/4	0.022	8--10	0.014
1 1/2	0.021	12--16	0.013
2	0.019	18--24	0.012
2 1/2, 3	0.018		

Fuente: MOTT Robert L. Mecánica de fluidos. 6 ed. México: Pearson, 2006. [Citado 28 Abril 2019]. Modificado por los autores, Abril 2019.

Tabla 12. Longitud equivalente

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería Le/D
Válvula de globo-abierta por completo	340
Válvula de ángulo-abierta por completo	150
Válvula de compuesta-abierta por completo	8
Válvula de compuesta- 3/4 abierta	35
Válvula de compuesta- 1/2 abierta	160
Válvula de compuesta- 1/4 abierta	900
Valva de verificación--tipo giratorio	100
Válvula de verificación--tipo bola	150
Válvula de mariposa--abierta por completo 2 a 8 pulg	45
Válvula de mariposa--abierta por completo 10 a 14 pulg	35
Válvula de mariposa--abierta por completo 16 a 24 pulg	25
válvula de pie-- tipo disco de vástago	420
Válvula de pie--tipo disco de bisagra	75
Codo estándar 90°	30
Codo A 90° de radio largo	20
Codo roscado a 90°	50
Codo estándar 45°	16
Codo roscado a 45°	26
Vuelta cerrada en retorno	50
Te estándar con flujo directo	20

Fuente: MOTT Robert L. Mecánica de fluidos. 6 ed. México: Pearson, 2006. [Citado 28 Abril 2019]. Modificado por los autores, Abril 2019.

Se utiliza la ecuación 41 para determinar las pérdidas en las válvulas de bolas del sistema.

Ecuación 41. Pérdida válvula de bola

$$h_3 = f_{dT} \times \left( \frac{L_e}{D} \right) \times \left( \frac{v_s^2}{2 \times g} \right) \times 3$$

Fuente: MOTT. Robert L, Mecánica de fluidos. , Mexico. Ediciones Pearson Educación . p.234. 2015.

$$h_3 = 0,023 \times 150 \times \left( \frac{0,0386 \frac{m^2}{seg}}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}} \right) \times 3$$

$$h_3 = 7,859 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Para encontrar el valor de la longitud equivalente ( $l_e/D$ ) de las electroválvulas se determina que el comportamiento mecánico es similar al de las válvulas tipo globo asumiendo los valores de este tipo de válvulas.

Según la tabla 12 se asume una electroválvula para una tubería de 1 pulg determinando así el factor de fricción de 0,023.

Ecuación 42. Pérdidas electroválvula

$$h_4 = f_{dT} \times \left( \frac{L_e}{D} \right) \times \left( \frac{v_s^2}{2 \times g} \right) \times 2$$

Fuente: MOTT.  
Robert L, Mecánica de fluidos.  
, Mexico. Ediciones Pearson  
Educación . p.234. 2015.

$$h_4 = 0,023 \times 340 \times \left( \frac{0,0386 \frac{m^2}{seg}}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}} \right) \times 2$$

$$h_4 = 1,187 \times 10^{-3} \text{ m}$$

En ese sistema se implementarán 3 codos para poder direccionar la tubería a donde se desea llevar, para estos elementos se calcula una pérdida, con la ecuación 43, dependiendo del elemento que se desea analizar la tabla 11 muestra las longitudes equivalentes de cada uno.

Ecuación 43. Pérdida en codos

$$h_5 = f_{dT} \times \left( \frac{L_e}{D} \right) \times \left( \frac{v_s^2}{2 \times g} \right) \times 3$$

Fuente: MOTT.  
Robert L, Mecánica de fluidos.  
, Mexico. Ediciones Pearson  
Educación . p.237. 2015.

$$h_5 = 0,023 \times 30 \times \left( \frac{0,0386 \frac{m^2}{seg}}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}} \right) \times 3$$

$$h_5 = 1,572 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Para poder llevar el fluido a los 3 recipientes donde se filtrará se necesitarán 2 T ubicadas en la entrada y salida de los filtros, para estas pérdidas se utiliza la ecuación 44.

Ecuación 44. Pérdida en T

$$h_6 = f_{dT} \times \left( \frac{L_e}{D} \right) \times \left( \frac{v_s^2}{2 \times g} \right) \times 2$$

Fuente: MOTT.  
Robert L, Mecánica de fluidos.  
, Mexico. Ediciones Pearson  
Educación . p.237. 2015.

$$h_6 = 0,023 \times 60 \times \left( \frac{0,0386 \frac{m^2}{seg}}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}} \right) \times 2$$

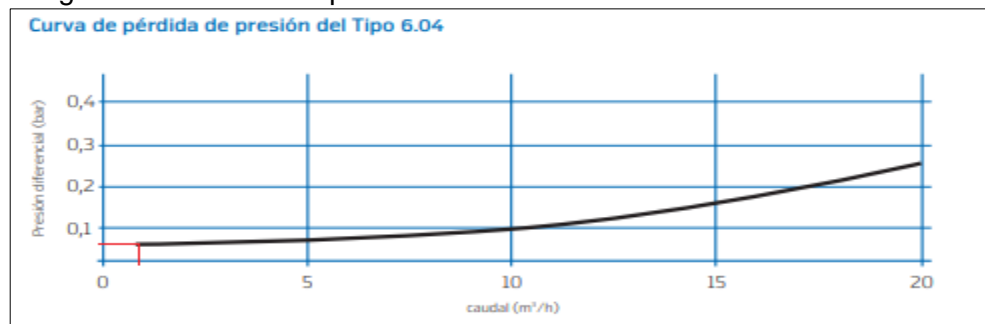
$$h_6 = 2,095 \times 10^{-4} m$$

En la etapa de succión se selecciona la pérdida que existen en los filtros, esta pérdida se halla gracias a las tablas proporcionadas por los fabricantes de filtros BOLLFILTER.

Según la Imagen 52 las pérdidas se calculan para 8 filtros en el sistema.

Esta grafica fue suministrada por el fabricante ya que las pérdidas de cada tipo de filtro son diferentes y varían según su uso y caudal, estas características se encuentran referenciadas en el catálogo de las velas filtrantes para poder ver más información sobre este catálogo ver Anexo E

Imagen 61. Pérdidas de presión filtros



Fuente: BOLLFILTER, Filtro de aceite [en línea], [Citado 20 Abril 2019].  
Disponible en:  
<https://www.BOLLFILTER.com/fileadmin/downloads/prospekte/Filtro-automatico-tipo-6.64-es-BOLLFILTER.pdf>

Según la anterior imagen se calcula una pérdida de presión de 0,05 bar.

$$\text{Caída de presión en 8 velas} = 0,05 \text{ bar} \times \left( \frac{101,325 \text{ KPa}}{1,0132 \text{ bar}} \right) \times \left( \frac{1 \text{ psi}}{6,894757 \text{ KPa}} \right) = 0,7251 \text{ psi}$$

$$\text{Caída de presión en 15 velas} = 1,3359 \text{ psi} = 9,375 \text{ Kpa}$$

$$h_7 = \frac{9,375 \text{ Kpa}}{862,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_7 = 1,1082656 \text{ m}$$

Por último, para garantizar que el aceite retorne a la bandeja separadora se utiliza una válvula anti retorno y sus pérdidas se calculan con la ecuación 45.

Ecuación 45. Pérdida válvula de retorno

$$h_8 = f_{dT} \times \left( \frac{L_e}{D} \right) \times \left( \frac{v_s^2}{2 \times g} \right)$$

Fuente: MOTT.  
Robert L, Mecánica de fluidos.  
, Mexico. Ediciones Pearson  
Educación . p.238. 2015.

$$h_8 = 0,023 \times 50 \times \left( \frac{0,0386 \frac{\text{m}^2}{\text{seg}}}{2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right)$$

$$h_8 = 8,733 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Para poder hallar las pérdidas totales de succión se hace la sumatoria de las pérdidas primarias y secundarias en el sistema.

$$h_{ps} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7 + h_8 + h_9$$

$$h_{ps} = 0,012 \text{ m} + 7,594 \times 10^{-5} \text{ m} + 7,859 \times 10^{-4} \text{ m} + 1,187 \times 10^{-3} \text{ m} + 1,572 \times 10^{-4} \text{ m} + 2,095 \times 10^{-4} \text{ m} + 1,1082656 \text{ m} + 8,733 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$h_{ps} = 1,1228 \text{ m}$$

Ya halladas las pérdidas de succión se procede a hallar el cálculo de las pérdidas de energía en el área de succión.

Pérdidas primarias en la zona de descarga. Las pérdidas se hallan con la ecuación 39.

$$f_s = \left( \frac{64}{62,1724} \right) = 1,77$$

$$h_9 = 1,029 \times \left( \frac{0,51 \text{ m}}{0,0166 \text{ m}} \right) \times \left( \frac{0,1138^2}{2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right)$$

$$h_9 = 0,0208 \text{ m}$$

En la sección de descarga existe una válvula de bola que es la encargada de dejar y restringir el flujo de aceite en caso de falla del sistema, para hallar las pérdidas en este elemento se utiliza la ecuación 40.

$$h_{10} = 0,027 \times 150 \times \left( \frac{0,1138^2}{2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right)$$

$$h_{10} = 2,6751 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Las pérdidas en la salida de la descarga se realizan con la ecuación propuesta en la parte de la succión con un  $k=1$ . (ver Anexo F).

$$h_{11} = 1 \times \left( \frac{0,1138^2}{2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right) = 6,6053 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Para evitar que el aceite se devuelva por la tubería se instala una válvula anti retorno y se hallan las pérdidas existentes en el sistema ver ecuación 44.

$$h_{12} = 0,027 \times 50 \times \left( \frac{0,1138^2}{2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right)$$

$$h_{12} = 8,9172 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Para poder hallar las pérdidas totales de descarga se hace la sumatoria de las pérdidas primarias y secundarias en el sistema.

$$\begin{aligned} h_{pd} &= h_9 + h_{10} + h_{11} + h_{12} \\ h_{pd} &= 0,0208 \text{ m} + 2,6751 \times 10^{-3} \text{ m} \\ &+ 6,6053 \times 10^{-4} \text{ m} + 8,9172 \times 10^{-4} \text{ m} \end{aligned}$$

$$h_{pd}=0,0251 \text{ m}$$

Con las pérdidas del sistema tanto en succión como en descarga se halla las pérdidas totales en la máquina.

$$h_l = h_{ps} + h_{pd}$$

$$h_l = 1,1228 \text{ m} + 0,0251 \text{ m}$$

$$h_l = 1,1479 \text{ m}$$

Con el análisis sobre la ecuación de energía y halladas las pérdidas en la tubería se procede hallar la energía necesaria para la bomba teniendo en cuenta que la altura es de 0,45m.

$$h_A = h_L(Z_2 + Z_1)$$

$$h_A = 1,1479 \text{ m} + (0,45\text{m})$$

$$h_A = 1,5979 \text{ m}$$

5.2.3.3 Potencia de la bomba. la potencia en la mecánica de fluidos se define como la rapidez con que se transfiere la energía. Para calcular la potencia que se transmite al aceite, debe determinarse cuantos newtons de ese fluido pasan por la bomba en un periodo de tiempo, a esto se le denomina flujo en peso (W) y se expresa en unidades de N/s. La potencia<sup>22</sup> se calcula con la multiplicación de la energía transferida por newton de fluido por el flujo en peso.

Ecuación 46. Potencia de la bomba

$$P_A = h_A W$$

Fuente: MOTT. Robert L, Mecánica de fluidos. , Mexico.Ediciones Pearson Educación . p.207. 2015.

Como  $W = \gamma \times Q$ , también se escribe:

---

<sup>22</sup>MOTT. Robert L. Mecánica de fluidos. México: Pearson. 2006. p 207

Ecuación 47. potencia de la bomba en términos de caudal

$$P_A = h_A \times \gamma \times Q$$

Fuente: MOTT. Robert L, Mecánica de fluidos. , Mexico.Ediciones Pearson Educación . p.207. 2015.

$$P_A = 1,5979 \text{ m} \times 8459,163 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \times 2,4638 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

$$P_A = 0,3330 \text{ W}$$

Existen pérdidas inevitables de energía en una bomba debido a diferentes factores, Para hallar la potencia real de la bomba se divide entre la eficiencia mecánica que en este caso es de 0,76 suministrada por libros y fabricantes, se utiliza la ecuación 48.

Ecuación 48. Potencia de entrada de la bomba

$$P_i = \frac{P_A}{e_M}$$

Fuente: MOTT. Robert L, Mecánica de fluidos. , Mexico.Ediciones Pearson Educación . p.208. 2015.

Donde;

$P_A$  → Potencia de la bomba

$e_M$  → Eficiencia mecánica

$$P_i = \frac{0,3330 \text{ W}}{0,76}$$

$$P_i = 0,4381 \text{ W}$$

Comúnmente se expresa la potencia en caballos de fuerza el factor de conversión que se requiere es:



$$1 \text{ hp} = 745,7 \text{ W}$$

$$P_A = 0,4381 \text{ W} \times \frac{1 \text{ hp}}{745,7 \text{ W}}$$

$$P_A = 5,87 \times 10^{-4} \text{ hp}$$

Para transportar el fluido por el sistema la potencia es muy baja, pero por ser un sistema de filtración es necesario aumentar la potencia de la bomba; además por experiencia de las empresas fabricantes de filtradoras implementan bombas con  $\frac{1}{2}$  hp, por ende, se selecciona una bomba con estas características.

5.2.4 Selección de la bomba. La necesidad de impulsar el aceite conlleva a seleccionar un tipo de elemento mecánico capaz de realizar dicha labor y las bombas son las indicadas para impulsar el aceite a través de la tubería pasando por el filtro y finalmente hasta el depósito; para la selección de la bomba se tuvieron en cuenta parámetros como el tipo de fluido que se impulsara, la capacidad requerida (flujo volumétrico), carga total de la bomba y limitaciones de espacio.

Se seleccionó una bomba de engranajes de  $\frac{1}{2}$  hp (Imagen 62) puesto que es la utilizada para distribuir lubricantes a componentes específicos de maquinarias, la energía requerida para impulsar el aceite es baja, la potencia que requiere el sistema es mínima por ende la bomba de capacidad baja, su tamaño es apropiado para las limitaciones de espacio del sistema de lubricación y finalmente es una bomba que se utiliza comúnmente en aplicaciones donde el fluido a filtrar es un aceite lubricante. (Ver Anexo G).

Imagen 62. Bomba de engranajes



Fuente: SHERTECH. Bomba de engranajes [en línea], Disponible en: <https://www.dultmeier.com/catpages/E2001.pdf>.

Imagen 63. Datos bomba de engranajes

GALLONS PER MINUTE @ TOTAL PSI														
Model	Port Size	Pump RPM	Free Flow		25 PSI		50 PSI		75 PSI		100 PSI		125 PSI	
			GPM	HP	GPM	HP	GPM	HP	GPM	HP	GPM	HP	GPM	HP
PS2 MS2	3/8"	900	2.4	1/8	2.3	1/8	2.1	1/4	1.8	1/4	1.5	1/3	1.3	1/3
		1200	3.2	1/4	3.1	1/4	2.9	1/3	2.6	1/3	2.3	1/2	1.8	1/2
		1725	4.6	1/3	4.5	1/3	4.2	1/2	4.0	1/2	3.7	3/4	3.3	3/4
PS4 MS4	1/2"	900	5.5	1/4	5.1	1/4	4.5	1/3	4.1	1/3	3.7	1/2	3.1	1/2
		1200	7.3	1/3	7.0	1/3	6.3	1/2	5.9	1/2	5.5	3/4	4.9	3/4
		1725	10.5	1/2	10.2	1/2	9.5	3/4	9.1	3/4	8.7	1	8.1	1
PS6 MS6	1"	900	12.6	1/2	12.0	3/4	10.9	3/4	10.1	1	9.1	1-1/2	8.1	2
		1200	16.7	3/4	16.1	3/4	15.0	1	14.2	1-1/2	13.2	2	12.2	2
		1725	24.0	1	23.4	1	22.3	1-1/2	21.5	2	20.5	3	19.5	3

Fuente: Shertech. Bomba de engranajes [en línea], Disponible en: <https://www.dultmeier.com/catpages/E2001.pdf>.

Existen datos menores pero que no trabajan bajo el caudal y presión requerida.

5.2.4.1 Cavitación. Cuando la presión de succión presente en la entrada de una bomba es demasiado baja existe una formación de burbujas en el líquido; el fluido entra a la bomba por el puerto de succión al impulsor, la rotación de este acelera el fluido hacia afuera a lo largo de las aspas de dirección, la presión del fluido continua su elevación a través de este proceso<sup>23</sup>, si se hubieran formado burbujas de vapor en el puerto de succión debido a una presión baja en exceso colapsarían cuando llegan a la zona de alta presión. Este colapso liberaría grandes cantidades de energía lo que provocaría erosión en las partes de la bomba.

La propiedad del fluido que determina las condiciones en las cuales se generan burbujas de vapor es la presión de vapor. Un líquido es volátil si tiene una presión de vapor relativamente alta y se evapora con rapidez en condiciones ambientales. El agua hierve con una vaporización rápida y continua si se están en condiciones a presión atmosférica la temperatura esta entre los 100°C y disminuye si la altitud es mayor, la presión de vapor del agua a esta temperatura es de 101,3 KPa; el aceite Rando HD 32 tiene una presión de vapor de  $1,2912 \times 10^{-3}$  KPa según las pruebas proporcionadas por el fabricante CHEVRON en los aceites. (Ver Anexo H).

La carga de presión de vapor de cualquier liquido aumenta con rapidez al aumentarse la temperatura, ya que el aceite tiene baja volatilidad, la ciudad se encuentra a presión atmosférica y en el sistema no se presenta una gran variación de temperatura por ende el análisis de cavitación no genera un valor representativo para el diseño.

<sup>23</sup> MOTT. Robert L. Mecánica de fluidos. México: Pearson. 2006. p 412

5.2.5 Corrección de variables en operación. Con respecto al cálculo de pérdidas y la potencia de la bomba, se establece que no existe una bomba con esta potencia tan pequeña por lo tanto se busca una bomba comercial capaz de suplir la cantidad de aceite a filtrar, ya realizada la selección se procede a realizar la corrección en los cálculos anteriores ya que esta bomba utiliza una tubería de ½ pulgada tanto en la etapa de succión y descarga, como este sistema trabaja con presiones altas según el fabricante de bombas, se utiliza una tubería RD21 PVC, además de esto trabaja con un caudal de 3,1 GPM.

Se realiza la comparación de caudales y se obtiene el siguiente valor.

Primer caudal del sistema.

$$Q = 2,4638 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} \rightarrow 0,39899 \frac{\text{galones}}{\text{min}}$$

Caudal de la bomba seleccionada.

$$Q = 3,1 \frac{\text{galones}}{\text{min}} \rightarrow 1,95558 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

Según el nuevo caudal que va a tener el sistema y con respecto a las tuberías utilizadas en succión y descarga se halla la nueva velocidad que va a tener la máquina (ver ecuación 35).

$$Q = \vartheta \times A$$

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

$$\vartheta = \frac{1,95558 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}}{\frac{\pi}{4} (0,0166 \text{ m})^2}$$

$$\vartheta = 0,9035 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Con la nueva velocidad y diámetro de las tuberías se procede hallar el número de Reynolds apoyándose de la ecuación 37.

$$\#Re = \frac{\vartheta_s * D_s * \rho}{\mu}$$

$$\#Re = \frac{0,9035 \frac{m}{seg} * 0,0166 m * 862,3 \frac{kg}{m^3}}{(0,02621 \frac{kg}{m * s})}$$

$$\#Re = 493,4793 \rightarrow \text{laminar}$$

Hallado el Reynolds del sistema se procede a calcular el factor de fricción con la ecuación 38.

$$f_s = \left( \frac{64}{Re} \right)$$

$$f_s = \left( \frac{64}{493,4793} \right) \rightarrow 0,1296$$

Ya teniendo el factor de fricción y la corrección en los datos principales se calculan las pérdidas primarias y secundarias.

Con respecto a la pérdida primaria por la entrada se asume con la misma ecuación, las pérdidas en la etapa de succión y de descarga tienen la misma tubería, pero no la misma longitud, para hallar las pérdidas por fricción se toma la ecuación 39.

Succión

$$h_1 = f_s \times \left( \frac{L}{D} \right) \times \left( \frac{v_s^2}{2 \times g} \right)$$

$$h_1 = 0,1296 \times \left( \frac{2,55812 m}{0,0166 m} \right) \times \left( \frac{0,9035 \frac{m}{seg}^2}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}} \right)$$

$$h_1 = 0,8316 m$$

Descarga.

$$h_2 = 0,1296 \times \left( \frac{0,51 m}{0,0166 m} \right) \times \left( \frac{0,9035 \frac{m}{seg}^2}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}} \right)$$

$$h_2 = 0,1656 m$$

Halladas las pérdidas primarias se procede a calcular las pérdidas por accesorios que están puestos en el sistema.

Pérdidas en la entrada. (ver ecuación 39).

Succión.

$$h_3 = k \times \left( \frac{v_s^2}{2 \times g} \right)$$

$$h_3 = 1 \times \left( \frac{0,9035 \frac{\text{m}}{\text{seg}}^2}{2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right) = 0,04161 \text{ m}$$

Descarga.

$$h_4 = 1 \times \left( \frac{0,9035 \frac{\text{m}}{\text{seg}}^2}{2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right) = 0,04161 \text{ m}$$

Pérdidas válvulas de bolas. (ver ecuación 40).

$$h_5 = f_{dT} \times \left( \frac{L_e}{D} \right) \times \left( \frac{v_s^2}{2 \times g} \right) \times 3$$

$$h_5 = 0,027 \times 150 \times \left( \frac{0,9035 \frac{\text{m}}{\text{seg}}^2}{2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right) \times 3$$

$$h_5 = 0,5056 \text{ m}$$

Pérdidas válvulas solenoides. (ver ecuación 41).

$$h_6 = f_{dT} \times \left( \frac{L_e}{D} \right) \times \left( \frac{v_s^2}{2 \times g} \right) \times 2$$

$$h_6 = 0,027 \times 340 \times \left( \frac{0,9035 \frac{\text{m}}{\text{seg}}^2}{2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right) \times 2$$

$$h_6 = 0,7640 \text{ m}$$

Pérdidas en codos. (ver ecuación 42).

$$h_7 = f_{dT} \times \left(\frac{L_e}{D}\right) \times \left(\frac{v_s^2}{2 \times g}\right) \times 3$$

$$h_7 = 0,027 \times 30 \times \left(\frac{0,9035 \frac{m}{seg}}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}}\right)^2 \times 3$$

$$h_7 = 0,1011 \text{ m}$$

Pérdidas en Te's. (ver ecuación 43).

$$h_8 = f_{dT} \times \left(\frac{L_e}{D}\right) \times \left(\frac{v_s^2}{2 \times g}\right) \times 2$$

$$h_8 = 0,027 \times 60 \times \left(\frac{0,9035 \frac{m}{seg}}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}}\right)^2 \times 2$$

$$h_8 = 0,1348 \text{ m}$$

Pérdidas en filtros. Para esta pérdida se toma la misma grafica del fabricante de filtros utilizada en el capítulo de pérdidas de energía, según la imagen 50 se grafica teniendo el caudal y da como resultado una caída de presión de 0,05, con respecto al anterior caudal no varía mucho ya que está bajo la misma caída de presión.

$$\text{Caída de presión en 8 velas} = 0,05 \text{ bar} \times \left(\frac{101,325 \text{ KPa}}{1,0132 \text{ bar}}\right) \times \left(\frac{1 \text{ psi}}{6,894757 \text{ KPa}}\right) = 0,7251 \text{ psi}$$

$$\text{Caída de presión en 15 velas} = 1,3359 \text{ psi} = 9,375 \text{ Kpa}$$

$$h_9 = \frac{9,375 \text{ Kpa}}{862,3 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_9 = 1,1082656 \text{ m}$$

Pérdidas en Válvulas anti retorno. Tanto en la zona de succión como de descarga se utiliza una válvula anti retorno, como las características: velocidad, diámetro, fricción y Reynolds es igual en ambos se utiliza la misma ecuación. (ver ecuación 44)

$$h_{10} = 0,027 \times 50 \times \left(\frac{0,9035 \frac{m}{seg}}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}}\right)^2 \times 2$$

$$h_{10} = 0,1123 \text{ m}$$

Se hace la sumatoria de todas las pérdidas y así hallar las pérdidas totales del sistema.

$$h_L = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7 + h_8 + h_9 + h_{10}$$

$$h_L = 0,8316 \text{ m} + 0,1656 \text{ m} + 0,04161 \text{ m} + 0,04161 \text{ m} + 0,5056 \text{ m} + 0,7640 \text{ m} \\ + 0,1011 \text{ m} + 0,1348 \text{ m} + 1,1082656 \text{ m} + 0,1123 \text{ m}$$

$$h_L = 3,8064 \text{ m}$$

Con el análisis sobre la ecuación de energía y halladas las pérdidas en la tubería se procede hallar la energía mínima para la bomba.

$$h_A = h_L + (Z_2 + Z_1)$$

$$h_A = 3,8064 \text{ m} + (0,45 \text{ m})$$

$$h_A = 4,2564 \text{ m}$$

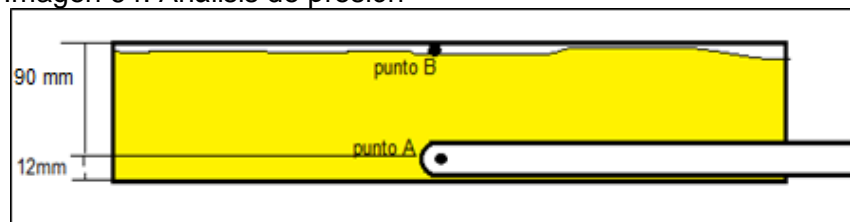
Teniendo la energía de la bomba y utilizando la ecuación 46 se procede hallar la mínima potencia que necesita el sistema con este caudal.

$$P_A = 4,2564 \text{ m} \times 8459,163 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \times 1,95558 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} = 7,0411 \text{ W}$$

El análisis y la corrección de los datos concluye que esta bomba es la óptima para implementar en el Sistema de filtrado con respecto al caudal que maneja la bomba se reduce el proceso de filtrado a 2 min en estado óptimo de la máquina.

5.2.6 Fuerza de la bomba para arrastrar partículas. Con las características de la bomba escogida para mover el fluido de este sistema se hace el análisis para corroborar si es capaz de arrastrar las partículas inmersas en el aceite, con respecto a este cálculo se dará una evaluación positiva a los elementos escogidos.

Imagen 64. Análisis de presión



Fuente: elaboración propia

Para poder determinar la fuerza de la bomba para arrastrar la partícula se hace el análisis con los puntos A y B mostrados en la Imagen 55 y según esto se aplica la ecuación 34.

$$\frac{P_B}{\gamma} + Z_1 + \frac{\vartheta_B^2}{2 \times g} + Z_B - h_L = \frac{P_A}{\gamma} + \frac{\vartheta_A^2}{2 \times g} + Z_A$$

Donde;

$P_B$  → Presión en el punto B igual a 0 por que está abierta a la presión atmosférica.

$\vartheta_B$  → Velocidad se asume a 0, tanque muy grande.

$Z_B$  → altura punto B, 90mm.

$P_A$  → Presión en el punto A, valor que se desea hallar.

$\vartheta_A$  → Velocidad que se presenta n el sistema.  $1,5437 \frac{m}{seg}$  .

$Z_A$  → altura punto A, 12mm

$h_L$  → Pérdidas de presión en la tubería, 3,8064 m

Sabiendo el valor de cada variable da como resultado la siguiente ecuación.

$$P_A = \left( - \frac{\vartheta_A^2}{2 \times g} - Z_A + Z_B - h_L \right) \gamma$$

$$P_A = \left( - \frac{1,5437 \frac{m}{seg}}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}} - 0,012 m + 0,090 m - 3,8064 m \right) 8459,163 \frac{N}{m^3} = -25352,78 Pa$$

La presión que genera el Sistema de filtrado es negativa y esto se debe a que es una presión de vacío es decir que esta succionando el fluido con respecto a esta presión se halla la fuerza y se mira si esta es capaz de arrastrar tanto el aceite como las partículas contaminantes. Se utiliza la ecuación 49 para hallar la fuerza que ejercida en el sistema en la entrada de la tubería.

Ecuación 49. Presión

$$P = \frac{F}{A}$$

Fuente: MOTT. Robert L, Mecánica de fluidos, México. Ediciones Pearson Educación . p.3. 2015.



Donde;

P → Presión.

F → Fuerza.

A → Área.

$$F = P \times A$$

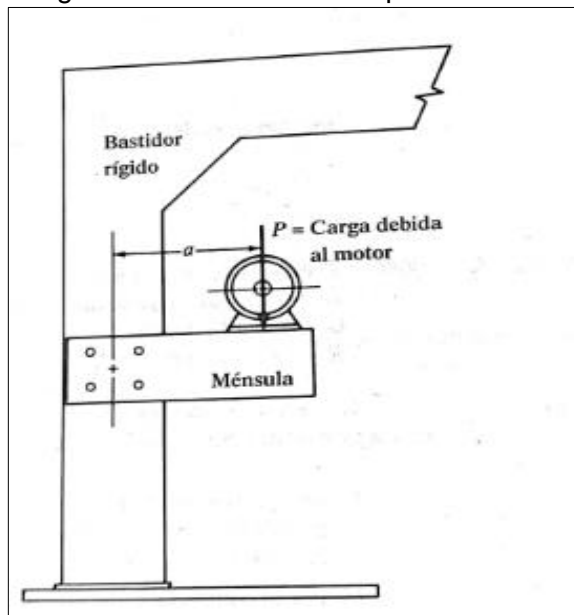
$$F = -25352,78 \text{ Pa} \times \frac{\pi}{4} (0,0166 \text{ m})^2$$

$$F = 5,487 \text{ N}$$

La fuerza de arrastre hallada en el capítulo 5.1.3 es 0,31N para poder remover todas las partículas y dar como resultado 5,487N se garantiza que estas partículas van a ser succionadas para ser filtradas.

5.2.7 Soporte de la bomba. Para este capítulo se halla las cargas sobre los tornillos que sujetan el soporte de la bomba para así garantizar que son los adecuados para soportar el peso de esta. (ver Imagen 65)

Imagen 65. Junta atornillada para la bomba



Fuente: MOTT. Robert Diseño de elemento de máquinas., México. Ediciones Pearson Educación . 2006. pag 781

Para este análisis se supone una fuerza total  $P=147,15$  N, con una distancia  $a$  de  $0,1$  m, para hacer este análisis el primer paso se escoge la cantidad de tornillos a poner este criterio lo da el diseñador, en ese caso se van a poner 4 tornillos.

Teniendo la cantidad de tornillos se establece que la carga de corte va a ser igual a al peso de la bomba, para determinar la fuerza sobre cada tornillo se divide en la cantidad de tornillos existentes con la ecuación 50.

Ecuación 50. Carga por perno

$$F_s = \frac{P}{4}$$

Fuente: MOTT. Robert  
Diseño de elemento de  
máquinas, México. Ediciones  
Pearson Educación . p.781. 2006.

$$F_s = \frac{147,15 \text{ N}}{4 \text{ pernos}}$$

$$F_s = 36,78 \frac{\text{N}}{\text{perno}}$$

Se procede a calcular el momento que debe resistir el conjunto de pernos con la ecuación 51.

Ecuación 51. Momento en los pernos

$$M = P \times a$$

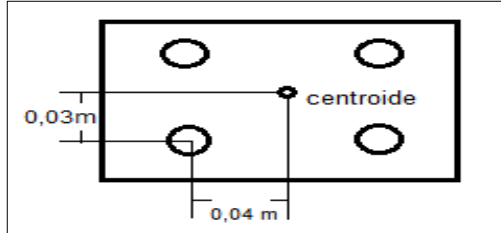
Fuente: MOTT. Robert  
Diseño de elemento de  
máquinas. , Mexico. Ediciones  
Pearson Educación .  
p.781.2006.

$$M = 147,15 \text{ N} \times 0,10 \text{ m}$$

$$M = 14,71 \text{ N m}$$

Con las dimensiones de la junta atornillada desde el conjunto de pernos hasta el centroide de cada uno de ellos (ver imagen 66) se obtiene la distancia radial con la ecuación 52.

Imagen 66. Dimensiones de las juntas



Fuente: elaboración propia

Ecuación 52. Distancia radial

$$r = \sqrt{(0,03m)^2 + (0,04m)^2}$$

Fuente: MOTT. Robert  
Diseño de elemento de  
máquinas, México. Ediciones  
Pearson Educación . p.782.  
2006.

$$r = 0,05 \text{ m}$$

Se calcula la suma de cuadrados de todas las distancias radiales, como en este caso su radio es el mismo se utiliza la ecuación 53.

Ecuación 53. Suma de los  
cuadrados

$$\sum r^2$$

Fuente: MOTT. Robert  
Diseño de elemento de  
máquinas, México. Ediciones  
Pearson Educación . p.782.  
2006.

$$\sum r^2 = 4(0,05m)^2 = 0,2 \text{ m}^2$$

Para calcular sobre cada tornillo necesaria para resistir el momento flector se utiliza la ecuación 54.

Ecuación 54. Fuerza para resistir el momento flector

$$F_i = \frac{M_{ri}}{\sum r^2}$$

Fuente: MOTT. Robert  
Diseño de elemento de  
máquinas. , México .Ediciones  
Pearson Educación . p.782.  
2006.

Donde;

$r_i$  → Distancia radial desde el centroide hasta el i-ésimo perno.

$F_i$  → Fuerza sobre el i-ésimo perno debido al momento.

$$F_i = \frac{(14,71 \text{ N mx } 0,05 \text{ m})}{0,2 \text{ m}^2} = 3,67 \text{ N}$$

Ahora se determina el resultado de todas las fuerzas sobre cada perno, en este caso la fuerza cortante actúa directamente hacia abajo, se calculan los componentes en x y y de la fuerza i hallada anteriormente.

Ecuación 55. fuerzas  
actuantes en los ejes  
x y y

$$\begin{aligned} F_{ix} &= F_{ix} \text{ sen } \theta \\ F_{iy} &= F_{iy} \text{ sen } \theta \end{aligned}$$

Fuente: MOTT.  
Robert Diseño de  
elemento de  
máquinas, México.  
Ediciones Pearson  
Educación . p.782.  
2006.

El Angulo se halla mediante el cateto adyacente que en este caso es 0,04 m dividido la hipotenusa que es el radio= 0,05 m y se reemplazan estos datos en la ecuación 56.

Ecuación 56. Geometría y Trigonometría

$$\cos \theta = \frac{ca}{h}$$

Fuente: BALDOR Aurelio. Geometría y trigonometría Baldor. Ediciones Patria. 2008.

$$\theta = \cos^{-1} \frac{0,04}{0,05} = 36,86^\circ$$

Teniendo el Angulo se procede hallar la fuerza en cada eje.

$$F_{ix} = 3,67 \text{ N} \text{ sen } 36,86^\circ = 2,20 \text{ N}$$

$$F_{iy} = 3,67 \text{ N} \cos 36,86^\circ = 2,93 \text{ N}$$

La fuerza total en la dirección y es.

$$F_{iy} + F_s = 2,93 \text{ N} + 36,78 \frac{\text{N}}{\text{perno}} = 39,71 \text{ N}$$

La fuerza resultante sobre el perno es.

$$R_i = \sqrt{(2,20 \text{ N})^2 + (39,71 \text{ N})^2} = 39,77 \text{ N}$$

Por último, se determina el material del, pero y se selecciona un tamaño adecuado, para este caso se utiliza un acero ASTM A307, material que es utilizado para pernos y tiene un esfuerzo cortante admisible de 69 MPa como se ve en la siguiente tabla.

Tabla 13. Esfuerzos admisibles para tornillos

Grado ASTM	Esfuerzo cortante admisible	Esfuerzo de tensión admisible
A307	10 Ksi (69 MPa)	20 Ksi (138 MPa)
A 325 Y		
A449	17,5 Ksi(121 Mpa)	44 Ksi (303 Mpa)
A490	22 KSI (152 MPa)	54 Ksi (372 Mpa)

Fuente: MOTT Robert Diseño de elementos de máquinas. 6 ed. México: Pearson, 2006. [Citado 4 Mayo 2019]. Modificado por los autores, Mayo 2019.

Ecuación 57. Área requerida

$$A_s = \frac{R_1}{T_a}$$

Fuente: MOTT. Robert  
Diseño de elemento de  
máquinas, México. Ediciones  
Pearson Educación . p.782.  
2006.

Se utiliza la ecuación 57 para hallar el área que requiere el perno.

$$A_s = \frac{39,77N}{69000000 \text{ Pa}} = 5,76 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

El diámetro necesario sería.

$$D = \sqrt{\frac{4(A_s)}{\pi}}$$

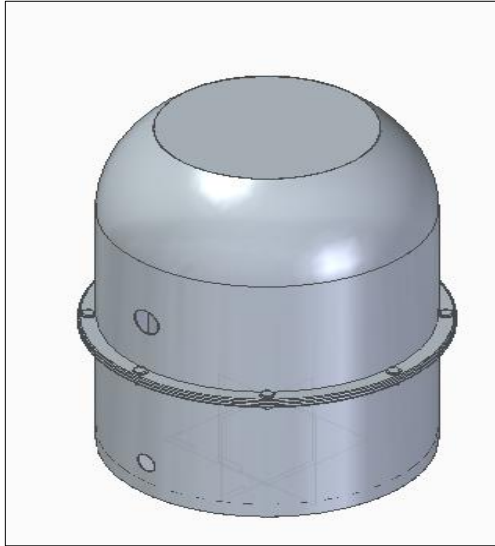
$$D = \sqrt{\frac{4(5,76 \times 10^{-7} \text{ m}^2)}{\pi}}$$

$$D = 8,566 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Se necesita un perno de 0,85 mm como comercialmente no se encuentra se elige un perno de 1/8 pulgada → 3,175 mm cotizado por el fabricante la casa del perno (ver Anexo I).

5.2.8 Carcasa de la máquina. La fabricación de un elemento que proteja las piezas internas del sistema es importante en el diseño, por esta razón la filtradora tendrá una carcasa protectora y no hermética, se podrá desmontar para realizar inspecciones y mantenimientos, en la Imagen 67 se puede ver el diseño de la carcasa y el acople con la base.

Imagen 67. Carcasa máquina filtradora



Fuente: elaboración propia

5.2.9 Cargas de la máquina. Cada uno de estos elementos estarán unidos entre sí para evitar que exista un leve movimiento y afecte el sistema de filtrado, estará apoyado en una lámina la cual va a soportar el peso del sistema para esto es importante realizar un cálculo de cargas para garantizar el diámetro óptimo de la lámina que lo va a soportar.

Para el cálculo de la lámina se tiene un acero inoxidable con un esfuerzo admisible  $S_y = 205 \text{ Mpa}$  y una sumatoria de fuerzas.

Soporte de cámaras (41,24 N este dato fue hallado en el capítulo 5.2.2.1).

Aceite (20,84 N este dato fue hallado en el capítulo 5.2.2.1).

Filtros. Para hallar la fuerza que ejercen los filtro se utiliza la ecuación 27.

$$V_{\text{filtro exterior}} = \frac{\pi}{4} (0,03 \text{ m})^2 \times 0,2\text{m}$$

$$V_{\text{filtro interior}} = \frac{\pi}{4} (0,02 \text{ m})^2 \times 0,2\text{m}$$

$$V_{\text{filtro}} = \left[ \frac{\pi}{4} (0,03 \text{ m})^2 \times 0,2\text{m} - \frac{\pi}{4} (0,02 \text{ m})^2 \times 0,2\text{m} \right] \times 15 \text{ filtros}$$

$$V_{\text{filtro}} = 1,1781 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Para determinar la masa de los filtros se multiplica el volumen por la densidad del material ( $7980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ) acero inoxidable.

$$m_{\text{filtro}} = V \times \rho$$

$$m_{\text{filtro}} = 1,1781 \times 10^{-3} \text{m}^3 \times 7980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{\text{filtro}} = 9,4012 \text{ Kg}$$

Para hallar la fuerza del cilindro se utiliza la ecuación 32.

$$F = M \times g$$

m: masa de los filtros

g: gravedad ( $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ )

$$F = 9,4012 \text{ Kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 92,2259 \text{ N}$$

Cilindros donde se filtra el aceite. Para hallar la fuerza que ejercen los cilindros se utiliza la ecuación 27.

$$V_{\text{cilindro exterior}} = \frac{\pi}{4} (0,1 \text{ m})^2 \times 0,2 \text{ m}$$

$$V_{\text{cilindro interior}} = \frac{\pi}{4} (0,0988 \text{ m})^2 \times 0,2 \text{ m}$$

$$V_{\text{cilindros}} = \left[ \frac{\pi}{4} (0,1 \text{ m})^2 \times 0,2 \text{ m} - \frac{\pi}{4} (0,0988 \text{ m})^2 \times 0,2 \text{ m} \right] \times 3 \text{ cilindros}$$

$$V_{\text{cilindros}} = 1,1241 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Para determinar la masa de los cilindros se multiplica el volumen por la densidad del material ( $7980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ) acero inoxidable.

$$m_{\text{cilindros}} = V \times \rho$$

$$m_{\text{cilindros}} = 1,1241 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \times 7980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$



$$m_{\text{cilindros}}=0,8971\text{Kg}$$

Para hallar la fuerza del cilindro se utiliza la ecuación 32 de la fuerza de gravedad.

$$F = m \times g$$

m: masa de los cilindros

g: gravedad ( $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ )

$$F = 0,8971 \text{ Kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 8,80 \text{ N}$$

Carcasa. Para hallar la fuerza que ejerce la carcasa se utiliza la ecuación 27.

$$V_{\text{carcasa exterior}} = \frac{\pi}{4} (0,3 \text{ m})^2 \times 0,4\text{m}$$

$$V_{\text{carcasa interior}} = \frac{\pi}{4} (0,2988 \text{ m})^2 \times 0,4\text{m}$$

$$V_{\text{carcasa}} = \left[ \frac{\pi}{4} (0,3 \text{ m})^2 \times 0,4\text{m} - \frac{\pi}{4} (0,2988 \text{ m})^2 \times 0,4\text{m} \right]$$

$$V_{\text{carcasa}}=2,2574 \times 10^{-4}\text{m}^3$$

Para determinar la masa de la carcasa se multiplica el volumen por la densidad del material ( $7980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ) acero inoxidable.

$$m_{\text{carcasa}} = V \times \rho$$

$$m_{\text{carcasa}} = 2,2574 \times 10^{-4}\text{m}^3 \times 7980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{\text{carcasa}} = 1,8014 \text{ Kg}$$

Para hallar la fuerza del cilindro se utiliza la ecuación 32 de la fuerza de gravedad.

$$F = m \times g$$

M: masa de la carcasa

g: gravedad ( $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ )

$$F = 1,7720 \text{ Kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 17,3840 \text{ N}$$

Bomba de engranajes. Para hallar la fuerza que ejerce la bomba se estima por fabricante un peso de total de 15 kg.

Para hallar la fuerza de la bomba se utiliza la ecuación de la fuerza de gravedad.

$$F = m \times g$$

m: masa de los filtros

g: gravedad ( $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ )

$$F = 15 \text{ Kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 147,15 \text{ N}$$

Determinando todas las fuerzas que existen sobre el sistema se realiza la sumatoria para obtener la fuerza resultante.

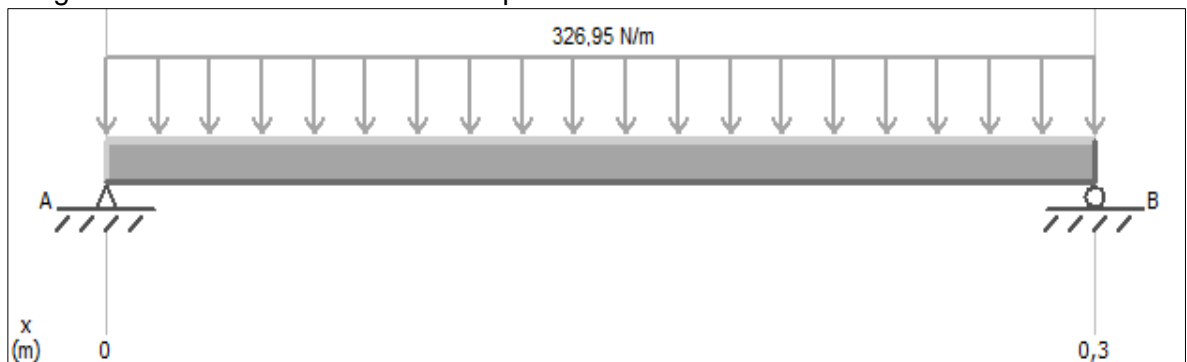
$$\text{Fuerza total} = 41,24\text{N} + 20,84 \text{ N} + 92,2259 \text{ N} + 8,80 \text{ N} + 17,3840 \text{ N} + 147,15 \text{ N}$$

$$\text{Fuerza total} = 326,9599 \text{ N}$$

Teniendo estos datos se procede a determinar el espesor óptimo para que la bandeja resista este peso.

Para graficar los diagramas de momentos y cortante se utilizó un software gratuito llamado MD solids 4.0 y se aplicó la fuerza total del sistema. (ver Imagen 68)

Imagen 68. Fuerza distribuida en el soporte de cámaras



Fuente: elaboración propia

Se utiliza la ecuación 23 para poder hallar la fuerza puntual

$$F = 326,95 \text{ N/m} \times 0,3 \text{ m}$$

$$F = 98,085 \text{ N}$$

$$R_a = R_b$$

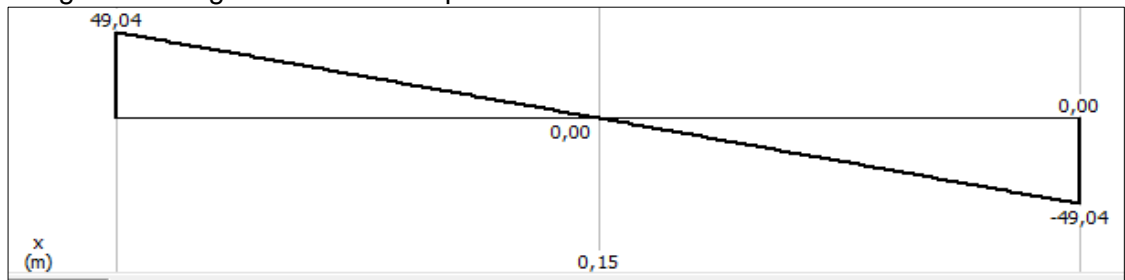
$$0 = R_a - F + R_b$$

$$R_a = \frac{98,085 \text{ N}}{2} = 49,04 \text{ N}$$

$$R_b = 49,04 \text{ N}$$

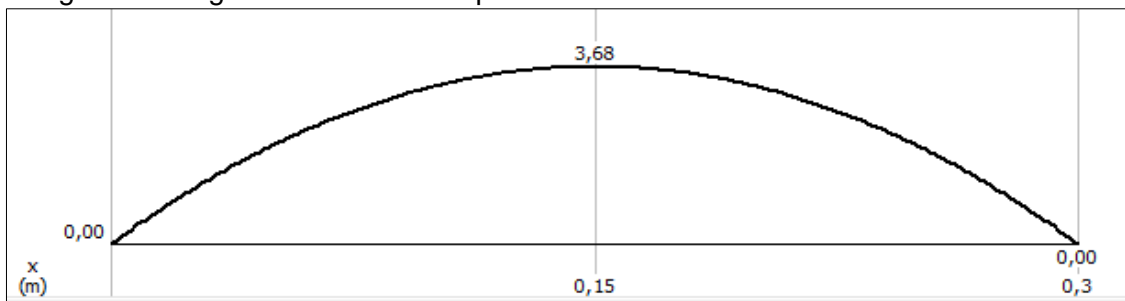
Ya con estos datos hallados y apoyándose del software los diagramas de cortante y momento (ver Imagen 69 y 70) se pueden hallar para saber el máximo momento que se da en el sistema a calcular.

Imagen 69. Diagrama cortante soporte



Fuente: elaboración propia

Imagen 70. Diagrama momentos soporte



Fuente: elaboración propia

$$M = 3,68 \text{ Nm}$$

Para poder determinar el espesor mínimo en la lámina se hace la siguiente operación. Se utiliza la ecuación 24 en donde se determina el esfuerzo admisible.

$$\sigma \text{ admisible} = \frac{\sigma_{\text{material}}}{F.S}$$

$$\sigma \text{ admisible} = \frac{230 \text{ MPa}}{4}$$

$$\sigma \text{ admisible} = 57,5 \text{ MPa}$$

con este dato y aplicando la ecuación 25 y 26 se procede hallar el ancho mínimo de la lámina inferior de la bandeja

$$\sigma \text{ admisible} = \frac{M C}{I}$$

El valor I se halla mediante la ecuación 26.

$$I = \frac{1}{6} b \times h^3$$

Esta ecuación se reemplaza en la ecuación 25 para hallar el valor de h.

$$\sigma \text{ admisible} = \frac{M C}{\frac{1}{6} b \times h^3}$$

$$57,5 \times 10^6 \text{ MPa} = \frac{0,375 \text{ Kgf} \times \frac{h}{2}}{\frac{1}{6} (0,3\text{m}) \times h^3}$$

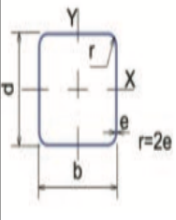
$$h = 0,255 \text{ mm}$$

la bandeja en la parte inferior se fabricará con una lámina de 0,255 mm, comercialmente se escoge una lámina de calibre 28 que es el valor más cercano por encima a la medida.

5.2.10 Estructura soporte. Considerando los sistemas que comprende la máquina se elaboró una base o soporte y una carcasa que garantice la integridad de la máquina, dicha base debe soportar la carga total de los sistemas y elementos que componen la misma. Al igual que la estructura base de la bandeja se selecciona un acero ASTM A36.

Para determinar el perfil de la estructura se escoge al fabricante colmena reconocido en la industria por sus perfiles<sup>24</sup> en acero AISI A36.

Imagen 71. Características perfil cuadrado



PERFIL CUADRADO											
TAMAÑO PERFIL		ESPESOR DE PARED e mm	PESO NEGRO (kg/m)	ÁREA cm <sup>2</sup>	FLEXIÓN			MÓDULO PLÁSTICO Zx = Zy cm <sup>3</sup>	TORSIÓN		UNIDAD DE EMPAQUE
PULG.	MM				MOMENTO INERCIA Ix = Iy cm <sup>4</sup>	MÓDULO ELÁSTICO Sx = Sy cm <sup>3</sup>	RADIO DE GIRO rx = ry cm		MOMENTO INERCIA J cm <sup>4</sup>	MÓDULO ELÁSTICO B cm <sup>3</sup>	
1 X 1	25 X 25	1,50	1,06	1,35	1,22	0,97	0,95	1,17	2,03	1,48	36
		2,00	1,36	1,73	1,48	1,19	0,93	1,47	2,58	1,82	
		2,50	1,64	2,09	1,69	1,35	0,90	1,71	3,07	2,11	

Fuente: COLMENA, perfiles estructurares [en línea], Disponible en: <http://tuboscolmena.com/colmena/productos-estructurales/>

El perfil a utilizar es un perfil cuadrado que por su geometría es el más adecuado para el sistema. En la Imagen 71 se encuentran las dimensiones y características del perfil seleccionado

Se determina el valor de la carga mayorada para la estructura.

$$P_u = 1,4 \times D$$

En donde D es la carga muerta presente en la estructura

$$P_u = 1,4 \times 33,32924 \text{ kgf}$$

$$P_u = 46,6609 \text{ kgf}$$

Teniendo la carga mayorada y para determinar el área gross se asume que la resistencia de diseño va a ser igual a la carga anteriormente hallada para así poder tener el siguiente valor.

$$R_{d1} = \phi \times A_g \times \sigma_y$$

Donde.

$\sigma_y$  → Límite de fluencia del material.

$\phi$  → Factor de resistencia.

$A_g$  → Área gross.

<sup>24</sup> COLMENA. Perfiles estructurales tubular. Colombia. Obtenido de: <http://tuboscolmena.com/colmena/productos-estructurales/>

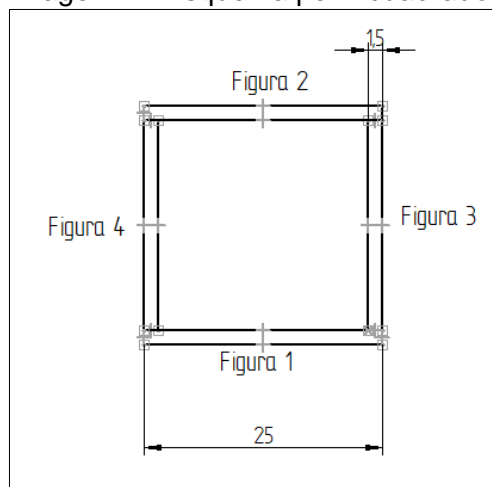
El límite de fluencia es el de un acero AISI A36

$$A_g = \frac{R_{d1}}{\phi \times \sigma_y}$$

$$A_g = \frac{46,6609 \text{ kgf}}{0,9 \times 25,3 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}}$$

$$A_g = 2,0017 \text{ mm}^2$$

Imagen 72. Esquema perfil cuadrado



Fuente: elaboración propia

Tabla 14. Radio mínimo de giro perfil cuadrado

Figura	1	2	3	4	Sumatoria
bi(mm)	2,5	25	1,5	1,5	
hi(mm)	1,5	1,5	22	22	
Ai(mm <sup>2</sup> )	37,5	37,5	33	33	141
Xi(mm)	12,5	12,5	24,25	0,75	
Yi(mm)	0,75	24,25	12,5	12,5	
AiXi(mm <sup>3</sup> )	468,75	468,75	800,25	24,75	1762,5
AiYi(mm <sup>3</sup> )	28,125	909,375	412,5	412,5	1762,5
I Xi(mm <sup>4</sup> )	1953,12	1953,12	6,1375	6,1375	
I Yi(mm <sup>4</sup> )	7,0312	7,03125	1331	1331	

Fuente: elaboración propia

Obtención del dato X

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n A_i x_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

$$X = \frac{1762,5 \text{ mm}^3}{141 \text{ mm}^2}$$

$$X = 12,5 \text{ mm}$$

Obtención del dato Y

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n A_i y_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

$$Y = \frac{1762,5 \text{ mm}^3}{141 \text{ mm}^2}$$

$$Y = 12,5 \text{ mm}$$

Para determinar los momentos de inercia en las figuras se realizan las siguientes operaciones.

Para la primera figura.

$$IXCG_i = 1953,125 \text{ mm}^4 + 37,5 \text{ mm}^2 (12,5 \text{ mm} - 12,5 \text{ mm})^2 = 1953,125 \text{ mm}^4$$

$$IYCG_i = 7,03125 \text{ mm}^4 + 37,5 \text{ mm}^2 (12,5 \text{ mm} - 0,75 \text{ mm})^2 = 5184,375 \text{ mm}^4$$

Para la segunda figura.

$$IXCG_i = 1953,125 \text{ mm}^4 + 37,5 \text{ mm}^2 (12,5 \text{ mm} - 12,5,5 \text{ mm})^2 = 1953,125 \text{ mm}^4$$

$$IYCG_i = 7,03125 \text{ mm}^4 + 37,5 \text{ mm}^2 (12,5 \text{ mm} - 24,25 \text{ mm})^2 = 5184,375 \text{ mm}^4$$

Para la tercera figura.

$$IXCG_i = 6,1875 \text{ mm}^4 + 33 \text{ mm}^2 (12,5 \text{ mm} - 24,25 \text{ mm})^2 = 4562,25 \text{ mm}^4$$

$$IYCG_i = 1331 \text{ mm}^4 + 33 \text{ mm}^2 (12,5 \text{ mm} - 12,5 \text{ mm})^2 = 1331 \text{ mm}^4$$

Para la cuarta figura.

$$IXCG_i = 6,1875 \text{ mm}^4 + 33 \text{ mm}^2 (12,5 \text{ mm} - 0,75 \text{ mm})^2 = 4562,25 \text{ mm}^4$$

$$IYCG_i = 1331 \text{ mm}^4 + 33 \text{ mm}^2 (12,5 \text{ mm} - 12,5 \text{ mm})^2 = 1331 \text{ mm}^4$$

Se hace la sumatoria de momentos para determinar el total.

$$\sum IXCG_i = 857,375 \text{ mm}^4 + 1842 \text{ mm}^4 + 857,375 \text{ mm}^4 + 1842 \text{ mm}^4 = 5398,75 \text{ mm}^4$$

$$\sum IYCGi = 2187,375 \text{ mm}^4 + 512 \text{ mm}^4 + 2187,375 \text{ mm}^4 + 512 \text{ mm}^4 = 5398,75 \text{ mm}^4$$

Se procede hacer el cálculo del radio mínimo de giro para luego hacer el análisis de esbeltez.

$$r_x = \sqrt{\frac{IXCGi}{Agros}}$$

$$r_x = \sqrt{\frac{13030,75 \text{ mm}^4}{141 \text{ mm}^2}}$$

$$r_x = 9,61225 \text{ mm}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{IYCGi}{Agros}}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{13030,75 \text{ mm}^4}{141 \text{ mm}^2}}$$

$$r_y = 9,61225 \text{ mm}$$

Se toma el radio menor para el cálculo de esbeltez y se analiza bajo la siguiente ecuación.

$$\frac{k \times L}{r} \leq 300$$

$$\frac{0,75 \times 300 \text{ mm}}{9,61225 \text{ mm}} \leq 300$$

$$23,4049 \leq 300$$

### 5.3 SISTEMA DE RETROLIMPIEZA

Con el fin de extender la vida útil y reducir las intervenciones de mantenimiento de los elementos filtrantes se consideró un sistema autónomo capaz de retirar el material retenido en las velas filtrantes, transportándolo por medio de un sistema de tuberías con aire a presión en contracorriente con al aceite y en común con las



cámaras de filtrado; que desalojara y almacenara en un compartimiento para su disposición manual. Para ello es necesario una serie de dispositivos que se puedan utilizar mediante lógica cableada como electroválvulas, sensor tipo flotador, temporizadores y relés.

5.3.1 Cálculos sistemas de aire. Relación de compresión. La presión manométrica es la presión a la que se encuentra la ciudad; en este caso se realizaran los cálculos con la ciudad de Bogotá.

Ecuación 58. Relación de compresión

$$RC = \frac{P_{abs}}{P_{atm}}$$

Fuente: MOTT. Robert  
Diseño de elemento de  
máquinas, México. Ediciones  
Pearson Educación . p.782.  
2006.

$$RC = \frac{P_{man} + P_{atm}}{P_{man}}$$

$$RC = \frac{8,28 \text{ Bar} + 0,74 \text{ Bar}}{0,74 \text{ Bar}}$$

$$RC = 12,18$$

5.3.1.1 Potencia de compresor. Para este cálculo será necesario determinar el flujo volumétrico de aire (caudal) con que se realizara la etapa de auto limpieza; para ello se consultó una organización que desarrolla equipos neumáticos, eléctricos, grupos electrógenos entre otros, encontrando una tabla en la que comúnmente se utiliza para definir el caudal y una presión en los compresores de aire (ver Imagen 73). Condor Group establece una recomendación para definir el caudal y es elegir un caudal entre el 25 y 40% por encima del calculado es por ello que se consideró que para la etapa de auto limpieza  $0,35 \frac{m^3}{min}$  serán suficientes para remover en 5 minutos las partículas en contracorriente. En la imagen se puede ilustrar como es el funcionamiento en contracorriente y como el aire por el paso continuo desprenderá las partículas retenidas en el filtro.

Imagen 73. Presión y caudal de aire.

Caudal (litros/minuto)	Caudal (m <sup>3</sup> /minuto)	Presión (PSI)	Potencia (HP)	Compresor recomendado
350-550	0,35-0,55	145	3 a 5	A pistón
551-700	0,7	145	7,5	A pistón
701-960	0,96	145	10	A tornillo
961-1300	1,3	145	15	A tornillo
1301-7500	7,5	145	75	A tornillo

Fuente: CONDOR GROUP, Determinando el caudal y la presión de los compresores de aire [en línea], Disponible en: <https://condorgroup.com.ar/determinando-caudal-la-presion-los-compresores-aire/>

Ecuación 59. Potencia del compresor

$$P_{\text{compresor}} = 8,01 Q [Rc^{0,286} - 1]$$

Fuente: SERRANO, Nicolás. Oleo hidráulica. Mc Graw Hill 2002

$$P_{\text{compresor}} = 8,01 * 0,35 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} [12,18^{0,286} - 1]$$

$$P_{\text{compresor}} = 2,92 \text{ Hp}$$

Conversión 1Hp → 746 W entonces: 2,92 hp = 2178.32 W

Ecuación 60. Potencia del motor según compresor

$$P_{\text{motor}} = \frac{P_{\text{compresor}}}{\eta_{\text{me}}}$$

Fuente: SERRANO, Nicolás. Oleo hidráulica. Mc Graw Hill 2002

$$P_{\text{motor}} = \frac{1434,9195 \text{ W}}{0,9}$$

$$P_{\text{motor}} = 1594,35 \text{ W}$$

5.3.1.2 Selección de compresor. Con los valores obtenidos de caudal ( $0,35 \frac{m^3}{min}$ ), presión (90 psi – 6,20 bar) y la potencia del compresor obtenida de 2,92 hp por medio de la imagen se encuentra que para la aplicación convendría seleccionar un compresor de embolo o pistón con 3hp. Pero si la compañía cuenta con un sistema de aire a baja presión, la máquina en su configuración de tuberías contará con un acople para instalar directamente a la misma.

5.3.2 Instrumentos. Se encontrará con la selección de los instrumentos para realizar la retro limpieza de la máquina.

Válvulas tipo solenoide para aire: Para la selección de las válvulas se debe tener en cuenta la aplicación para la que serán empleadas; este tipo de válvulas cambian de estado (normalmente abierto- normalmente cerrado) al aplicarse un voltaje; en nuestro caso se necesita tener control en la tubería de aire y de aceite por ello la necesidad autonomía de la máquina a la hora de abrir y cerrar las válvulas. Se seleccionan válvulas solenoide 2 vías con tamaño de puerto de  $\frac{1}{2}$  " en material de cuerpo latón y en el interior, materiales entre acero inoxidable y latón; ya que la presión necesaria para eliminar las partículas en el sistema e retolimpieza es entre 60 y 90 psi; estas válvulas tienen la característica de ser diseñadas para operar con fluidos viscosos y con presión hasta 110 psi. En la imagen 74 se puede evidenciar el tipo de válvulas.

Imagen 74. Electroválvula uso general.



Fuente: ELÉCTRICAS BOGOTA,  
electroválvulas EBC HQ [en línea],  
Disponible en:  
<http://www.electricasbogota.com/detalles/solenoides/47-91138>

Válvula solenoide para aceite. Como en el sistema de tubería se seleccionan las válvulas para el sistema de aire se selecciona de la misma forma, y para este caso se debe tener en cuenta que el fluido que aplicara es un aceite lubricante con viscosidad de 33Cst por ende se seleccionan válvulas tipo solenoide de  $\frac{1}{2}$  " 2 vías normalmente abiertas.

Sensores captadores de fluido. Con el objeto de garantizar que la bomba entre en funcionamiento y tenga fluido que succionar e impulsar, se requiere un sensor de tipo Interruptor magnético de flotador para montaje horizontal el cual permita la activación del sistema, si el sensor no detecta fluido la máquina no podrá iniciar. También es requerido un sensor en el tanque de reabastecimiento para detectar el nivel y accionar una válvula para completar el nivel. (ver Imagen 75).

Imagen 75. Sensor de flotador



Fuente: WIKA, Interruptor magnético de flotador [en línea], Disponible en: [https://www.wika.co/upload/DS\\_LM3002\\_es\\_es\\_25971.pdf](https://www.wika.co/upload/DS_LM3002_es_es_25971.pdf).

En el sistema se usan manómetros (imagen 76) para que un operario o un técnico estén pendientes en la medición de la variable de presión y medición, esto se realiza para que exista un chequeo de presión en los tanques de filtrado.

Para que la regulación de aire sea la adecuada se instala una unidad de mantenimiento (Imagen 77) garantizando así la presión adecuada de aire que entran a los filtros.

Imagen 76. Manómetro



Fuente: VÍA INDUSTRIAL, Manómetro seco [en línea], Disponible en: <https://www.viaindustrial.com/producto.asp?codigo=141030>

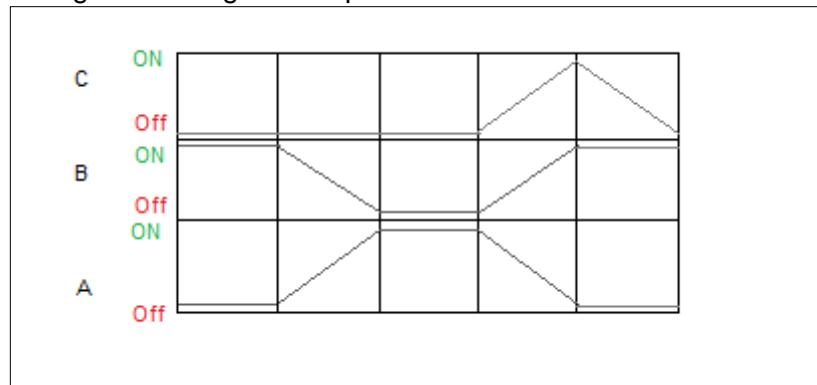
Imagen 77. Unidad de mantenimiento



Fuente: VÍA INDUSTRIAL, Manómetro seco [en línea], Disponible en: <https://www.viaindustrial.com/producto.asp?codigo=141030>

Para que la máquina desarrolle el filtrado, la retro limpieza y el reabastecimiento es necesario tener control del proceso que se está realizando, para ello establecer el orden en que entrara a funcionar y el tiempo que tomara cada uno de los subprocesos; se definió de la siguiente manera: En la imagen 78 se encuentra definido el diagrama espacio fase donde la letra A hace referencia a las electroválvulas de aire, la B las de aceite y la C a la electroválvula del sistema de provisión. La secuencia del sistema es: (temp, B- A+, temp, C+ B+A-, C-)

Imagen 78. Diagrama espacio fase del sistema



Fuente: elaboración propia.

1. Para iniciar la máquina se debe accionar manualmente un pulsador. Un sensor de flotador ubicado en la bandeja indicara si la bandeja contiene o no fluido en un

volumen considerable mínimo de 4.5 litros (depende de la ubicación del sensor) para ser filtrado; si la bandeja no contiene fluido el sensor no permitirá el inicio de la máquina evitando que la bomba de engranajes (desplazamiento positivo) funcione sin fluido ya que esto afectaría sustancialmente la vida útil de la bomba. Además, para el inicio, las válvulas de la tubería de aceite estarán abiertas, las válvulas para aire cerradas y el compresor deberá ser encendido manualmente (la máquina puede realizar su proceso con el compresor desactivado)

2. Si el sensor se activa identificando fluido y las demás condiciones se cumplen, se debe iniciar la bomba y un temporizador con duración de 5 minutos; este tiempo será el necesario para impulsar el fluido transportándolo por el filtro y finalmente a la bandeja.

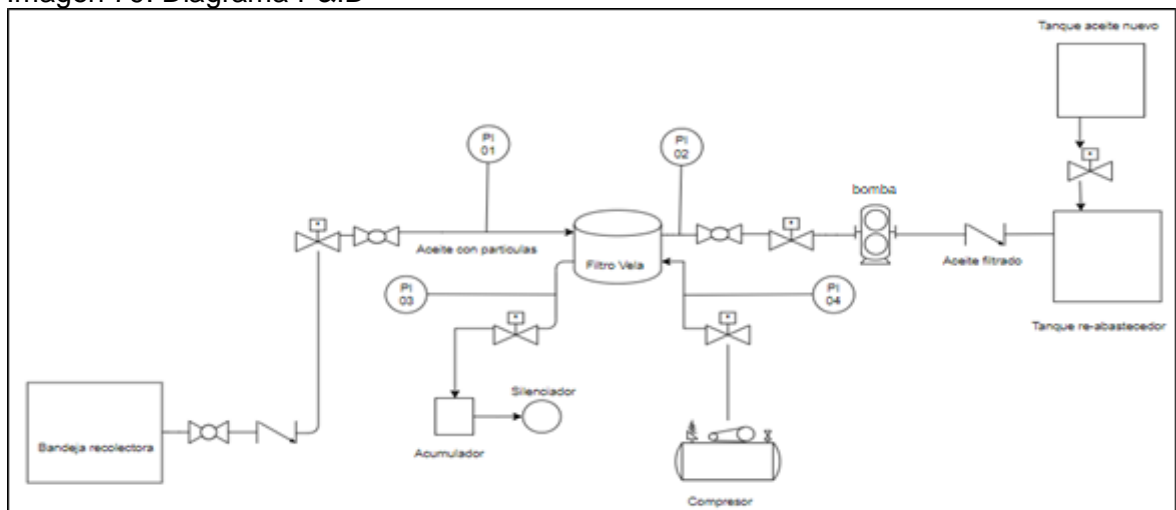
3. Una vez finalice el temporizador las válvulas de la tubería de aceite se cerrarán y las de aire se abrirán, lo que permitirá que un segundo temporizador con duración de 5 minutos permita retirar partículas.

4. Cuando finalice el segundo temporizador se deben cerrar las válvulas de aire y abrir las de aceite. Un sensor ubicado en el interior del tanque de almacenamiento deberá identificar si hay o no la cantidad de aceite necesaria para el proceso de troquelado, si no hay 7 litros el sensor activara una válvula tipo solenoide en el tanque de provisión de aceite nuevo que por gravedad dejará caer la cantidad de aceite necesaria para completar esa cantidad.

En la imagen 79 se puede observar el plano electrohidráulico que comprende todo el sistema.

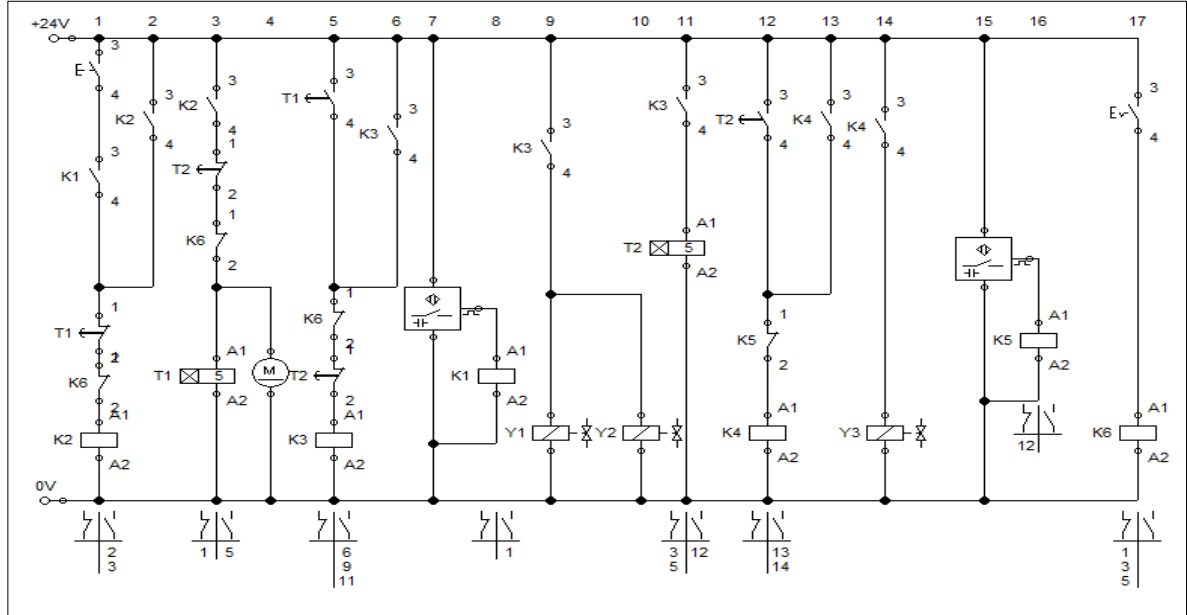
Para ver mejor la imagen 79 ver Anexo J.

Imagen 79. Diagrama P&ID



Fuente: elaboración propia

Imagen 80. Plano electro neumático.



Fuente: elaboración propia.

El desarrollo del plano fue simulado en el programa FLUIDSIM para corroborar su efectivo funcionamiento, el diseño físico de la máquina no contara con un PLC, ya que es innecesario ya que por medio de lógica cableada se puede desarrollar de forma completa y eficaz el funcionamiento de la máquina. (ver Imagen 80)

5.3.2.1 Tuberías y accesorios. Para lograr remover las partículas de los elementos filtrantes será necesario un direccionamiento del aire comprimido en contracorriente por medio de tuberías deberán soportar la presión y resistir el rozamiento entre las partículas y las paredes de la tubería, también se contempla que debido a el paso de aire comprimido por las cámaras existirá un barrido de aceite con material particulado en cada operación de la misma siendo necesario acumular los residuos para su disposición, además para disminuir el sonido que emite el aire a presión en la salida se incluirá un silenciador capaz de disminuir los decibeles producidos por el aire a presión.

## 5.4 SISTEMA DE REABASTECIMIENTO

Finalizado el proceso de filtrado y retroalimentación, el aceite filtrado se localiza en el tanque de reabastecimiento a la troqueladora, ocasionalmente la cantidad de aceite necesaria para el proceso de troquelado no es suficiente; ya que en el proceso suelen existir pérdidas de aceite por adherencia a todo el material que se suspende a la bandeja o porque existen pérdidas en el proceso; por ello será necesario añadir una la cantidad de aceite nuevo para suplir la cantidad de aceite para el normal desempeño de la troqueladora.

Para lograr el reabastecimiento será necesario un sensor de flotador ya mencionado en el sistema de retro limpieza, una válvula solenoide que controlará la apertura y cierre de una válvula quien permitirá el paso aceite y por gravedad suspenderse a el tanque de reabastecimiento. En la imagen se puede ver la configuración del sistema. (ver imagen 74 y 75)



## 6. SIMULACIÓN METODO ELEMENTOS FINITOS

En este capítulo se evaluará por el método de elementos finitos la estructura de la máquina filtradora de aceite, teniendo como software principal Siemens N.X. 12. permitiendo realizar un análisis completo en la estructura, calculando la fuerza ejercida sobre ella y así determinar si existen esfuerzos que afecten gravemente la estructura diseñada, se determinó las deformaciones y esfuerzos a los que se ejerce la máquina para determinar si es conveniente realizar esta fabricación sin antes recurrir a ensayos mecánicos que producen un gasto innecesario.

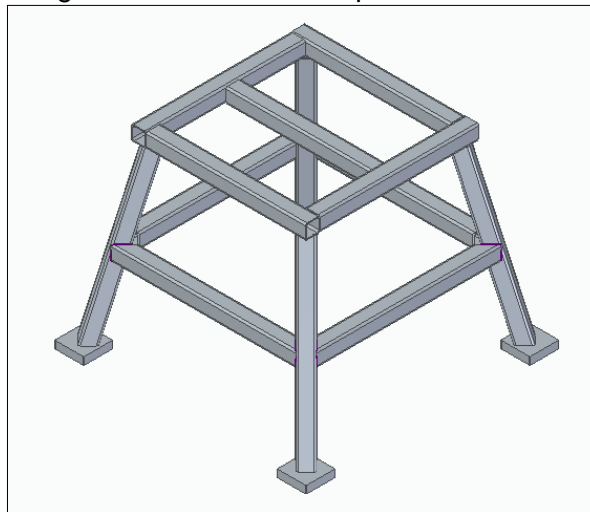
Para la realización de esta simulación se tiene en cuenta que la estructura de la máquina es el elemento que soporta la mayor cantidad de fuerza en todo el diseño.

### 6.1 ESTRUCTURA MODELADA

Para la fabricación y el diseño de la estructura se tiene en cuenta cálculos realizados en el anterior capítulo en donde se calcula las dimensiones más apropiadas de los perfiles con la que está compuesta, utilizando un perfil cuadrado de 25 mm con un espesor de 1,5 mm que según cálculos previos son capaces de soportar la carga a la que estarán expuestos. La simulación se realizó dos veces en la primera los perfiles no tenían redondeo en sus esquinas lo cual dio como resultado una malla que no convergió es decir que los resultados no eran confiables, esto motivo a realizar un redondeado según lo decía el fabricante de los perfiles (3 mm), en donde dio como resultado una malla convergida con resultados confiables en la simulación de este elemento.

En la Imagen 81 se puede ver la estructura modelada en Solid Edge cuyas dimensiones están en los planos realizados posteriormente.

Imagen 81. Estructura máquina en 3D



Fuente: elaboración propia

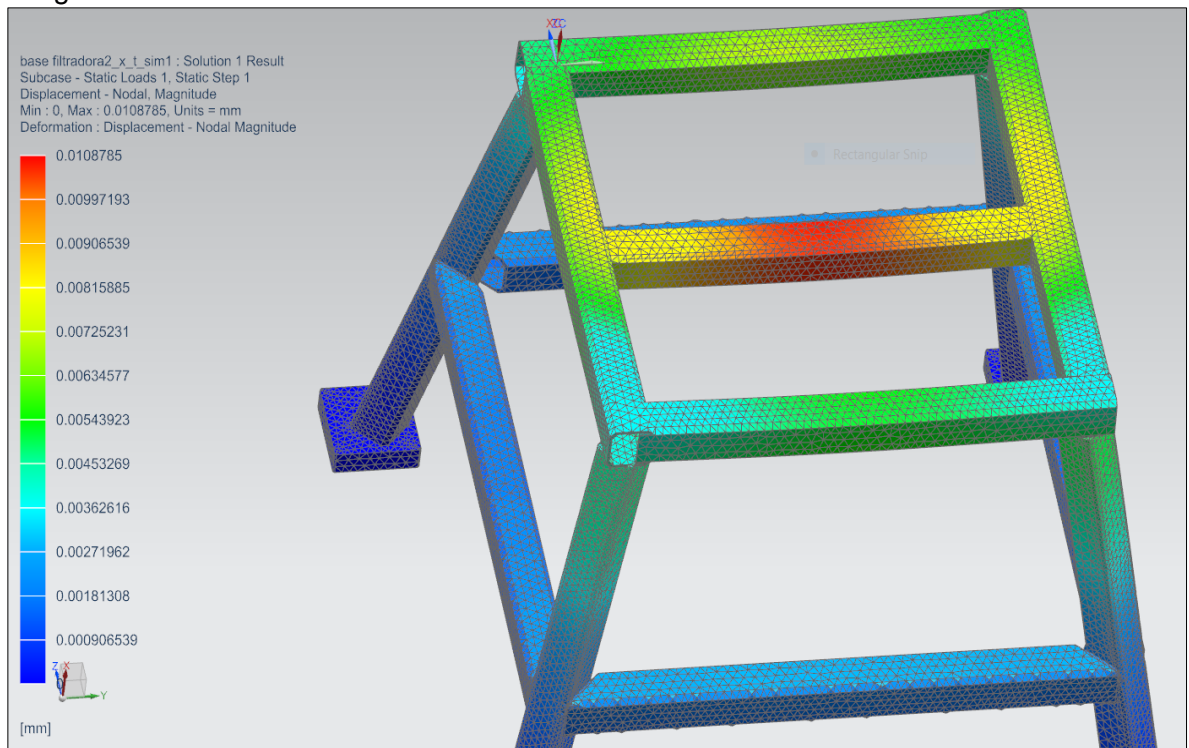
## 6.2 CREACIÓN DE MALLA Y SIMULACIÓN

Para la simulación se aplica una fuerza distribuida en los perfiles de 326,95 N y se establece una malla inicial de 9 mm (ver Imagen 82) empotrando las patas de la estructura ya que estas no tendrán ningún movimiento y estarán ancladas al piso, se debe hacer un énfasis en la creación de la malla pues de esta y de la geometría de la pieza depende los resultados de la simulación.

La malla utilizada es en 3D y tetraédrica, es importante comenzar con un tamaño de malla alto para evitar que los gastos computacionales se eleven, para la simulación se miran los resultados de deformación máxima, número de elementos, tiempo, esfuerzo Von Mises sin promediar y promediado (ver Imagen 83 y 84), estos datos ayudan a demostrar los esfuerzos existentes, costos computacionales, factor de seguridad y si la simulación es confiable dependiendo de la convergencia de la malla.

Según la primera simulación los resultados de la deformación son de 0,01087 mm donde la mayor deformación se presenta en el perfil central de la estructura base, como conclusión esta deformación no afecta el punto de fractura del material ya que no sobrepasa su límite elástico, permitiendo saber que el material es el apropiado para la fabricación de la estructura.

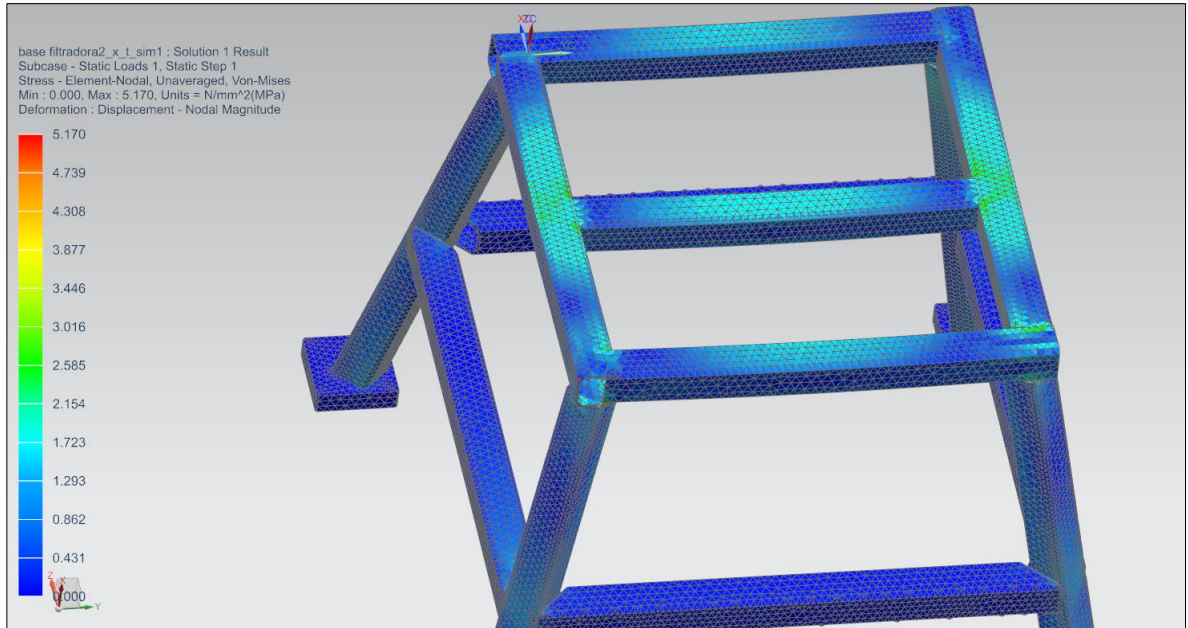
Imagen 82. Esfuerzo de deformación malla 9 mm.



Fuente: elaboración propia

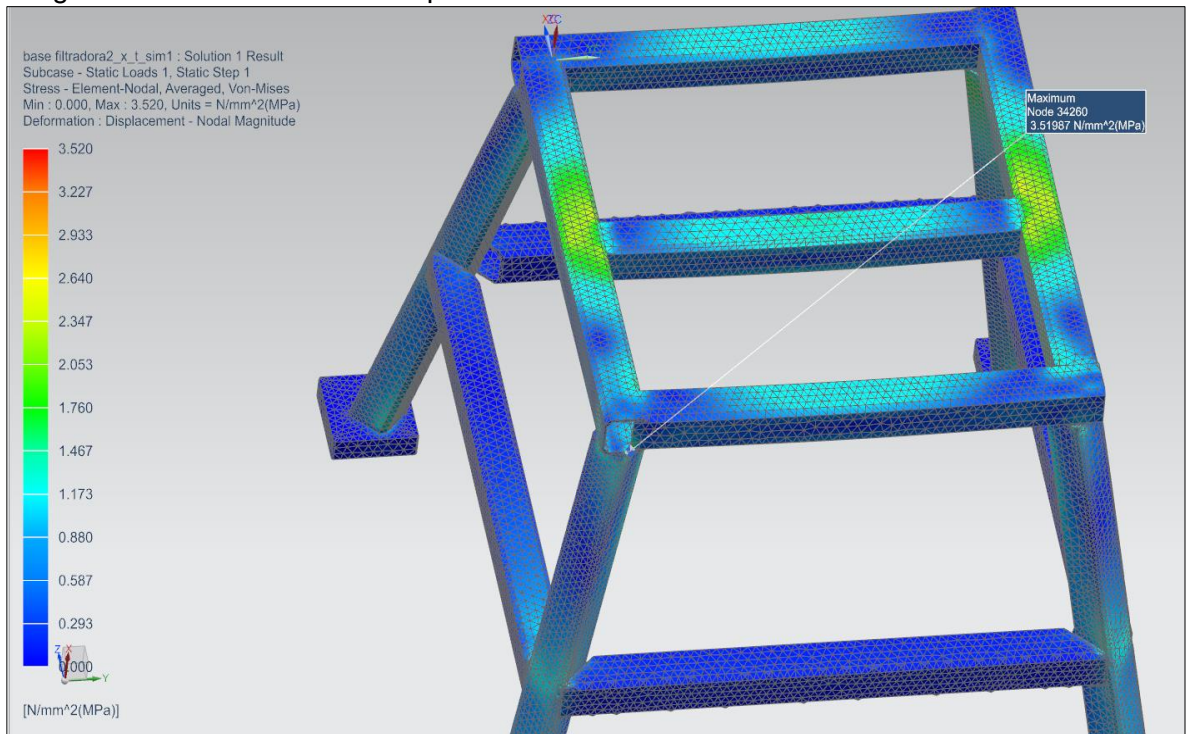
Con respecto a los esfuerzos de Von Mises sin promediar y promediados se puede identificar si los resultados son confiables respecto a la convergencia de malla.

Imagen 83. Esfuerzo Von Mises sin promediar malla 9 mm



Fuente: elaboración propia

Imagen 84. Esfuerzo Von mises promediado malla 9 mm



Fuente: elaboración propia

Estos resultados se deben promediar con tamaños de mallas más pequeños para determinar si la simulación es confiable y los resultados son cada vez más aproximados.

### 6.3 REFINAMIENTO DE MALLA

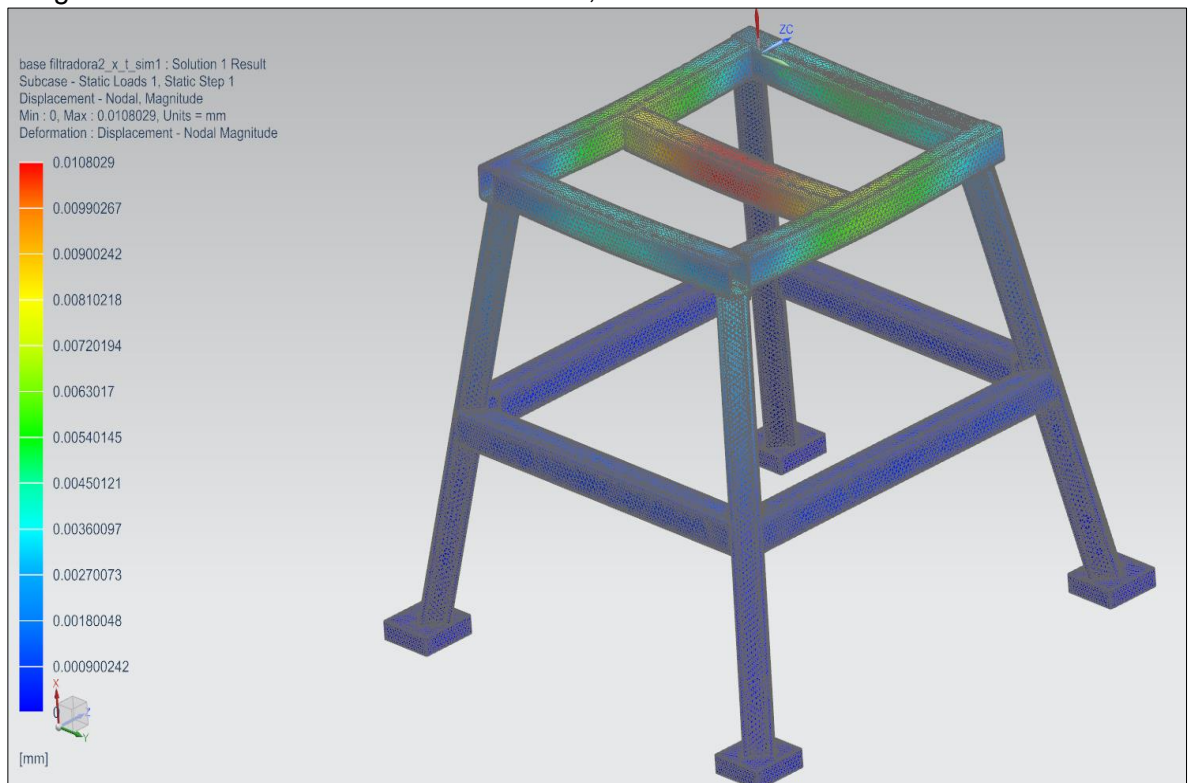
Teniendo en cuenta donde se concentran la mayor cantidad de esfuerzos se realiza un refinamiento de malla en estos sectores con el fin de llegar a una convergencia en los datos finales, se inició con un tamaño de malla de 9 mm y se fue disminuyendo en un 50% para así obtener 4 resultados, compararlos y analizarlos para una posible solución.

En las siguientes imágenes se puede evidenciar cada una de las simulaciones que se realizaron y los resultados que tuvieron cada vez que se fue refinando, disminuyendo la malla se aproxima a un resultado más confiable en la deformación y esfuerzos en la estructura.

Simulación para un tamaño de malla de 4,5 mm. (ver Imagen 85)

Deformación máxima.

Imagen 85. Esfuerzo de deformación malla 4,5 mm

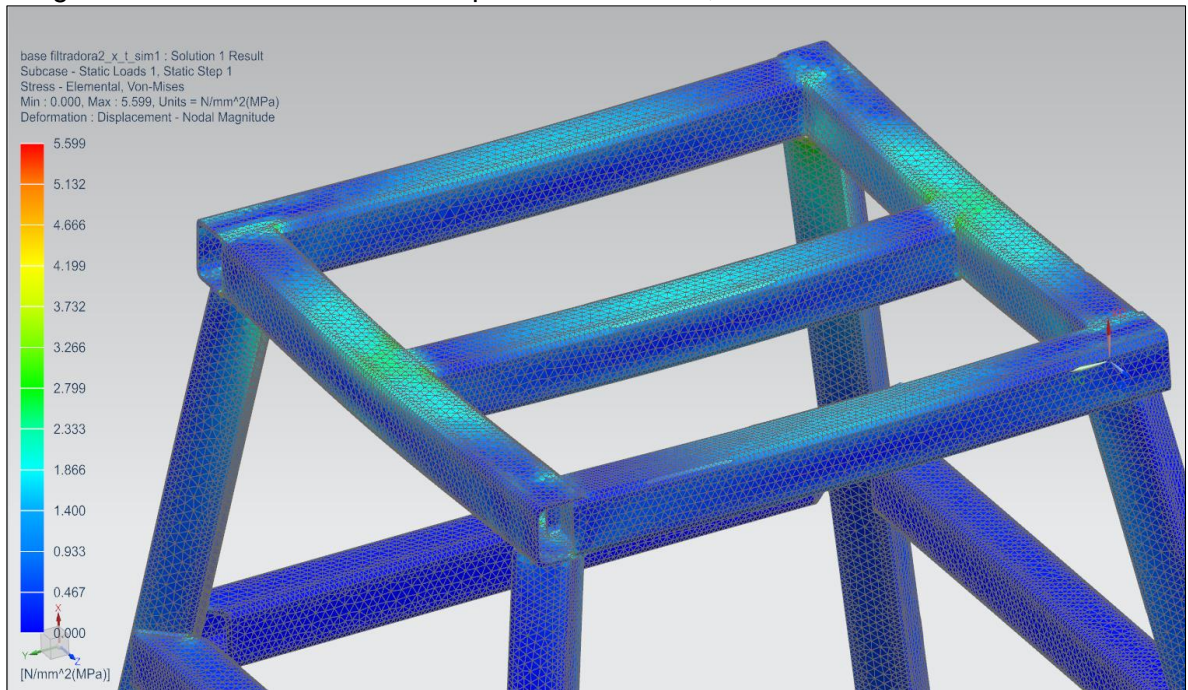


Fuente: elaboración propia



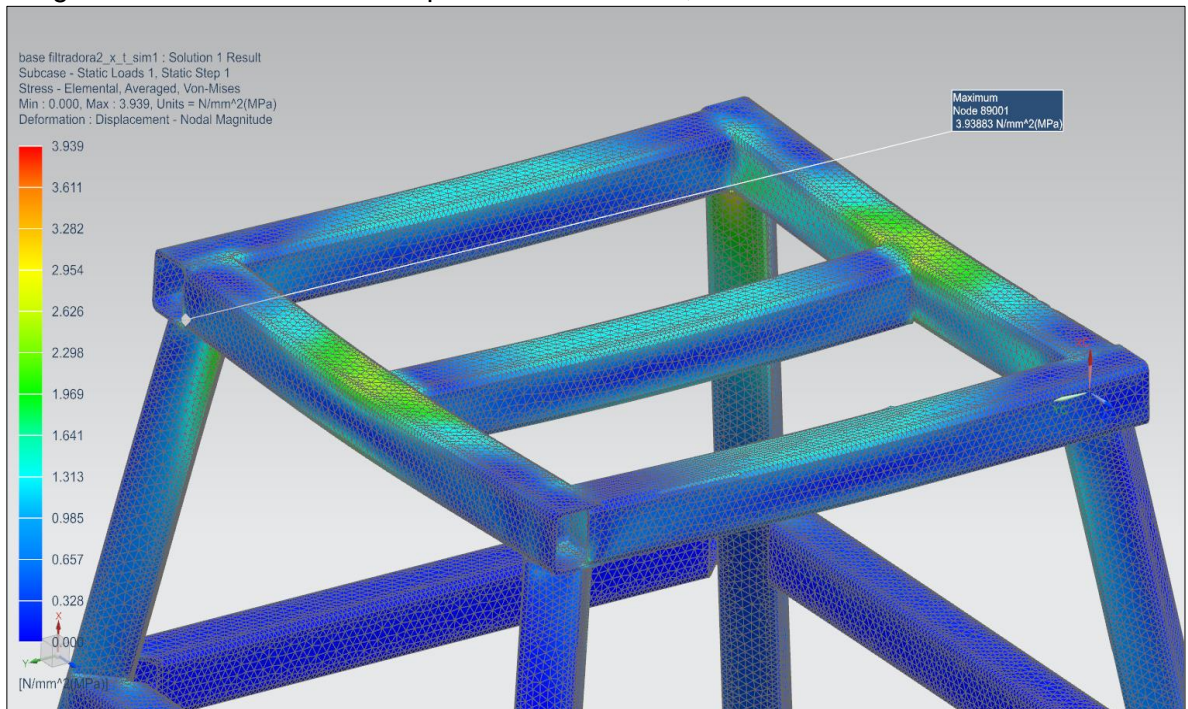
Esfuerzo Von Mises sin promediar.

Imagen 86. Esfuerzo Von Mises sin promediar malla 4,5 mm



Fuente: elaboración propia

Imagen 87. Esfuerzo Von mises promediado malla 4,5 mm

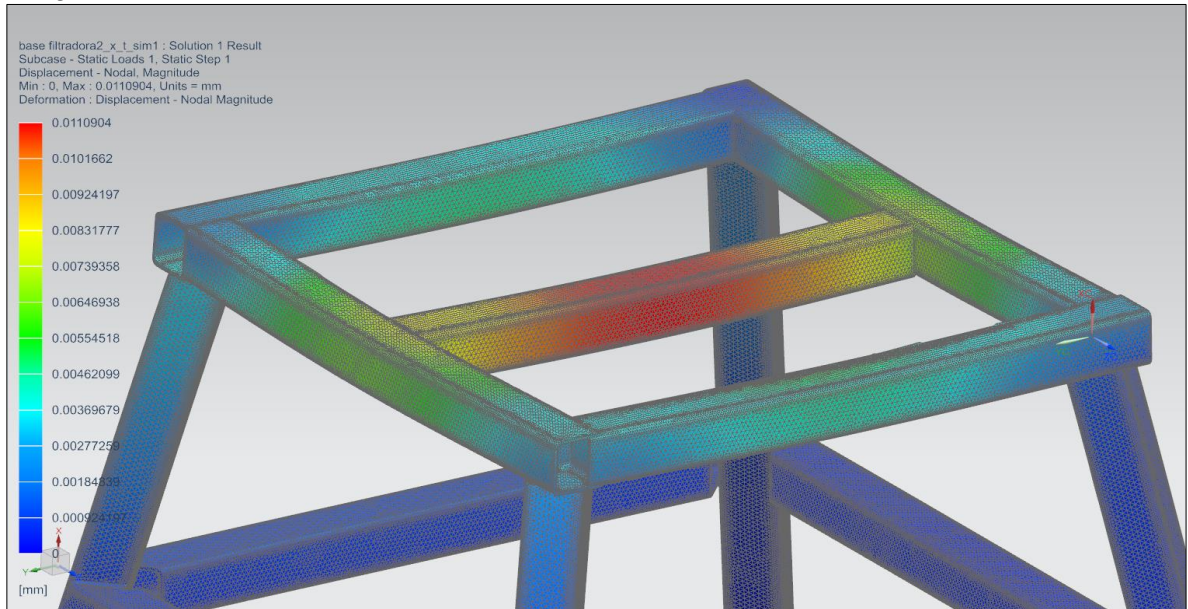


Fuente: elaboración propia

Simulación para un tamaño de malla de 2,25 mm. (ver Imagen 88)

Deformación máxima.

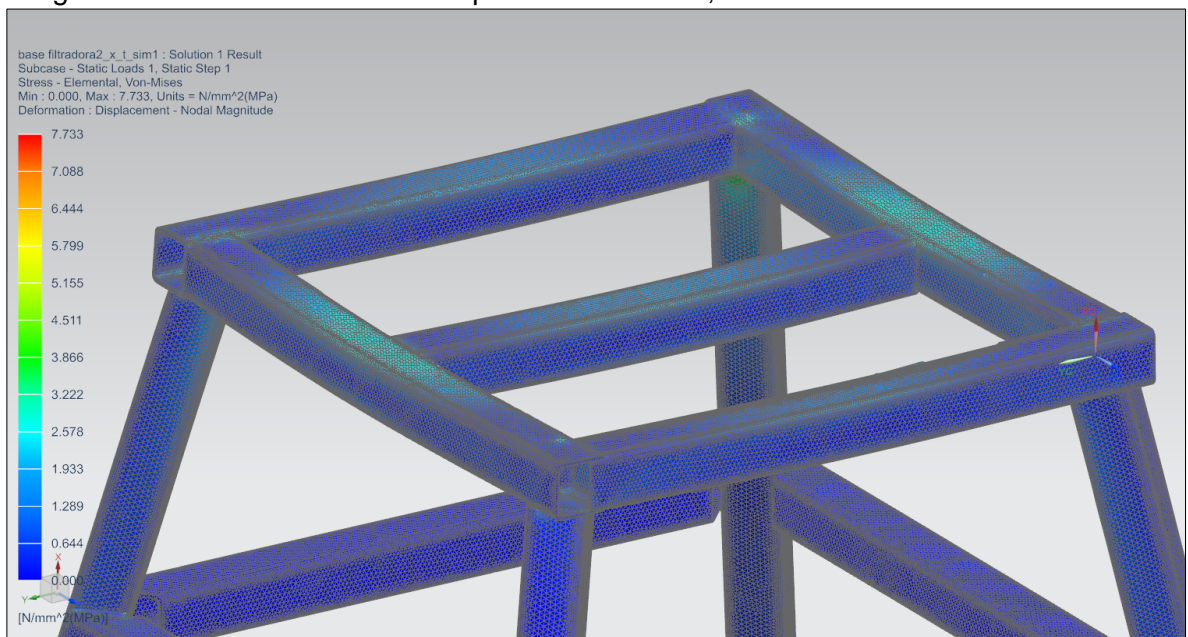
Imagen 88. Esfuerzo de deformación malla 2,25 mm.



Fuente: elaboración propia

Esfuerzo Von Mises sin promediar

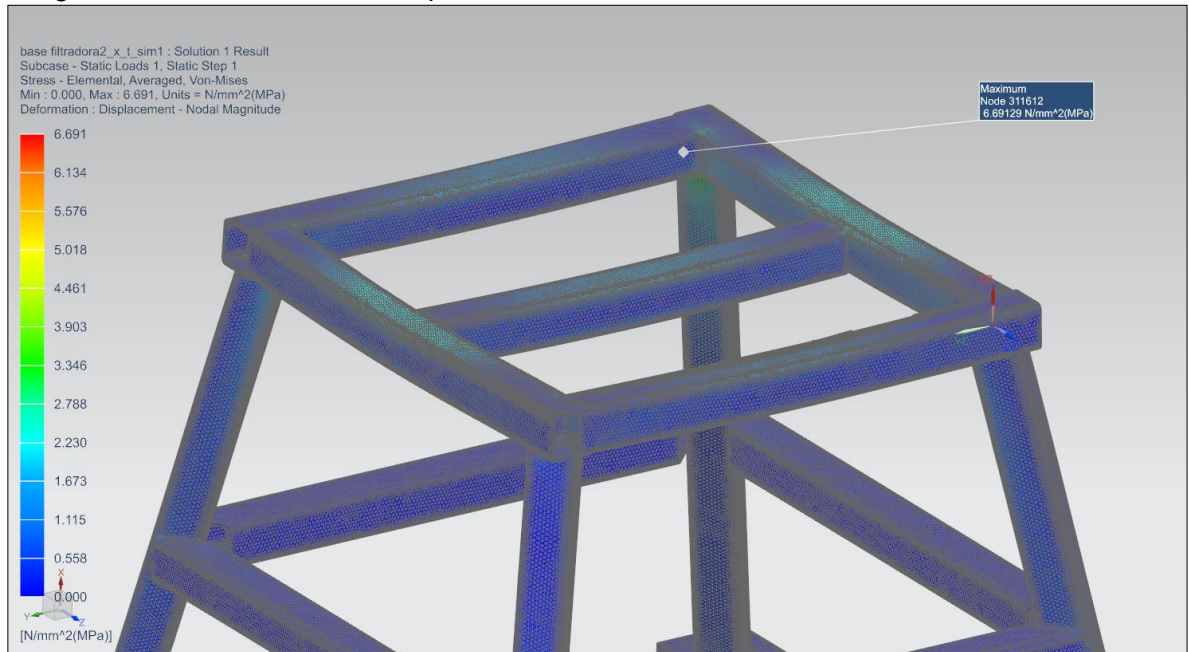
Imagen 89. Esfuerzo Von Mises sin promediar malla 2,25 mm



Fuente: elaboración propia



Imagen 90. Esfuerzo Von mises promediado malla 2,25 mm

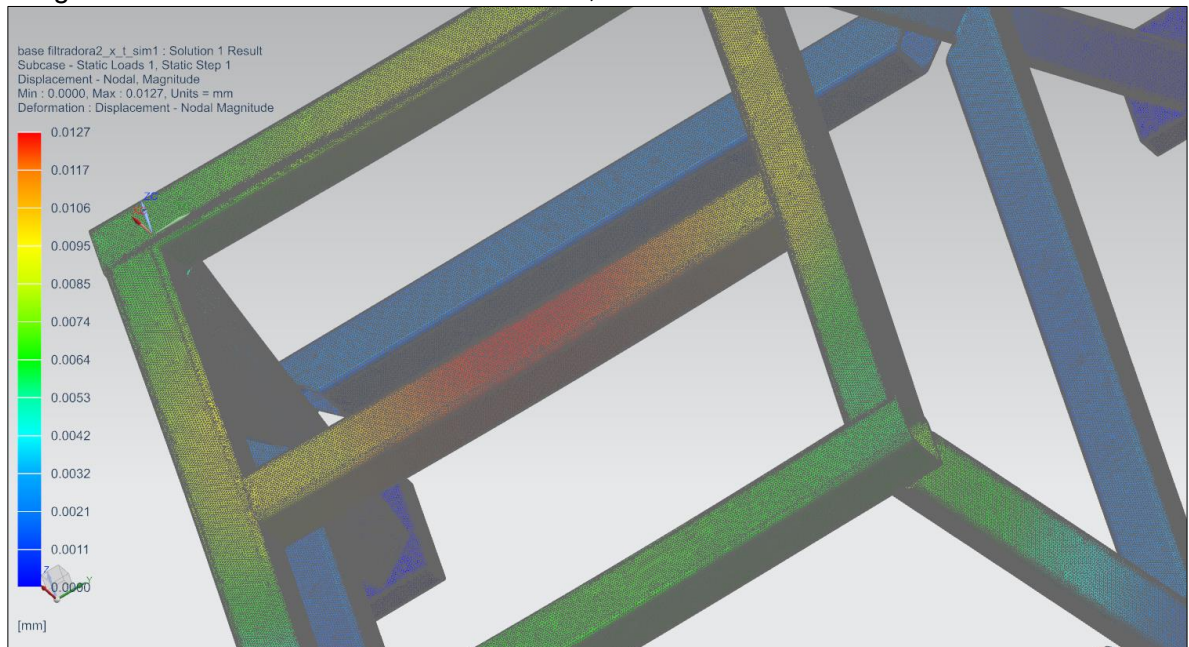


Fuente: elaboración propia

Simulación para un tamaño de malla de 1,125 mm.

Deformación máxima.

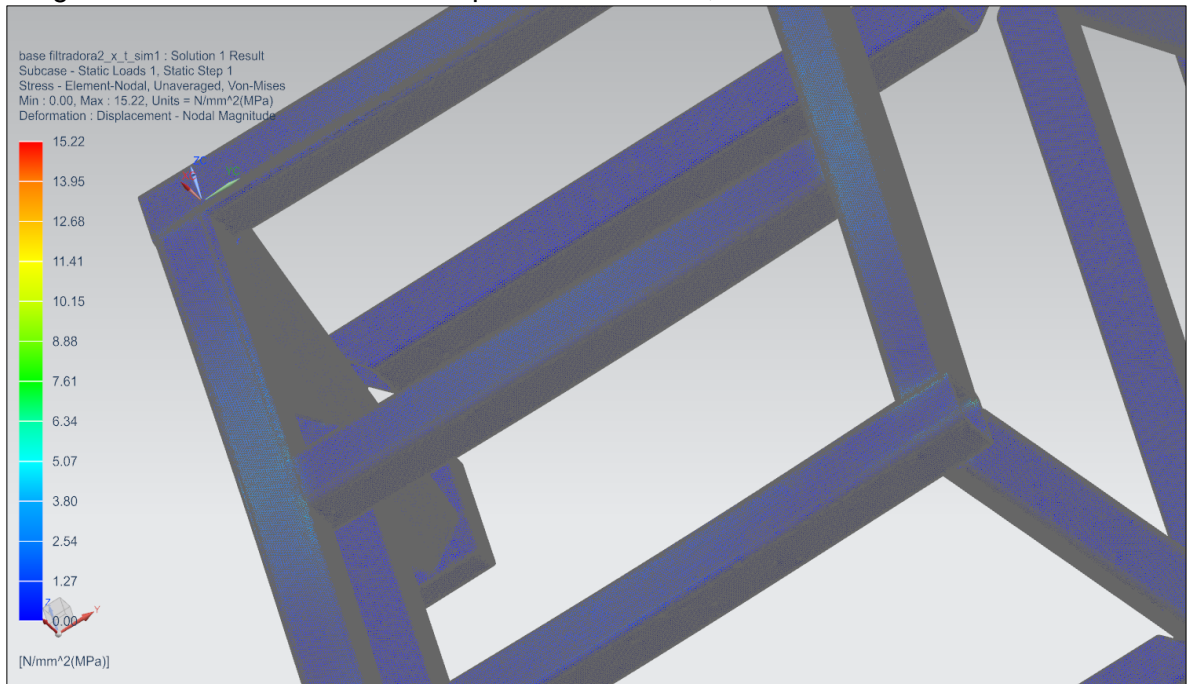
Imagen 91. Esfuerzo de deformación malla 1,125 mm.



Fuente: elaboración propia

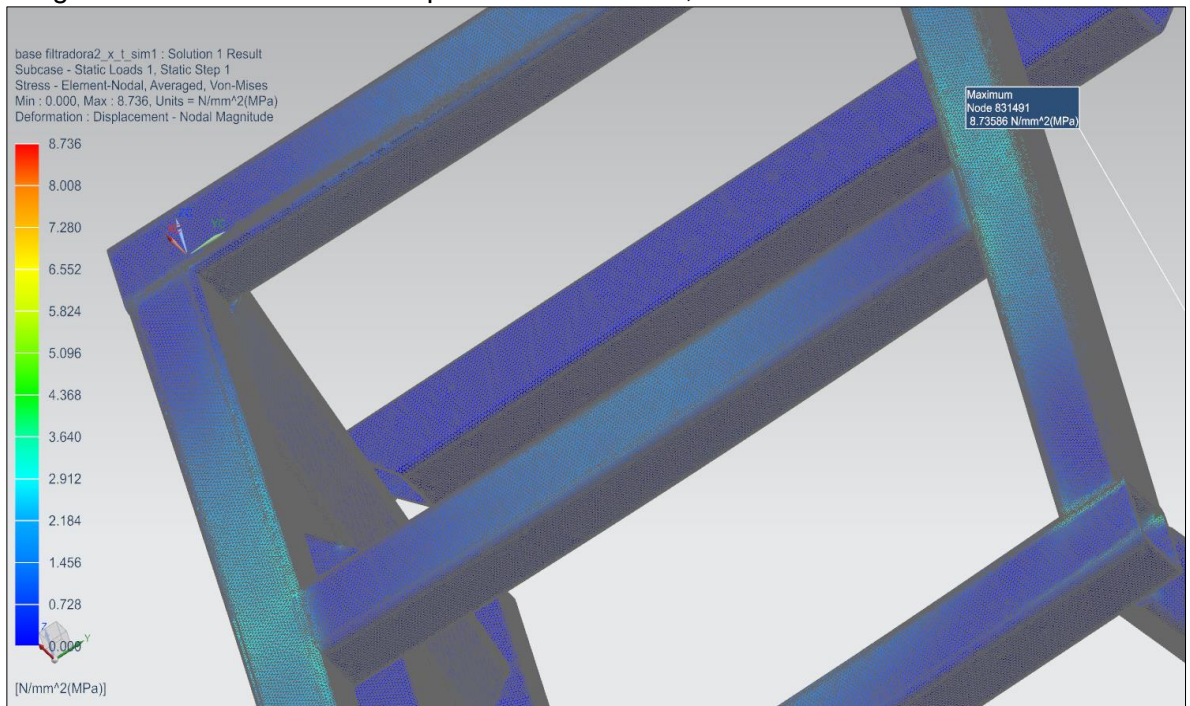
## Esfuerzo Von Mises sin promediar

Imagen 92. Esfuerzo Von Mises sin promediar malla 2,25 mm



Fuente: elaboración propia

Imagen 93. Esfuerzo Von mises promediado malla 2,25 mm



Fuente: elaboración propia



## 6.4 ANALISIS DE RESULTADOS

Después de hacer el análisis de cada uno de los refinamientos en la malla se analiza cada uno de los elementos evaluados para determinar si el resultado es confiable y si es viable realizar la simulación.

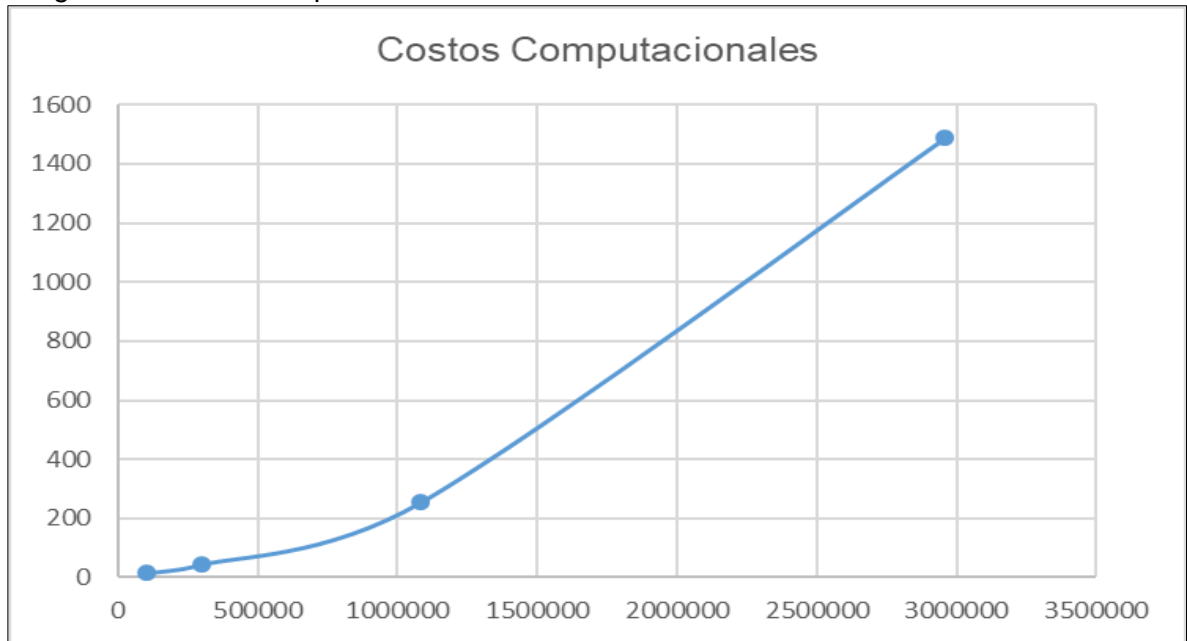
Tabla 15. Análisis método elementos finitos

ANALISIS ELEMENTOS FINITOS					
Tamaño de malla	# Elementos	Tiempo(s)	Desplazam max	Esfuerzo VM Prom	Promedio
9	103747	16	0,01087	5,17	3,5198
4,5	299940	45	0,0198	5,599	3,93
2,25	1081326	255	0,01109	7,733	7,6
1,125	2958647	1488	0,0127	15,22	8,735

Fuente: elaboración propia

Según los resultados tabulados en la tabla se grafican los datos de tiempo vs número de elementos para estimular los costos computacionales y si son viables para simular.

Imagen 94. Costos computacionales

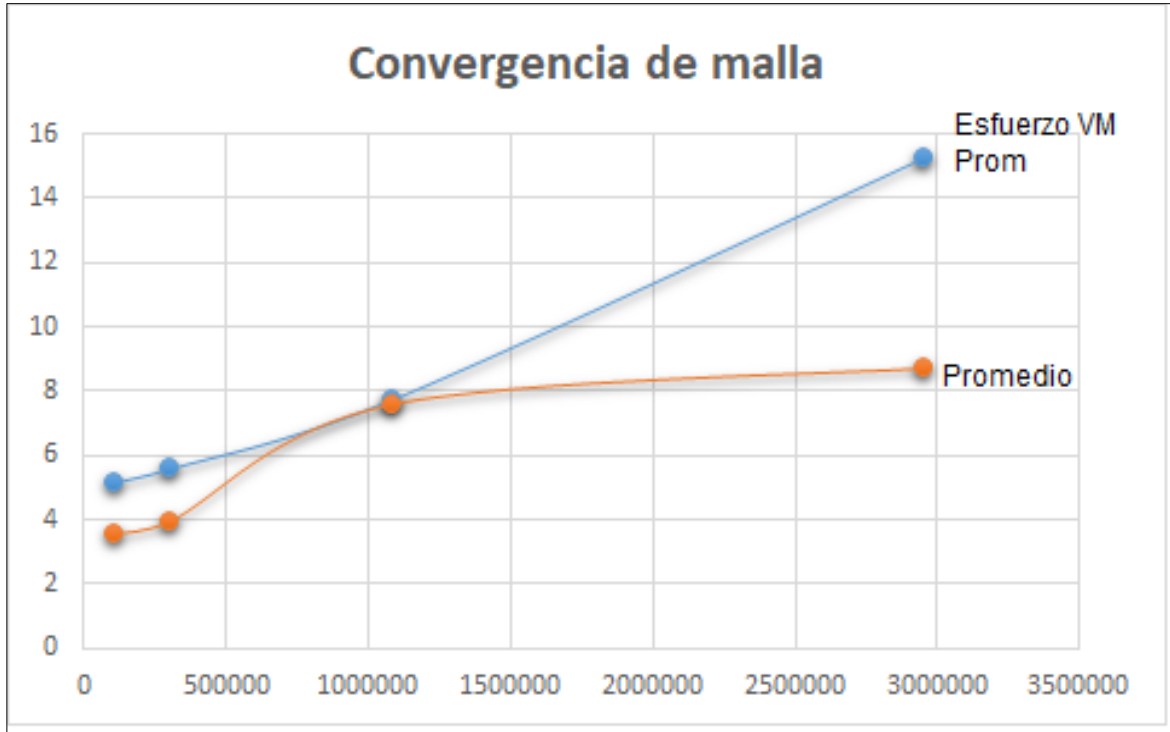


Fuente: elaboración propia

Según la Imagen 94 se considera que los gastos computacionales aumentan demasiado en la última refinación, dato fundamental que ayuda a concretar que en la simulación se puede llegar hasta la tercera refinación ya que los datos en este punto convergen muy bien.

Para los gastos computacionales el tiempo es la variable que más afecta ya que al demorarse la simulación se relaciona en dinero en la licencia y consumo de energía.

Imagen 95. Convergencia de malla



Fuente: elaboración propia

Según la Imagen 95 se puede evidenciar la convergencia de malla en un punto lo cual hace que los resultados sean confiables para determinar los resultados de la simulación.

Teniendo en cuenta los resultados de la simulación se evalúa el valor del factor de seguridad para demostrar que tan viable es utilizar este material y geometría para la estructura de la máquina.

$$F.S = \frac{\sigma y}{\sigma_{vm}}$$

$$F.S = \frac{250 \text{ Mpa}}{15,22 \text{ Mpa}}$$

$$F.S = 16,457$$

El resultado del factor de seguridad es muy alto dando una confianza en la aplicación de la estructura ya que según este resultado no va a fallar.

## 7. MANUALES

En este capítulo se especificarán las partes y funcionamiento de la máquina, los lineamientos para la instalación, el uso debido de la misma y los debidos procedimientos de mantenimiento. Para el óptimo desempeño de la máquina se debe garantizar que la instalación, operación y mantenimiento sean realizados de manera correcta, para ello se deben tener unos lineamientos que seguidamente se establecerán con el objetivo de que el personal calificado tenga a su disposición la información para lograr el desempeño deseado.

Partes y funcionamiento del equipo. La máquina filtradora constara de una bandeja recolectora, una bomba de engranajes de ½ “, filtro, electro válvulas de ½ “ para aceite, válvulas de ½ “ para aire, tubería, empaques, tanque de reabastecimiento a la troqueladora, tanque de aceite nuevo, válvula on off, sensores de flotador.

### 7.1 MANUAL DE INSTALACIÓN

Procedimiento para el montaje. A continuación, se mostrarán las operaciones para el montaje de la máquina en cada uno de sus subsistemas, además se incluirán las herramientas e implementos de seguridad para el correcto procedimiento.

Cuadro 6. Implementos de seguridad

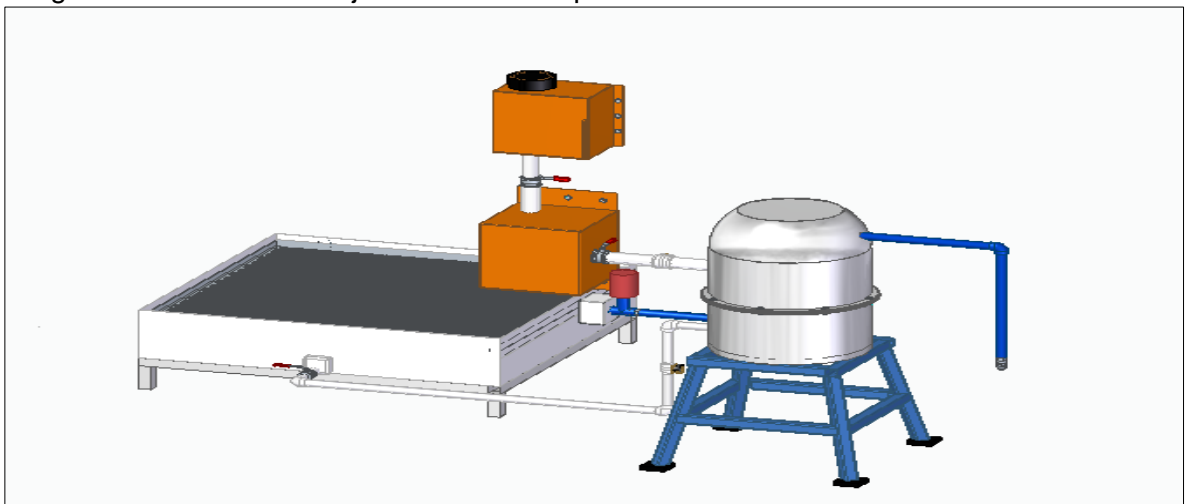
Implementos de seguridad		
Casco	Guantes de nitrilo	Tapabocas
		
Botas (Punta de acero)	Anteojos transparentes	Kit control de derrames
		

Fuente: elaboración propia

En la Imagen 96 se evidencia la máquina en su totalidad y hay que tener en cuenta que esta se dividió en subsistemas los cuales están compuestos por; el sistema bandeja-filtro, sistema máquina filtradora, sistema de reabastecimiento y sistema de suministro.

Nota: El sistema de reabastecimiento es importante en el diseño porque evita que el operario y el técnico de mantenimiento estén pendiente del nivel de aceite faltante en el tanque de provisión; se busca que la maquina sea autónoma y controle el suministro de los aceites tanto usado como nuevo; reduciendo así pérdidas de tiempo y paradas de la máquina innecesarias.

Imagen 96. Sistema bandeja ensamble completo

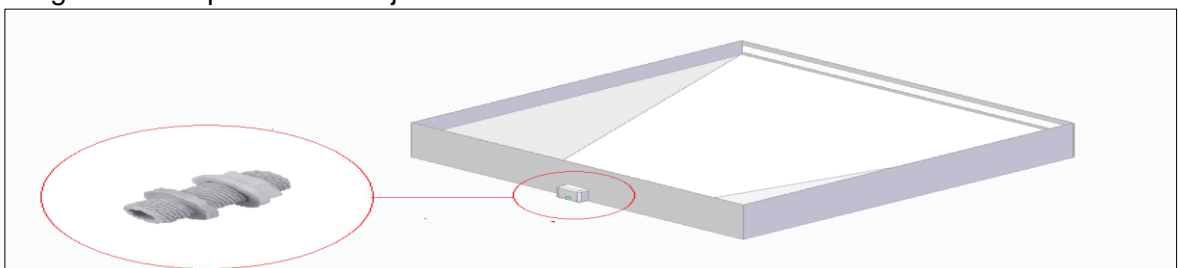


Fuente: elaboración propia

7.1.1 Subsistema de bandeja. Este sistema cuenta con dos partes fundamentales en el cual existe la parte inferior y superior que están compuesta para realizar el primer filtrado capaz de retirar la mayor cantidad de material contaminado en el aceite.

- Adaptar un acople a la bandeja recolectora para la tubería de  $\frac{1}{2}$ " en PVC (aceite).(ver imagen 97).

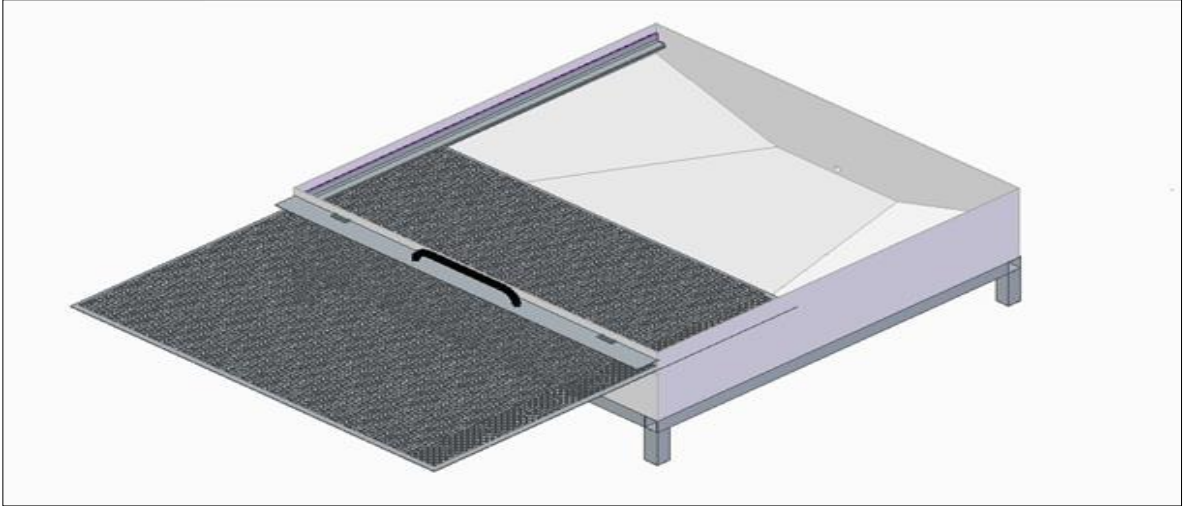
Imagen 97. Acople a la bandeja



Fuente: Elaboración propia.

- Fijar los soportes en la parte superior de la bandeja, seguidamente colocar la malla encima de ellos. (ver imagen 98).

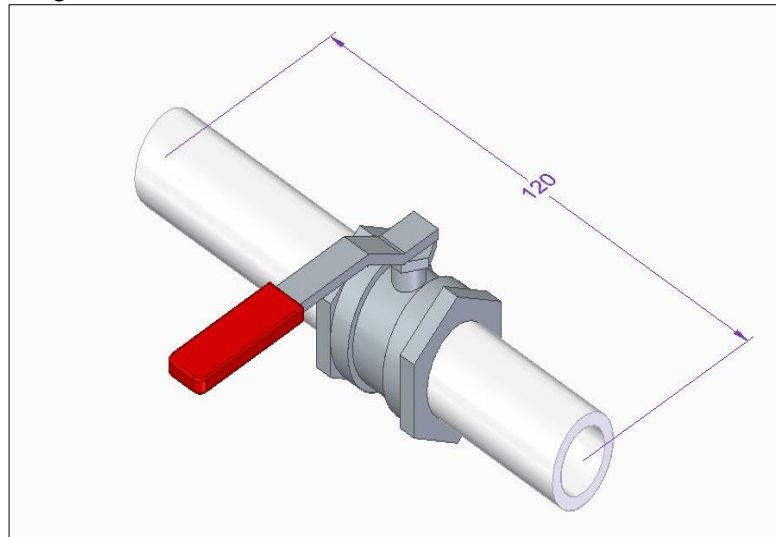
Imagen 98. Malla en bandeja



Fuente: elaboración propia.

- Acoplar la válvula de bola de  $\frac{1}{2}$ " con la tubería PVC; la tubería y las uniones roscadas debe limpiarse previamente con un removedor para PVC y la unión se realiza por medio de la soldadura líquida en frío; este procedimiento se debe realizar para todas las uniones entre material PVC. (ver imagen 99).

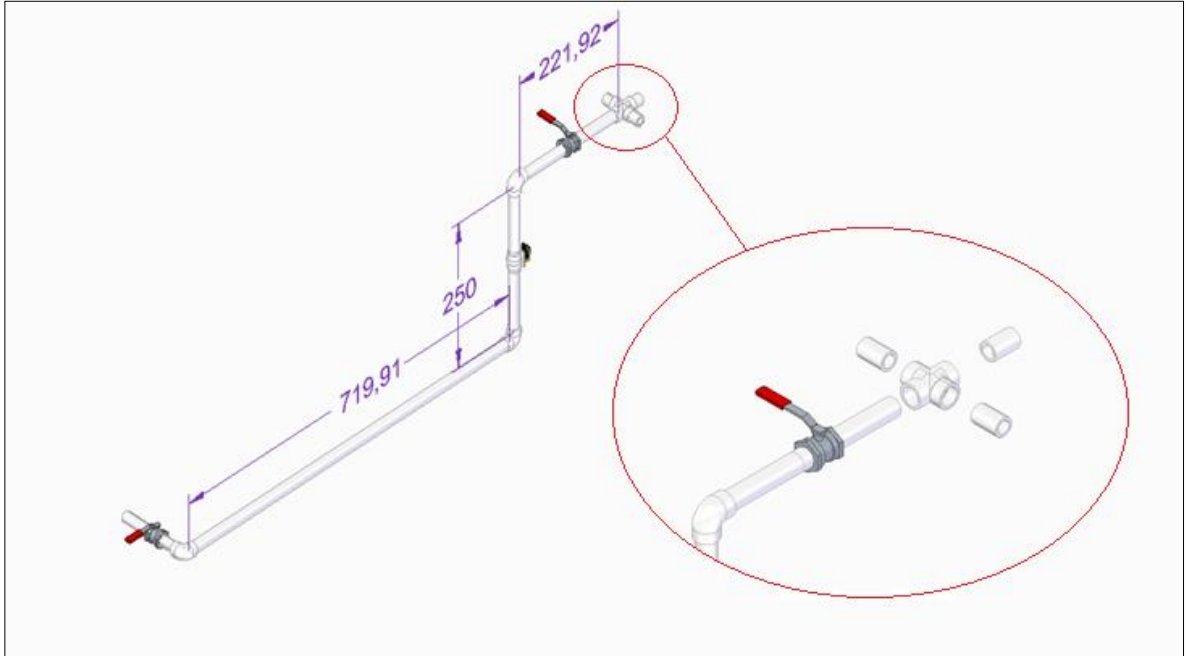
Imagen 99. Conexiones en tubería



Fuente: elaboración propia.

- Unir la tubería de PVC a los codos de 90° seguidamente de las válvulas como se muestra en la imagen.(ver imagen 100).

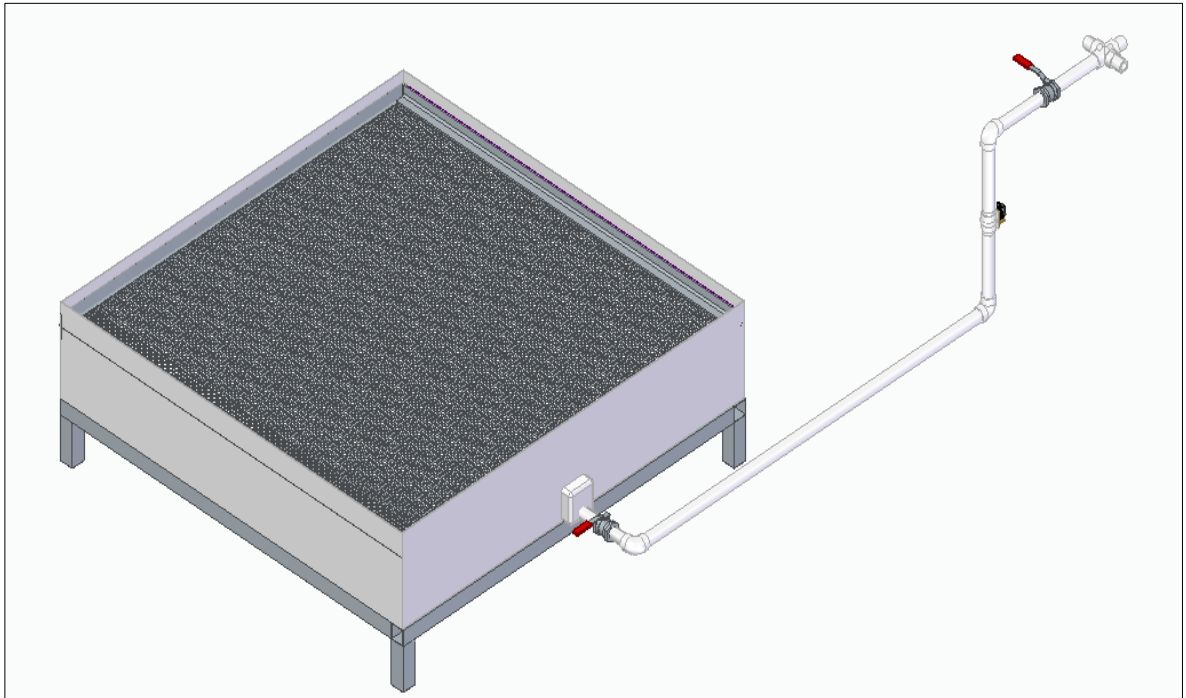
Imagen 100. Conexiones en tubería



Fuente: elaboración propia.

- Realizar la unión de la tubería de  $\frac{1}{2}$  " al acople de la bandeja recolectora.(ver imagen 101).

Imagen 101. Ensamble final de bandeja

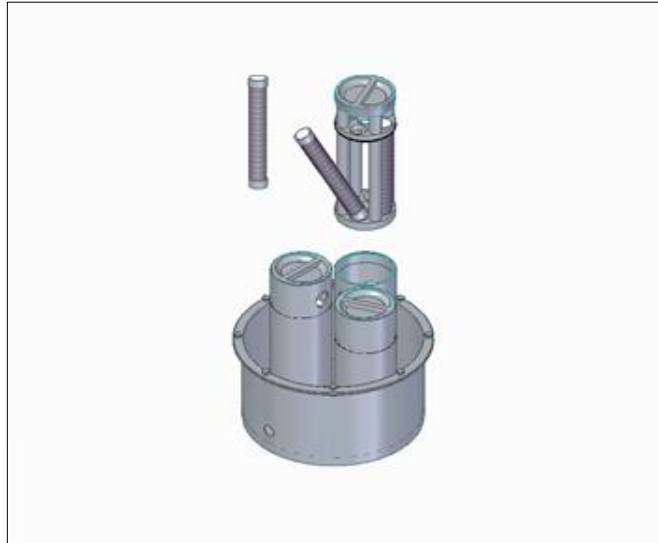


Fuente: elaboración propia.

7.1.2 Subsistema de filtrado y retro limpieza. En este sistema se busca reducir el total o lo más mínimo posible las partículas presentes en el aceite contaminado, para la instalación se realizan los siguientes pasos.

- Insertar las velas filtrantes dentro de la estructura de la cámara, luego insertar en la carcasa por medio de torsión en la parte superior. (ver imagen 102).

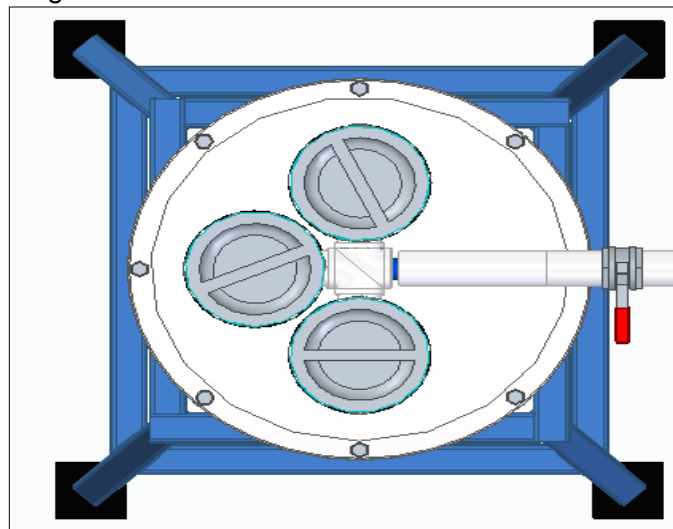
Imagen 102. Ensamble filtros



Fuente: elaboración propia.

- Unir la conexión que se desarrolló en el sistema de la bandeja con el filtro (sección de aceite). (ver imagen 103).

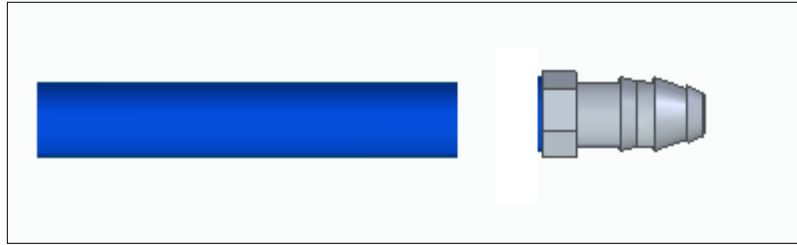
Imagen 103. Unión filtro con tubería.



Fuente: elaboración propia.

- Unir las válvulas solenoide a la tubería de aire y acople de aire.(ver imagen 104).

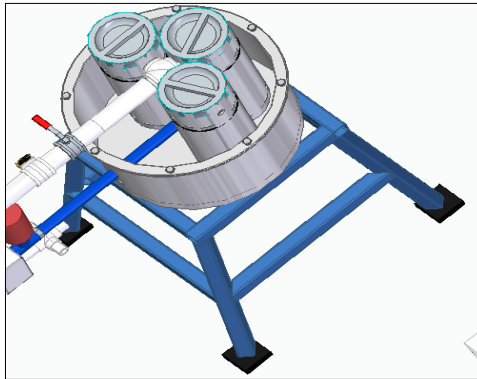
Imagen 104. Unión acople



Fuente: elaboración propia

- Realizar las conexiones de tubería de salida del filtro al tanque de reabastecimiento. (ver imagen 105).

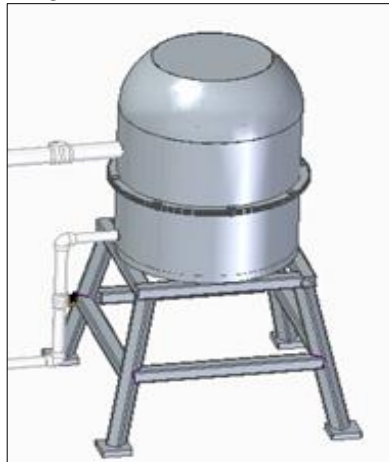
Imagen 105. Salida filtro



Fuente: elaboración propia.

- Cerrar el filtro con la tapa de la carcasa por medio de tornillos. (ver imagen 106).

Imagen 106. Ensamble final filtradora.



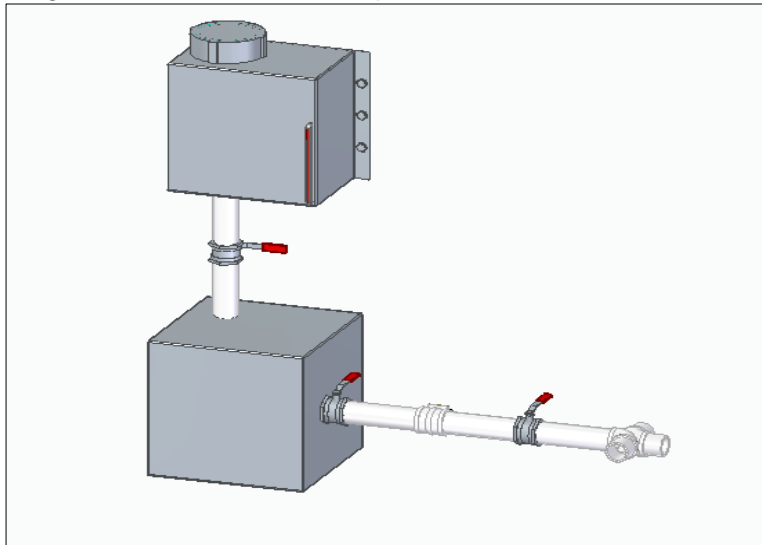
Fuente: elaboración propia.



7.1.3 Subsistema de reabastecimiento. Para poder cumplir con la cantidad de aceite necesario para la máquina se incluye un tanque adicional que suministrara el aceite faltante. Para instalar esta retroalimentación se siguen los siguientes pasos.

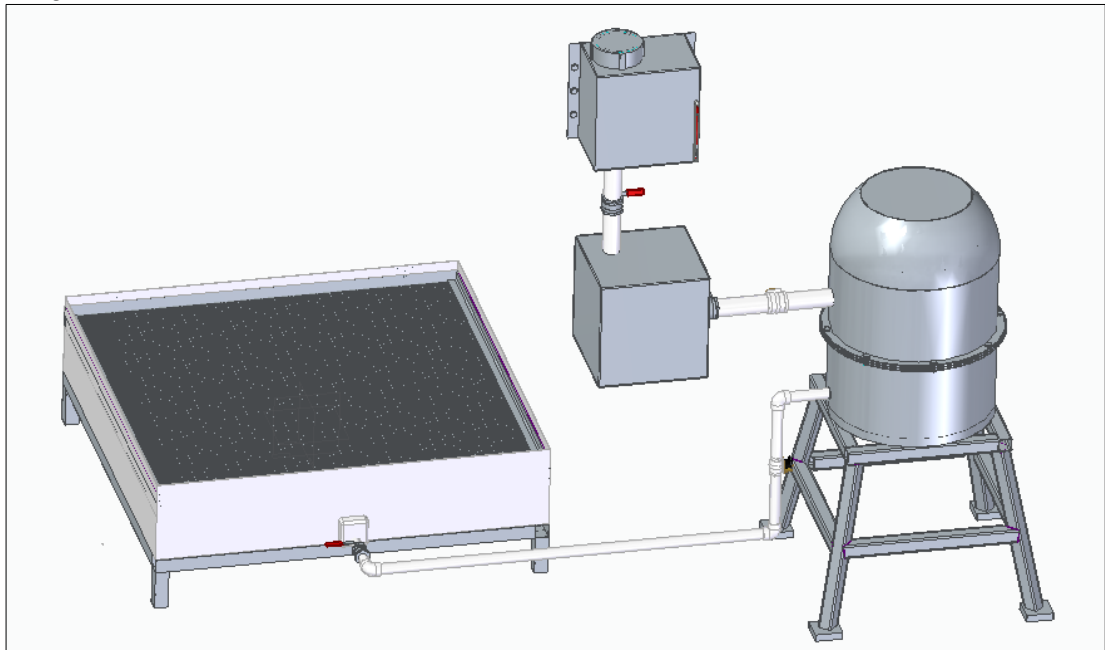
- Conectar el tanque de reabastecimiento a la conexión de salida del filtro, seguidamente al tanque de suministro de aceite nuevo. (ver imagen 107).

Imagen 107. Conexión a tanque de reabastecimiento



Fuente: elaboración propia.

Imagen 108. Ensamble final



Fuente: elaboración propia.

En seguida del ensamble de todos los subsistemas se realizan las conexiones cableadas a todos los sistemas.

## 7.2 MANUAL DE OPERACIÓN

El sistema de la máquina permite la mínima interacción con el operario; pero el personal encargado debe estar capacitado para ejecutar la misma; debe conocer los subsistemas de la máquina para su debido y correcto intervención en caso de algún imprevisto. La máquina debe ser puesta en funcionamiento una vez la troqueladora ha finalizado su operación, el operario debe garantizar que antes de poner a funcionar que la bandeja contenga el aceite y el material particulado.

Pasos para iniciar la operación.

7.2.1 Verificar visualmente si la bandeja contiene el aceite lubricante. La máquina no comenzará su funcionamiento sin aceite; el sensor de flotador detectará falta de aceite y no permitirá el inicio de esta.

7.2. 2 Encender el compresor. Cuando se disponen a filtrar el aceite se debe dar inicio al funcionamiento del compresor ya que el aire comprimido debe estar a disposición de la filtradora.

7.2.3 Llenar el tanque de provisión. Se debe garantizar que la troqueladora tenga a su disposición el aceite necesario para su operación es por ello por lo que se cuenta con un tanque extra que suministrara de forma programada el aceite que falte en el tanque de reabastecimiento (se verifica por un indicador de nivel ubicado en el costado lateral del mismo con señalización de máximo y mínimo nivel).

7.2.4. Iniciar la operación de filtrado. Para iniciar la operación de la máquina se deben cumplir los anteriores pasos;

Imagen 109. Tablero de mando



Fuente: elaboración propia

Para iniciar la máquina el operario solo debe accionar un pulsador que iniciará el sistema una vez el sensor de fluido en la bandeja accione un interruptor, el sistema se podrá detener en cualquier momento si se contempla necesario o de riego alguno.

Recomendaciones:

El diseño de esta máquina contempla que el funcionamiento de una bomba de desplazamiento positivo debe entrar en funcionamiento y estar en contacto con el fluido a succionar de lo contrario la bomba se deteriorara rápidamente.

El material de mayor tamaño que queda retenido en la malla de la bandeja debe ser retirado diariamente para evitar acumulación de este y por ende mayor pérdida de aceite

El tanque de provisión deberá estar lleno en cada proceso de filtrado ya que si el sensor detecta falta de aceite activará la válvula para disponer del aceite, en caso de no haber aceite en el mismo la troqueladora entraría en funcionamiento sin la cantidad necesaria de aceite lubricante afectando los elementos mecánicos que necesitan lubricación.

El aceite tiene una vida útil, por ello es necesario identificar si el aceite aun cuenta con sus propiedades.

### 7.3 MANUAL DE MANTENIMIENTO

Este manual contiene los procedimientos de las actividades a realizarse diaria, semanal, trimestral y semestralmente en cuanto al mantenimiento de la máquina filtradora de aceite lubricante.


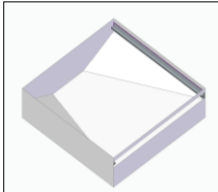
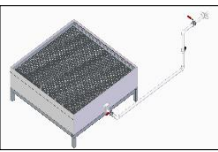

7.3.1 Objetivo. Satisfacer las necesidades y requisitos que presenta la máquina en un determinado periodo de tiempo en actividad, para su buen funcionamiento que permitan el desarrollo normal de las actividades de producción.

La restauración de los elementos que conforman la máquina.

Programación.

De conformidad con las necesidades de la máquina y vida útil de los elementos que la componen se establecen programas de mantenimiento correctivo y mantenimiento preventivo las cuales deberían implementarse en un periodo donde la actividad de la máquina sea la menor.

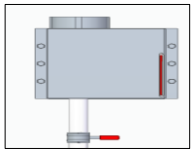

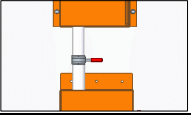

Cuadro 7. Manual de mantenimiento

Sistema	Diagrama	Componentes	Inspección	Actividad	Periodicidad
Bandeja		Malla	Verificar la cantidad de material retenido por la malla Mirar el estado de la malla	Retirar el material eliminando obstrucciones en la malla Desmontar la malla, limpiar y eliminar material de desecho Reemplazar la malla si es necesario.	Diario
		Bandeja recolectora	Identificar sedimentación en la bandeja Identificar fugas en la misma u obstrucciones que impidan fluir el aceite	Vaciar la bandeja; limpiar con paños secos el fondo de la bandeja	Semanal
		Tuberías	Identificar fugas revisando las conexiones entre las válvulas, tuberías y recipientes	Realizar las correcciones para eliminar las fugas	Semanal
Filtradora		Filtros vela	Analizar el estado del aceite filtrado, si la máquina esta eliminando las partículas Visualizar la presión en los manómetros en la tubería de paso de aceite; si la presión está por debajo de 60 psi realizar intervención	Para reemplazar se debe desmontar la carcasa superior, desenroscar la cámara de filtrado y retirar los filtros deteriorados	Anual

Cuadro 7. (Continuación). Manual de mantenimiento

		Bomba	Identificar fugas y fallas en funcionamiento Por medio del sonido emitido por la bomba determinar falla	Realizar ajustes necesarios para eliminar fugas	Semanal
		Electroválvulas	Verificar el estado de las válvulas, conexiones eléctricas Identificar fugas	Revisar las conexiones electricas y corregir	Mensual
		Cámaras	Comprobar la hermeticidad de las cámaras, taponamientos u obstrucciones por posibles tortas generadas por el aceite y material particulado	Cambiar los sellos en las camaras (en caso de ruptura o fuga)	Semestral
Retrolimpieza		Compresor	Mirar la presión de aire comprimido, debe estar en un rango entre (60 y 90 psi) Revisar las conexiones de aire (fugas) verificar el nivel de aceite	Corregir la presión si se encuentra fuera del rango (compresor o línea de aire) Ajustar las conexiones (Sistema con compresor) Agregar aceite al motor del compresor, hasta dejar una burbuja de aire en el indicador de nivel	Mensual
		Tubería y depósito de desechos	Identificar riegos y fugas en el sistema de aire Revisar el contenido del depósito Verificar existencia de fugas	Vaciar el depósito Limpiar las mallas del depósito.	Semanal

Cuadro 7. (Continuación). Manual de mantenimiento

Reabastecimiento		Tanque de provisión	Revisar los sedimentos en el tanque	Limpiar tanque	Mensual
		Electroválvula	Verificar su estado y fugas	Ajustar	Mensual
		Tubería	Verificar fugas en la tubería	Realizar las correcciones para eliminar las fugas	Semestral
Eléctrico		Cableado	Verificar conexiones y las condiciones de los cables	Ajustar el cableado verificando la unión entre cables y uniones. Cambiar las conexiones que se encuentren deterioradas o que no ajusten con normalidad	Semestral

Fuente: elaboración propia

## 8. ESTUDIO IMPACTO AMBIENTAL

Para el proyecto presentado es fundamental realizar un análisis ambiental de la fabricación de la máquina, para lograr adquirir una conciencia hacia el respeto con el Medio Ambiente, la máquina a diseñar debe tener una evaluación de impacto ambiental para mitigar al mínimo la contaminación al ser fabricada.

### 8.1 ANALISIS AMBIENTAL DE LA FABRICACION DE LA MÁQUINA

Este capítulo se realiza bajo los parámetros del marco legal ambiental colombiano en donde según la Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio de Medio Ambiente, que establece el control de la contaminación del medio ambiente. El Decreto 2811 del 11 de diciembre de 1974 tiene por objeto lograr la preservación y restauración del ambiente y la conservación, mejoramiento y utilización racional de los recursos naturales renovables<sup>25</sup>, para beneficio de la salud y bienestar de los presentes y futuros habitantes del territorio nacional además prevenir y controlar los efectos nocivos de la explotación de los recursos naturales no renovables sobre los demás recursos<sup>26</sup>. Se deben tener en cuenta estas leyes ya que de ellas depende la viabilidad del proyecto evitando un impacto que perjudique el ambiente y la fabricación de la máquina sea la más amigable posible con este. Con respecto al proyecto realizado se establecen dos impactos negativos que son atmosféricos y auditivos.

8.1.1 Impacto atmosférico. Entre los recursos afectados se encuentra el aire ya que al emitir gases en la fabricación de muchos materiales afecta a la atmosfera y el agua, puesto que estos procesos de fabricación requieren cierta cantidad de agua que se está contaminando y no se le da el debido tratamiento.

8.1.2 Impacto auditivo. Es una contaminación que perjudica a las personas ya que puede contraer lesiones graves en los oídos, la fabricación de esta máquina requiere de procesos ruidosos que al momento de realizarlos afectan la integridad de los operarios, es necesario determinar que no solo se perjudica al personal que trabaja en la fabricación sino también si esta fábrica está cerca de las ciudades puede afectar directamente a las personas del común.

---

<sup>25</sup> MINISTERIO AMBIENTE. Colombia. Decreto 2811 99 (2.018). tiene por objeto lograr la preservación y restauración del ambiente y la conservación. Bogota D.C Obtenido de: [http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto\\_2811\\_de\\_1974.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_2811_de_1974.pdf)

<sup>26</sup> JUSTICIA AMBIENTAL. Colombia. Legislación Ambiental. Ley 99 (2.018). Por la cual se establece las actividades y procedimientos para el desarrollo y las acciones ambientales. Bogotá.D.C. Obtenido de: <https://justiciaambientalcolombia.org/herramientas-juridicas/legislacion-ambiental/>

## 8.2 IMPACTO AMBIENTAL

El proyecto que se está evaluando debe tener claro el sector en el que se desarrolla para determinar su impacto ambiental y así poder determinar cuáles son los recursos afectados para posteriormente tomar unas medidas de control sobre las afectaciones presentadas en la máquina. En la siguiente tabla se muestra los diferentes ítems que pueden llegar a afectarse con la fabricación de una nueva máquina y según la aplicación se escoge cual está afectando considerablemente el medio ambiente.

Tabla 16. Impacto ambiental

<b>IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>PROYECTO</b>
1. Agotamiento de los recursos naturales	X
2. Contaminación del recurso agua	X
3. Contaminación al recurso aire	X
4. Contaminación del recurso suelo	
5. Contaminación electromagnética	
6. Reducción de consumo de energía	
7. Reducción de afectación al ambiente	
8. Afectación a la fauna	X
9. Afectación a la flora	X
10. Afectación a la salud humana	X
11. Pérdida de la biodiversidad	
12. Alteración del ambiente de trabajo	X
13. Aumento de conciencia ambiental	
14. Conservación de flora y fauna	
15. Sobrepresión del relleno sanitario	
16. Contaminación visual	X

Fuente: elaboración propia

## 8.3 MATRIZ AMBIENTAL.

Para determinar en qué influye la fabricación de la máquina filtradora de aceite contaminado al medio ambiente se debe realizar la evaluación de los impactos ambientales es por esto que se realiza una matriz ambiental con el propósito de mirar la magnitud del impacto y posteriormente realizar medidas de control para mitigar el daño.

En la matriz ambiental la regulación se basa dependiendo la cantidad y frecuencia con la que se realiza el proceso determinándolo de la siguiente manera.



Tabla 17. Regularidad de impacto ambiental

ESTADO	REGULARIDAD
NORMAL	RECURRENTE O FRECUENTE
ANORMAL	POCO FRECUENTE
EMERGENCIA	DE FORMA IMPREDECIBLE

Fuente: elaboración propia

Según la severidad del impacto ambiental se evalúa y se toman medidas para mitigar en lo más mínimo la problemática ambiental.

En la siguiente tabla se enumera el proceso que se realiza, la actividad, la regularidad con la que se realiza, el aspecto ambiental e impacto a la que se asocia la fabricación de esta.

Tabla 18. Matriz ambiental

FABRICACION MAQUINA FILTRADORA DE ACEITE CONTAMINADO					
ACTIVIDAD	REGULARIDAD	ASPECTO AMBIENTAL ASOCIADO	IMPACTO AMBIENTAL	RECURSO AFECTADO	TIPO DE IMPACTO (+ / -)
CORTE LAMINA	POCO FRECUENTE	ESTA ACTIVIDAD GENERA RESIDUOS DE MATERIA PRIMA QUE SE PUEDEN RECICLAR PARA OTRO PROCESO	NINGUNO	SUELO	POSITIVO
UNIONES SOLDADAS	POCO FRECUENTE	ESTA ACTIVIDAD GENERA RESIDUOS DE MATERIA PRIMA CONTAMINANTE QUE NO SE PUEDEN RECICLAR PARA OTRO PROCESO	NO EXISTE RENOVACION Y APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS NATURALES	SUELO, FLORA Y FAUNA	NEGATIVO
		ESTA ACTIVIDAD GENERA GASES CONTAMINANTES PARA LA ATMOSFERA DE EL PLANETA	AGENTE CONTAMINANTE DEL AIRE	SUELO, AIRE	
DOBLADO Y ROLADO DE LAMINAS	POCO FRECUENTE	ESTA ACTIVIDAD CONSUME DEMASIADA ENERGIA ELECTRICA	NO EXISTE RENOVACION Y APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS NATURALES	SUELO, FLORA Y FAUNA	NEGATIVO
		ESTA ACTIVIDAD CONSUME DEMASIADA ENERGIA ELECTRICA	NO EXISTE RENOVACION Y APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS NATURALES	SUELO, FLORA Y FAUNA	
RECUBRIMIENTO DE PINTURA PROTECTORA	POCO FRECUENTE	ESTA ACTIVIDAD GENERA GASES CONTAMINANTES PARA LA ATMOSFERA DE EL PLANETA	AGENTE CONTAMINANTE DEL AIRE	SUELO, AIRE	NEGATIVO
		ESTA ACTIVIDAD CONSUME DEMASIADA ENERGIA ELECTRICA	NO EXISTE RENOVACION Y APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS NATURALES	SUELO, FLORA Y FAUNA	

Fuente: elaboración propia

## 8.4 EVALUACIÓN DE IMPACTO.

Después de tener la matriz ambiental se evalúan los impactos presentados en esta, para poder cuantificar se designan unos criterios que son; Alcance, probabilidad, duración, recuperabilidad, cantidad y normatividad.

En la siguiente tabla se puede evidenciar cada uno de los criterios y sus ponderados para poder realizar la evaluación del impacto ambiental. Los datos están cuantificados en valores de 1 como baja, 5 como media y 10 como alta.

Tabla 19. Criterios de valoración

CRITERIOS DE VALORACION	SIGNIFICADO	ESCALA DE VALOR		
ALCANCE (A)	Se refiere al área de influencia del impacto en relación con el entorno donde se genera.	1(puntual): El Impacto queda confinado dentro del área donde se genera.	5(local): Trasciende los límites del área de influencia.	10(regional): Tiene consecuencias a nivel regional o trasciende los límites del Distrito.
PROBABILIDAD (P)	Se refiere a la posibilidad que se dé el impacto y está relacionada con la "REGULARIDAD"	1(baja): Existe una posibilidad muy remota de que suceda	5(media): Existe una posibilidad media de que suceda.	10(alta): Es muy posible que suceda en cualquier momento.
DURACIÓN (D)	Se refiere al tiempo que permanecerá el efecto positivo o negativo del impacto en el ambiente.	1(breve): Alteración del recurso durante un lapso de tiempo muy pequeño	5(temporal): Alteración del recurso durante un lapso de tiempo moderado	10(permanente): Alteración del recurso permanente en tiempo.
RECUPERABILIDAD (R)	Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial del recurso afectado por el impacto.	1(reversible): Puede eliminarse el efecto por medio de actividades humanas tendientes a restablecer las condiciones originales del recurso.	5(recuperable): Se puede disminuir el efecto a través de medidas de control hasta un estándar determinado.	10(irrecuperable /irreversible): El/los recursos afectados no retornan a las condiciones originales a través de ningún medio. 10 (Cuando el impacto es positivo se considera una importancia alta)
CANTIDAD (C).	Se refiere a la magnitud del impacto, es decir, la severidad con la que ocurrirá la afectación y/o riesgo sobre el recurso, esta deberá estar relacionada con la "REGULARIDAD" seleccionada.	1(baja): Alteración mínima del recurso. Existe bajo potencial de riesgo sobre el recurso o el ambiente.	5(moderada): Alteración moderada del recurso. Tiene un potencial de riesgo medio sobre el recurso o el ambiente.	10(alta): Alteración significativa del recurso. Tiene efectos importantes sobre el recurso o el ambiente.
NORMATIVIDAD (N)	Hace referencia a la normatividad ambiental aplicable al aspecto y/o el impacto ambiental.	1: No tiene normatividad relacionada.	10: Tiene normatividad relacionada.	

Fuente: elaboración propia

En la siguiente tabla se evalúa el impacto según la información anterior teniendo en cuenta el rango de importancia en el que se evaluara ya que al realizar la multiplicación de cada ítem hay que tener en cuenta que si da entre 125.000 a 1.000.000 se considera alta; si el dato esta entre 25.000 y 125.000 es moderado y por debajo de ese rango se estipula como bajo.

Tabla 20. Evaluación de impacto

EVALUACIÓN								
PROCESO	IMPORTANCIA DEL IMPACTO						VALOR IMPORTANCIA	SIGNIFICANCIA
	A	P	D	R	C	N		
CORTE LAMINA	1	1	1	1	1	1	1	Baja
UNIONES SOLDADAS	5	1	5	5	5	10	6250	Baja
DOBLADO Y ROLADO DE LAMINAS	1	1	1	1	1	1	1	Baja
RECUBRIMIENTO DE PINTURA PROTECTORA	5	1	5	5	5	10	6250	Baja

Fuente: elaboración propia

## 8.5. MEDIDAS DE CONTROL

Según las matrices anteriores y ya definiendo las problemáticas del impacto que ocasiona la máquina sobre el medio ambiente se toman medidas de control capaces de reducir en lo más mínimo el daño ambiental.

Tabla 21. Medidas de control

PROCESO	MEDIDAS DE CONTROL
CORTE LAMINA	REALIZAR LA ADECUADA LIMPIEZA EN EL LUGAR DE TRABAJO Y ASI EVITAR LA CONTAMINACIÓN, REUNIR EL MATERIAL SOBRANTE PARA POSTERIORMENTE REALIZARLE EL DEBIDO PROCESO PARA LA REUTILIZACION DE LA MATERIA PRIMA.
UNIONES SOLDADAS	UTILIZAR SISTEMAS DE EXTRACCION NECESARIOS PARA CONTROLAR LOS GASES QUE GENERA LA SOLDADURA, COLOCARSE LA ROPA NECESARIA PARA EL PROCESO.
DOBLADO Y ROLADO DE LAMINAS	UTILIZAR LOS ELEMENTO DE SEGURIDAD ASI COMO LA ROPA ADECUADA.
RECUBRIMIENTO DE PINTURA PROTECTORA	UTILIZAR CABINAS DE PINTURA PARA EVITAR CONTAMINAR EL MEDIO AMBIENTE, UTILIZAR LA ROPA ADECUADA PARA REALIZAR EL PROCESO.

Fuente: elaboración propia

Para la fabricación de la máquina filtradora de aceite contaminado se concluyó que el impacto ambiental más alto se produce al momento de realizar la soldadura de los elementos ya que esta produce gases que son nocivos para el medio ambiente y las personas.

## 9. ESTUDIO FINANCIERO

Este capítulo es uno de los más importantes en el proyecto ya que de este depende si la aplicación del diseño es una buena inversión o simplemente es mejor adquirir una máquina nueva. Para hacer el estudio se tienen en cuenta parámetros como lo son; costos de diseño, materia prima costos de fabricación necesaria en el proyecto.

### 9.1 COSTOS DE DISEÑO

En los costos de diseño esta las horas trabajadas por cada diseñador para poder llegar a cumplir con los objetivos planteados en el proyecto, así como también como las consultas a expertos en los temas y al software utilizados para poder desarrollar este proyecto.

9.1.1 Talento humano. Este costo está sujeto a el tiempo invertido por los diseñadores y asesores para el desarrollo del trabajo de grado.

Tabla 22. Costos por talento humano

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	V/ UNIDAD	TOTAL	FUENTE FINANCIADA
<b>TALENTO HUMANO</b>					
Proponente (2)	H-H	1.500	\$ 7.000	\$ 10.500.000	Proponente
Total talento humano			\$ 10.500.000		

Fuente: elaboración propia

En la anterior tabla se evalúa las horas trabajadas por los proponentes, donde cada uno trabaja 750 horas, dando un total de 1.500 horas trabajadas que multiplicadas por \$7.000 que es el valor que vale la hora de cada diseñador.

9.1.2 Costos computacionales. Los gastos tecnológicos en el proyecto están reflejados en el uso de software necesarios para el diseño del proyecto.

Tabla 23. Costos computacionales

ITEMS	UNIDAD	CANTIDAD	V/ UNIDAD	TOTAL	FUENTE FINANCIAD.
<b>Gastos maquinaria y equipo</b>					
Computadora	Unidad	2	\$2,000,00	\$4,000.000	Proponentes
Software	Licencia	2	\$ 258.000	\$ 516.000	Proponentes
Total Maquinaria y Equipo			\$4,400.000		

Fuente: elaboración propia

Para los costos computacionales inicialmente se calculó el precio de dos computadores importantes para poder desarrollar el trabajo de grado y se estipulo que se necesitaban dos softwares para poder realizar el diseño adecuado, Siemens NX 12 es un programa de diseño con herramientas de simulación que son de ayuda para poder determinar si la estructura o pieza diseñada es la adecuada para el diseño, esta licencia tiene un costo de \$320.000 anual<sup>27</sup>, por último se utiliza el programa de modelamiento Solid edge ST10 con un costo de \$196.000 anual<sup>28</sup>.

9.1.3 Costos fungibles. Estos gastos son los materiales utilizados para poder mostrar el proyecto como los son; libros, impresiones y fotocopias, para estos costos se toma la cantidad de papel, tinta y recursos utilizados para el proyecto.

Tabla 24. Costos fungibles

ITEMS	UNIDAD	CANTIDAD	V/ UNIDAD	TOTAL	FUENTE FINANCIAD.
Fungibles					
Libros	Unidad	3	\$ 150.000	\$ 450.000	Proponentes
Papel	Resma	3	\$ 15.000	\$ 45.000	Proponentes
Tinta	Tóner	4	\$ 80.000	\$ 320.000	Proponentes
<i>Total Fungibles</i>			\$ 815.000		

Fuente: elaboración propia

9.1.4 Otros costos. Estos gastos, aunque no tienen nada que ver con el diseño del proyecto son fundamentales para poder llegar a la solución final del mismo.

Tabla 25. Otros costos

ITEMS	UNIDAD	CANTIDAD	V/ UNIDAD	TOTAL	FUENTE FINANCIAD.
Otros					
Transporte	Unidad	50	\$ 2.300	\$ 115.000	Proponentes
Alimentacion	Unidad	30	\$ 10.000	\$ 300.000	Proponentes
Servicios publicos	H-H	350	\$ 2.000	\$ 700.000	Proponentes
<b>Total</b>			\$1,115.000		

Fuente: elaboración propia

<sup>27</sup>Software Siemens NX 12. 2018. Academic superstore, Obtenido de: <http://www.academicsuperstore.com/products/Siemens/NX+/1575552>

<sup>28</sup> Software Siemens Solid edge ST10. 2019 Siemens, Obtenido de: <https://www.plm.automation.siemens.com/store/es-mx/solid-edge/index.html>

9.1.5 Total costos de diseño. Luego de realizar la suma de cada uno de los costos existentes en el diseño y teniendo en cuenta en el total los imprevistos del proyecto representados en un 5% del total da como resultado los costos totales del proyecto en la parte del diseño.

En la siguiente tabla se puede evidenciar el total del proyecto en la parte del diseño, dando un total de \$ 17.797.500.

Tabla 26. Costos de diseño

TOTAL DE GASTOS	
Total antes de imprevistos	\$ 16,830.000
imprevistos 2- 6%	\$ 1,009.800
Costo total del proyecto	\$ 17,839.800

Fuente: elaboración propia

## 9.2 COSTOS POR FABRICACION Y MONTAJE DE LA MÁQUINA

En este capítulo se debe tener en cuenta el valor de la materia prima para la fabricación de piezas no normalizadas y la compra de accesorios fundamentales para el funcionamiento del equipo de filtrado. Estos costos son cotizados a diferentes proveedores que se consultaron para poder determinar el costo total de fabricación de la máquina.

Se realiza un análisis y se cotizan varios fabricantes reconocidos que ayudan a identificar los precios industriales de cada material utilizado para la fabricación total de la máquina,

En el sistema de la bandeja y filtradora se tienen en cuenta los precios de cada material además de, los componentes normalizados que lo componen y dependiendo de la complejidad del sistema se establece un porcentaje de precio.

Se realizan 4 cotizaciones a empresas capacitadas para la fabricación de piezas, las cuales dan su punto de vista de cómo realizar la mejor fabricación, se escoge la mejor propuesta tanto por la puntualidad, calidad y precios primando la calidad del producto para entregar a las empresas la mejor máquina filtradora de aceite.

Por último, se puede evidenciar en la siguiente tabla los materiales y elementos necesarios para la fabricación de la máquina, se realizan las sumas de cada sistema dando un total de fabricación de \$ 15.931.248, un precio que solo incluye la mano de obra de fabricación y los elementos necesarios para ella.

Tabla 27. Costos de fabricación máquina.

Elemento	Cantidad	Valor/UND	precio	Valor total
Bandeja filtradora	Malla filtradora	1 unidad	\$ 110.208	\$ 110.208
	Lamina acero inoxidable	5 (2m x 1,2m)	\$ 180.000	\$ 900.000
	Perfiles L acero a36	4(1m x1m)	\$ 70.000	\$ 280.000
	Sensor de flotador	1	\$ 30.000	\$ 30.000
	Perfiles cuadrados acero a36	5(1m x 1m)	\$ 90.000	\$ 450.000
	Mano de obra	1	\$ 715.000	\$ 715.000
Tuberias en PVC	Codos	3(1/2)	\$ 800	\$ 2.400
	Tuberia	1(1/2in x 6m)	\$ 15.000	\$ 15.000
		1 (1 in x 6m)	\$ 25.000	\$ 25.000
	T	1	\$ 2.000	\$ 2.000
		1(1/2)	\$ 1.000	\$ 1.000
filtradora de aceite	Lamina acero inoxidable	3 (2m x 1,2m)	\$ 180.000	\$ 540.000
	Empaque caucho	1	\$ 2.000	\$ 2.000
	Valvula de bola	4 (PAVCO)	\$ 15.000	\$ 60.000
	Remodor 1/32	1	\$ 10.000	\$ 10.000
	Soldadura pvc 1/32	1	\$ 15.000	\$ 15.000
	Filtro de velas	15	\$ 350.000	\$ 5.250.000
	Bomba 1/2 hp (engranajes)	1	\$ 2.317.890	\$ 2.317.890
	Perfiles cuadrados acero a36	7(1m x 1m)	\$ 90.000	\$ 630.000
	Electrovalvula	2	\$ 230.000	\$ 460.000
	Mano de obra	1	\$ 1.500.000	\$ 2.500.000
Sistema de limpieza	Compresor 1hp	1	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000
	Electrovalvula	2	\$ 230.000	\$ 460.000
	Valvula de bola	4 (helbert)	\$ 30.000	\$ 120.000
	Tuberia acero inoxidable sch10	3(1/2 x1m )	\$ 22.850	\$ 68.550
tanques de retroalimentacion	Lamina acero inoxidable	2 (2m x 1,2m)	\$ 180.000	\$ 360.000
	Sensor de flotador	1	\$ 30.000	\$ 30.000
	Valvula antiretorno	2	\$ 40.000	\$ 80.000
	Valvula de bola	1 (PAVCO)	\$ 15.000	\$ 15.000
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 16.449.048</b>

Fuente: elaboración propia

### 9.3 COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA.

Después de elaborar las tablas de costos por fabricación y diseño se realiza la sumatoria para así poder encontrar el costo total de la máquina filtradora de aceite lubricante contaminado.

Tabla 28. Costo total de la máquina

Tipo de costo	Valor
Costo del diseño	\$ 17,839.800
Costo de fabricación	\$ 16.449.048

Fuente: elaboración propia

Se realiza la comparación del costo total del diseño de la maquina filtradora de aceite contaminado con la cantidad de aceite lubricante Rando HD actualmente utilizado en un mes, para determinar si el proyecto es viable en la inversión de un cliente creándole un valor agregado al mismo.

Para esto se toma las cotizaciones de la empresa Iberplast donde muestra los costos totales de la cantidad de aceite necesaria para las troqueladoras en un mes (ver Anexo M).

Teniendo en cuenta los gastos proporcionados por la compra de aceite lubricante en gran cantidad se compara con la maquina diseñada reduciendo en un 50% la cantidad a utilizar mensualmente, se proyecta esta reducción de aceite estimando una recuperación de la inversión del diseño aproximada en 5 años.



## 10. CONCLUSIONES

- En la recopilación de información sobre un sistema de filtrado a estas máquinas troqueladoras || se pudo evidenciar un proceso actual muy deficiente, el poco avance tecnológico que se tiene concluye que es una falla muy grande en estas máquinas que se puede solucionar con ideas técnicas, además ambientalmente será una solución que ayude a reciclar el aceite y llevarlo a una vida útil más alta.
- De acuerdo con la máquina empleada para el mejoramiento se plantearon los parámetros iniciales de diseño y así delimitar al máximo las propuestas para la solución del problema, la máquina se dividió en subsistemas para caracterizar los requerimientos de diseño de esta.
- Una vez obtenido los requerimientos de diseño y teniendo en cuenta que esta máquina debía tener un sistema de retrolimpieza se realizó la evaluación de tres alternativas y dio como resultado una retrolimpieza por medio de aire comprimido ya que es el fluido que menos se mezcla con el aceite y no deja residuos que afecten sus propiedades.
- Se dividieron en 4 subsistemas la máquina Bandeja separadora, sistema de filtrado, sistema de retrolimpieza y reabastecimiento para poder realizar los cálculos correspondientes y ser más ordenados en las operaciones.
- La bandeja separadora consta de cálculos de flotabilidad, arrastre índice de viscosidad del aceite lubricante y geometría que fueron realizados para garantizar que el fluido se mantenga en una zona de la bandeja para posteriormente ser filtrado, además tener en cuenta la fuerza mínima de arrastre que es de 0,31N. En la parte superior de la misma se escogió por catálogo de la empresa Icomallas un elemento separador para poder realizar un pre filtrado y quitar el material particulado contaminado más grande del aceite lubricante.
- El sistema de filtrado para este diseño es el más importante ya que en este es donde se realiza la mayor separación de micro material contaminado, inicialmente se realiza un cálculo en los tanques para garantizar que el material utilizado (acero inoxidable) pueda soportar esta presión y nos da como resultado un esfuerzo de 4,53MPa siendo este muy por debajo del AISI SAE 304L con límite de fluencia de 230 MPa.
- Un dato importante en el desarrollo del diseño es el caudal al cual va estar el sistema ya que al inicio se toma un caudal de  $2,4638 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$ , este dato sale ya que se implementa un tiempo máximo de 7 min filtrando 7 litros realizando los cálculos pertinentes da como resultado una bomba de 0,4537 w siendo está muy

pequeña, por lo tanto se escoge el fabricante de bomba de engranajes Shertech y se toma la bomba de ½ hp con su respectivo caudal a manejar y se recalculan todos los datos anteriormente calculados.

- Dentro de la simulación por el método de elementos finitos que se realizó a la estructura de la máquina de filtrado, se aplicó la fuerza ejercida sobre la estructura (326,95 N), dando como resultado un desplazamiento máximo de 0,010 mm y un esfuerzo Von mises promediado de 15,22 Mpa, valor muy por debajo del límite de fluencia del material (acero A36) 250 Mpa, obteniendo un factor de seguridad de 16,45.
- Para el análisis ambiental se pudo reflejar que para la fabricación de esta máquina está en un nivel moderado-bajo por lo cual no es necesario solicitar licencias para la fabricación de esta y además concluyendo que no genera peligro o riesgo para el medio ambiente y personal de fabricación.
- En cuanto al análisis financiero del proyecto se realizó una evaluación financiera que consta del diseño, materiales, elementos mecánicos y personal de fabricación, una vez se tuvo en cuenta se encontró el valor total de la máquina que es de \$ 34.288.848

## 11. RECOMENDACIONES

- Realizar un sistema de control de toda la máquina, esto con el fin de mejorar el proceso que va a desempeñar la filtradora de aceite.
- Realizar un diseño óptimo y adecuado en la limpieza de la bandeja para evitar que los operarios o personal de mantenimiento tengan que realizar la limpieza manualmente.
- Por el método de elementos finitos realizar este análisis para los tanques de filtrado y así garantizar por medio de esta simulación la aplicación de estos elementos.

## BIBLIOGRAFIA

Ace. Troqueles compuestos. [en línea]. Disponible en: <http://www.cestamping.com/es/progressive-compound-dies.html>

CEMPRE. Aceites usados. Uruguay. 2018. [en línea]. Disponible en: [http://www.cempre.org.uy/index.php?option=com\\_content&id=79&Itemid=97](http://www.cempre.org.uy/index.php?option=com_content&id=79&Itemid=97)

ALTEYCO, Filtro de vacío rotativo (IRP) [en línea]. Disponible en: <http://www.alteyco.com/industrial-filters/rotary-vacuum-filter>

American National Standard British Standard 4459, Standard Practice for Calculating Viscosity. [en línea]. Disponible en: <http://www.asiajuleh.com/astm/ASTM%20D%202270.pdf>.

BALDOR Aurelio. (2008) Geometría y trigonometría Baldor. Ediciones Patria.

BEER, Ferdinand P. (1993), Mecánica de materiales. Santafé de Bogotá: Mc Graw Hill.

BOLLFILTER, Filtro de aceite [en línea]. Disponible en: <https://www.BOLLFILTER.com/fileadmin/downloads/prospekte/Filtro-automatico-tipo-6.64-es-BOLLFILTER.pdf>

CENGEL. Yunus A. (2006), Mecánica de fluidos. , México. Ediciones Mc Graw Hill

CENSA INDUSTRIAL. Tipos de troqueles. Colombia. 2018, Disponible en: <https://censaindustrial.com/blog.php?id=281&tag=1&q=Troquelado>

CENSA INDUSTRIAL. Tipos de troqueles [en línea]. Disponible en: <https://censaindustrial.com/blog.php?id=281&tag=1&q=Troquelado>

COLMENA. Perfiles estructurales tubular. Colombia. [en línea]. Obtenido de: <http://tuboscolmena.com/colmena/productos-estructurales/>

COLOMBIA. Legislación Ambiental. (2.018). Por la cual se establece las actividades y procedimientos para el desarrollo y las acciones ambientales. Bogotá.D.C. Obtenido de: <https://justiciaambientalcolombia.org/herramientas-juridicas/legislacion-ambiental/>

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 1.188 (01, septiembre,2.003). Por la cual se adopta el manual de normas y procedimientos para la gestión de

aceites usados en el Distrito Capital. Registro Distrital 2.943 de septiembre 9 de 2003. Pág. 11.

CONAUTO, Aceite rando HD 32-46-68 [en línea]. Disponible en: [http://www.conauto.com.ec/wp-content/uploads/2008/11/rando\\_hd\\_32\\_46\\_68](http://www.conauto.com.ec/wp-content/uploads/2008/11/rando_hd_32_46_68)

CONDOR GROUP, Determinando el caudal y la presión de los compresores de aire [en línea], Disponible en: [https://condorgroup.com.ar/determinando-caudal-la-presion-los-compresores-aire/Deshidratación altamente eficaz, Filtro prensa](https://condorgroup.com.ar/determinando-caudal-la-presion-los-compresores-aire/Deshidratación%20altamente%20eficaz,%20Filtro%20prensa). [en línea]. Disponible en: <file:///G:/Trabajo%20de%20grado/37901228-Filtro-Prensa.pdf>

ELÉCTRICAS BOGOTA, electroválvulas EBC HQ [en línea], Disponible en: <http://www.electricasbogota.com/detalles/solenoides/47-91138>

GERDUCOR SA. Perfiles en acero AISI A36 perfiles en L. [en línea]. Disponible en: [https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/productsservices/products/Document%20Gallery/TABLAS%20DE%20DIMENSIONES\\_2017.pdf](https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/productsservices/products/Document%20Gallery/TABLAS%20DE%20DIMENSIONES_2017.pdf)

Guía para la reducción del impacto ambiental de los aceites industriales usados. España, 2007. [en línea]. Disponible en: <http://www.iberplast.com.co/division-metalica/tapa-agrafe>

Historia aceites usados. España. 2016, Siguas. [en línea]. Disponible en: <http://www.observatoriodelaceiteusado.sigaus.es/aceite-usado/historia.php>

IBERPLAST. Productos de troquelado. Colombia. 2015. [en línea]. SACMI. Disponible en: <http://www.iberplast.com.co/>

IBERPLAST. Tapas tipo Agrafe. [en línea]. Disponible en: <http://www.iberplast.com.co/division-metalica/tapa-agrafe>

IBERPLAST. Tapas tipo Corona cierre pry off. [en línea]. Disponible en: <http://www.iberplast.com.co/division-metalica/tapa-corona>

IBERPLAST. Tapas tipo Corona cierre twist off. [en línea]. Disponible en: <http://www.iberplast.com.co/division-metalica/tapa-corona>

IBERPLAST. Tapas tipo Pilfer. [en línea]. Disponible en: <http://www.iberplast.com.co/division-metalica/tapa-pilfer>

ICOMALLA, Malla tejida de acero inoxidable AISI 304 [en línea]. Disponible en: <http://www.icomallas.com/productos/mallas-tejidas>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C.:El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153 p.

LÓPEZ, Tomás. Troquelado y Estampación, 4 ed. Barcelona.: Gustavo Gil, 1969. 350 p.

MACHINERY LUBRICATION, Clasificación de la viscosidad aceites lubricantes, julio 2011 [en línea], Disponible en: <https://www.machinerylubrication.com/>  
Malla tejida de acero inoxidable AISI 304. Colombia. 2016. Icomallas. [en línea]. Disponible en: <http://www.icomallas.com/productos/mallas-tejidas>

Manual de instalación troqueladora SACMI PTC 027

MICRONICSINC, Sistema de lavado automático de la tela de filtro, 2015. [en línea]. Disponible en: <https://www.micronicsinc.com/precision-filtration-products/filter>

MOTT. Robert L, Mecánica de fluidos. , Mexico. Ediciones Pearson Educación . 2015.

ORIGEN DE CAMPSA. España. 2017, Repsol. [en línea]. Disponible en: <https://www.repsol.com/es/conocenos/historia/origenes/index.cshtml>

PARÍS DE FERRER. Magdalena, Fundamentos de ingeniería de yacimiento. Maracaibo, Ediciones Astro Data S. A. 2009.

P BUSER. A. Costa, Curso de geometría básica. Ediciones Sanz Y Torres . 2012.

RANDO HD, Texaco. Características y manejo de aceites, 2011.

RUSSELLFINEX, Filtros autolimpiantes [en línea]. Disponible en: <http://www.russellfinex.com/es/equipos-de-separacion/filtrosautolimpiantes/>

ROBAYO, Leonardo Andrey y RODRIGUEZ, Edwin Mauricio. Diseño de una máquina filtradora de lodos residuales de planta de tratamiento para la empresa Venturoso S.A. Trabajo de grado. Ingeniería Mecánica. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías. Programa Ingeniería Mecánica, 2009. 281 p.

SACMI. Equipo de lubricación. Alemania. 2015, [en línea]. Disponible en: <http://www.sacmi.it/>

SACMI, Troqueladoras. Manual de manejo, 2018.

SEBACH, Velas de filtro [en línea], Disponible en: [https://www.seebach.com/es/productos/elementosfiltro/velascartuchosfiltro/?noredirect=es\\_ES](https://www.seebach.com/es/productos/elementosfiltro/velascartuchosfiltro/?noredirect=es_ES)

SHERTECH. Bomba de engranajes [en línea], Disponible en: <https://www.dultmeier.com/catpages/E2001.pdf>.

SHIGLEY, Joseph Edward, Diseño en ingeniería mecánica. Mc Graw Hill, 2007.

KRONE, Filtros-centrífugos-Mann. [en línea]. Disponible en: <https://www.krone-filter.de/assets/files/datasheet-espanol/Filtros-centrifugos-Mann-Hummel.pdf>

TROQUEL BLANK PROGRESIVO. Planos troqueles progresivos [en línea]. Disponible en: <http://macareno.mx/2011/07/troquel-blank-progresivo/>

VERA. Maria Irene, Química básica. [en línea]. Disponible en: <http://exa.unne.edu.ar/quimica/quimgeneral/UnidadINocionesBasicas.pdf>

VÍA INDUSTRIAL, Manómetro seco [en línea], Disponible en: <https://www.viaindustrial.com/producto.asp?codigo=141030>

WIKA, Interruptor magnético de flotador [en línea], Disponible en: [https://www.wika.co/upload/DS\\_LM3002\\_es\\_es\\_25971.pdf](https://www.wika.co/upload/DS_LM3002_es_es_25971.pdf).

# **ANEXOS**



ANEXO A.  
CALIBRE ACERO INOXIDABLE



CALIBRE	U.S.G Esp. Pulgadas	E.c.p. Milímetros	M y G E cp. Pulgadas	E.c.p. Milímetros
1	0,2813	7,15		
2	0,2656	6,75		
3	0,25	6,36		
4	0,234	5,96		
5	0,219	5,56		
6	0,203	5,16		
7	0,187	4,76		
8	0,172	4,37		
9	0,156	3,97	0,1496	3,8
10	0,140	3,57	0,13	3,42
11	0,125	3,18	0,11	3,04
12	0,109	2,78	0,1	3,02
13	0,093	1,98	0,08	2,28
14	0,078	1,79	0,07	1,9
15	0,070	1,59	0,06	1,71
16	0,063	1,43	0,059	1,52
17	0,056	1,27	0,054	1,37
18	5,000	1,11	0,0478	1,21
19	0,044	0,96	0,0418	1,06
20	0,034	0,87	0,035	0,91
21	0,031	0,79	0,032	0,83
22	0,025	0,71	0,029	0,76

Fuente: elaboración propia, CORTESA. Fabricantes de acero inoxidable. [en línea]. [citado 1 Marzo.,2019]. Disponible en : <http://www.corteaceros.com/Sheets.html>

ANEXO B.

MEDIDAS MALLA TEJIDA EN ACERO INOXIDABLE

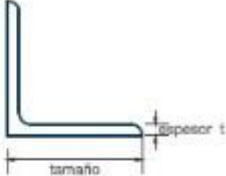
<b>CUADRO DE MEDIDAS</b>				
<b>MALLA TEJIDA EN ACERO INOXIDABLE</b>				
MESH PULGADA	CALIBRE MILIMETROS	ABERTURA MILIMETROS	AREA ABIERTA %	PESO METRO2/KILOGRAMO
1	2.000	23.27	84.6%	2.06
2	16.000	11.10	76.4%	2.58
3	1.370	7.097	70.3%	2.84
4	1.600	4.750	56%	5.17
4	1.500	4.50	58.3%	4.55
4	1.700	5.250	68.4%	2.44
5	1.400	3.650	52.5%	4.95
5	1.040	4.040	63.2%	2.73
6	1.000	3.223	58.3%	3.09
6	0.890	3.343	62.4%	2.40
8	1.000	2.165	46.9%	4.040
8	0.710	2.165	60.3%	2.04
10	0.800	1.740	46.3%	3.232
10	0.640	1.900	46.9%	2.07
10	0.510	2.020	60.3%	1.31
12	0.700	1.607	46.3%	2.969
12	0.582	1.214	46.9%	2.07
12	0.508	1.220	60.3%	1.56
14	0.600	1.214	46.3%	2.54
14	0.504	1.206	46.9%	2.41
14	0.508	1.198	58.3%	1.82
16	0.600	1.190	68.4%	2.91
16	0.457	1.182	52.5%	1.69
18	0.432	1.174	60.3%	1.70
18	0.400	1.166	46.3%	1.45
20	0.505	0.762	46.9%	2.61
20	0.406	0.064	30.1%	1.66

Fuente: elaboración propia. ICOMALLA. Malla tejida de acero inoxidable AISI 304 [en línea], [Citado 2 Marzo 2019]. Disponible en: <http://www.icomallas.com/productos/mallas-tejidas>

ANEXO C.  
DIMENSIONES PERFIL EN L

**LM**  
ÁNGULO DE LADOS IGUALES MILIMÉTRICO

DIMENSIONES

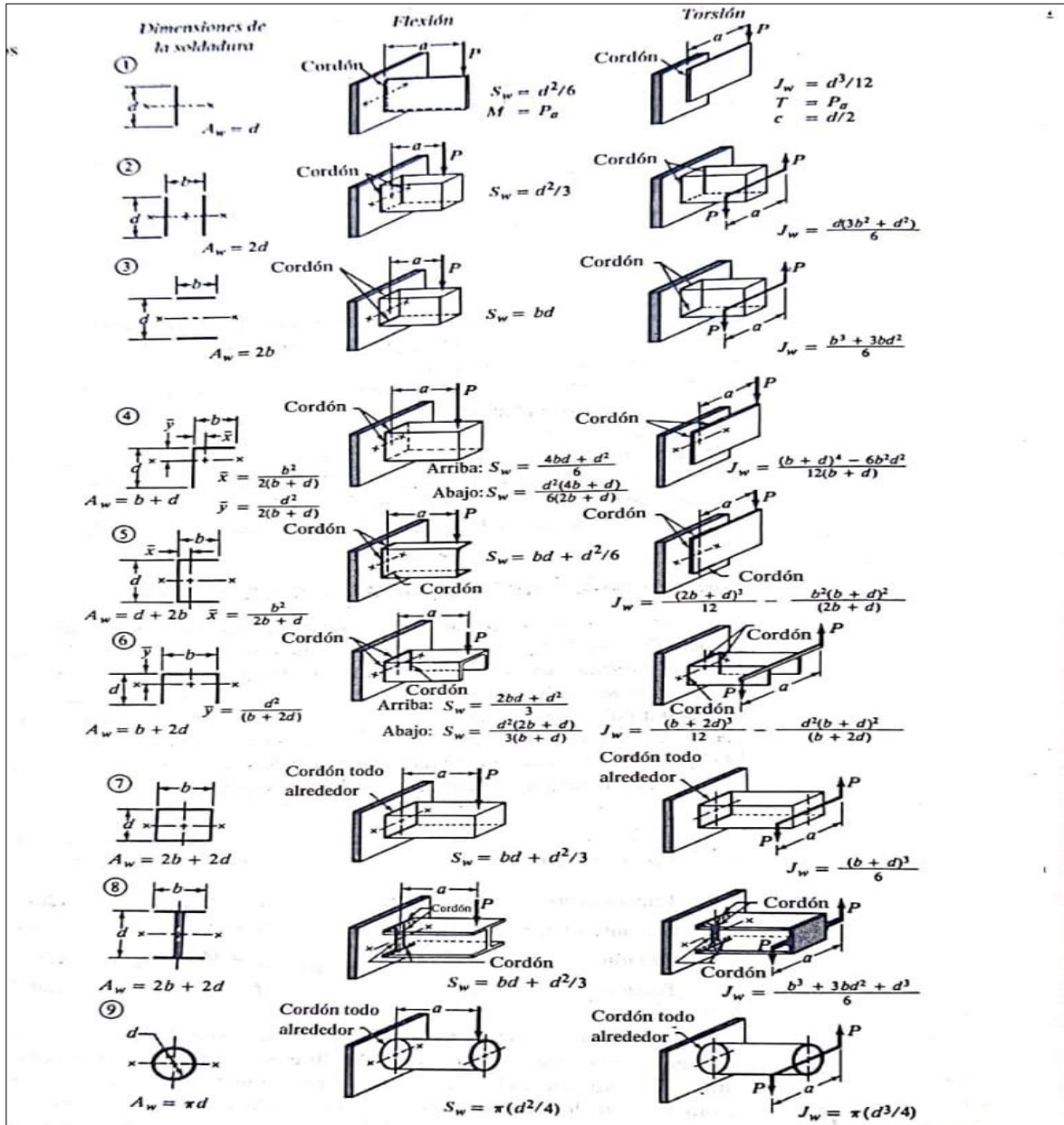


Designación Tamaño x Espesor			Peso
PERFIL	mm x mm	kg/m	
LM	25 x 3	1.12	
LM	25 x 4	1.44	
LM	25 x 5	1.77	
LM	25 x 6	2.07	
LM	30 x 3	1.36	
LM	30 x 4	1.76	
LM	30 x 5	2.16	
LM	30 x 6	2.54	
LM	35 x 3	1.60	
LM	35 x 4	2.07	
LM	35 x 5	2.55	
LM	35 x 6	3.01	
LM	40 x 3	1.84	
LM	40 x 4	2.39	
LM	40 x 5	2.94	
LM	40 x 6	3.48	
LM	40 x 7	4.01	
LM	40 x 8	4.52	
LM	45 x 3	2.08	
LM	45 x 4	2.70	
LM	45 x 5	3.34	
LM	45 x 6	3.96	
LM	45 x 7	4.56	
LM	45 x 8	5.15	
LM	60 x 4	3.64	
LM	60 x 5	4.51	
LM	60 x 6	5.37	
LM	60 x 7	6.21	
LM	60 x 8	7.03	
LM	60 x 9	7.84	
LM	65 x 4	3.95	
LM	65 x 5	4.91	
LM	65 x 6	5.84	
LM	65 x 7	6.76	
LM	65 x 8	7.66	
LM	65 x 9	8.55	
LM	70 x 5	5.30	
LM	70 x 6	6.31	
LM	70 x 7	7.31	
LM	70 x 8	8.29	
LM	70 x 9	9.25	
LM	75 x 5	5.69	
LM	75 x 6	6.78	
LM	75 x 7	7.86	
LM	75 x 8	8.92	
LM	75 x 9	9.96	
LM	75 x 10	10.99	
LM	75 x 11	12.00	
LM	75 x 12	13.00	
LM	90 x 6	8.19	
LM	90 x 7	9.51	
LM	90 x 8	10.80	
LM	90 x 9	12.08	
LM	90 x 10	13.34	
LM	90 x 11	14.59	
LM	90 x 12	15.82	
LM	100 x 6	9.14	
LM	100 x 7	10.60	
LM	100 x 8	12.06	
LM	100 x 9	13.49	
LM	100 x 10	14.91	
LM	100 x 11	16.32	
LM	100 x 12	17.71	

Fuente: Gerdaucorsa, Perfiles en acero AISI A36 perfiles en L [en línea], [Citado 2 Marzo 2019]. Disponible en: [https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/productsservices/products/Documen%20Gallery/TABLAS%20DE%20DIMENSIONES\\_2017.pdf](https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/productsservices/products/Documen%20Gallery/TABLAS%20DE%20DIMENSIONES_2017.pdf)

ANEXO D.

RADIO MINIMO GIRO DE SOLDADURA



Fuente: Diseño de elementos de máquinas. Robert L.Mott cuarta edición.

## ANEXO E. CARACTERISTICAS VELAS FILTRANTES

Elementos filtrantes

### Diseño y operación

El elemento filtrante es la parte principal de cada filtro. Básicamente consiste en un cuerpo soporte y un elemento filtrante. Una variedad de diseños proporcionan diferentes superficies de filtración, el grado de filtración requerido y su limpieza puede elegirse para cada aplicación con la combinación de nuestros componentes básicos.

**Velas filtrantes para filtros automáticos**

Una cantidad de elementos filtrantes tipo vela son ensamblados en un soporte. Este soporte está montado en el interior del cuerpo del filtro y mediante un mecanismo puede limpiarse por medio de un controlado.

**Velas filtrantes**

Este elemento filtrante está formado por una cantidad de elementos filtrantes tipo vela del mismo tamaño. Se montan en un soporte para que trabajen todos en paralelo, de esta forma aumentamos considerablemente la superficie de filtración y reducimos el tamaño del cuerpo filtrante. Este filtro se caracteriza por su alta resistencia a presiones diferenciales.

**Filtración partículas/coalescente**

Los elementos filtrantes coalescentes de alta calidad y alta duración son utilizados para la filtración y separación coalescente en circuitos de gases, en aplicaciones de industria química, petroquímica, centrales de energía o Sector off shore.

### Propiedades

<b>Tipo de filtro sencillo</b>	-	1.03.2, 1.05.1/1.03.1	SFP-P/C
<b>Tipo de filtro dúplex</b>	-	2.05.5, SFD	SFP-P/C
<b>Tipo de filtro automático</b>	E.18/E.19, E.18.2, E.18.3C, E.21/E.22, E.46, E.64, E.72	-	-
<b>Filtros desde/hasta</b>	Dependiendo del tipo de filtro y el medio filtrante	10 µm - 150 µm	> 0,1 µm
<b>Medio filtrante</b>	Malla de alambre de acero inoxidable, perfiles de resina	Malla de alambre de acero inoxidable	Filtros de varias capas de microfibras de vidrio
<b>Insero magnético</b>	-	Opcional	Opcional
<b>Sentido de flujo</b>	Dependiendo del tipo de filtro y el elemento filtrante	►◄ ◄►	[◄►]
<b>Limpieza / sustitución</b>	Limpieza automática	Limpieza manual	Sustitución

197



BOLLFILTER Simplex  
Tipo 1.78.1/1.58.1,  
BFB-P

BOLLFILTER Duplex  
Tipo BFD, BFD-P,  
2.04.5\*

Preparación de lavado  
para el tipo 6.64  
3 µm - 50 µm

Filtro de papel (1),  
poliéster (2) o fibra  
de vidrio (3)

-

►| |◄

Sustitución

\*Tipo 2.04.5 para  
tamaños de carcasa  
DN50/DN80

BOLLFILTER Simplex  
Tipo 1.12.2,  
1.78.1/1.58.1,BFB-P

BOLLFILTER Duplex  
Tipo 2.04.5, BFD,  
BFD-P

-

10 µm - 250 µm\*

Malla de alambre de  
acero inoxidable

Opcional

►| |◄

Limpieza manual

\*Para los tipos  
1.12.2, 2.04.5  
10 µm - 150 µm

BOLLFILTER Simplex  
Tipo 1.03.2,  
1.65.1/1.53.1

BOLLFILTER Duplex  
Tipo 2.05.5

-

10 µm - 2000 µm

Malla de alambre de  
acero inoxidable

Opcional

►| |◄

Limpieza manual

BOLLFILTER Simplex  
Tipo 1.03.2,  
1.65.1/1.53.1

BOLLFILTER Duplex  
Tipo 2.05.5

-

70 µm - 2000 µm

Malla de alambre de  
acero inoxidable

Opcional

◄►

Limpieza manual

BOLLFILTER Simplex  
Tipo 1.12.2, 1.03.2,  
1.65.1/1.53.1

BOLLFILTER Duplex  
Tipo 2.04.5, 2.05.5,  
BFD

-

70 µm\* - 5000 µm

Malla de alambre de  
acero inoxidable,  
chapa perforada


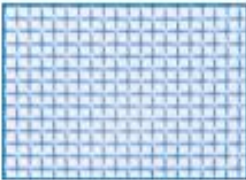

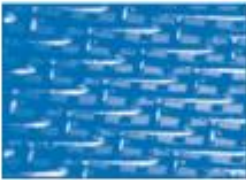

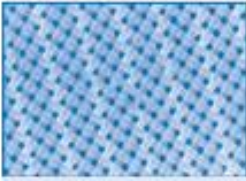
Opcional

◄►

Limpieza manual

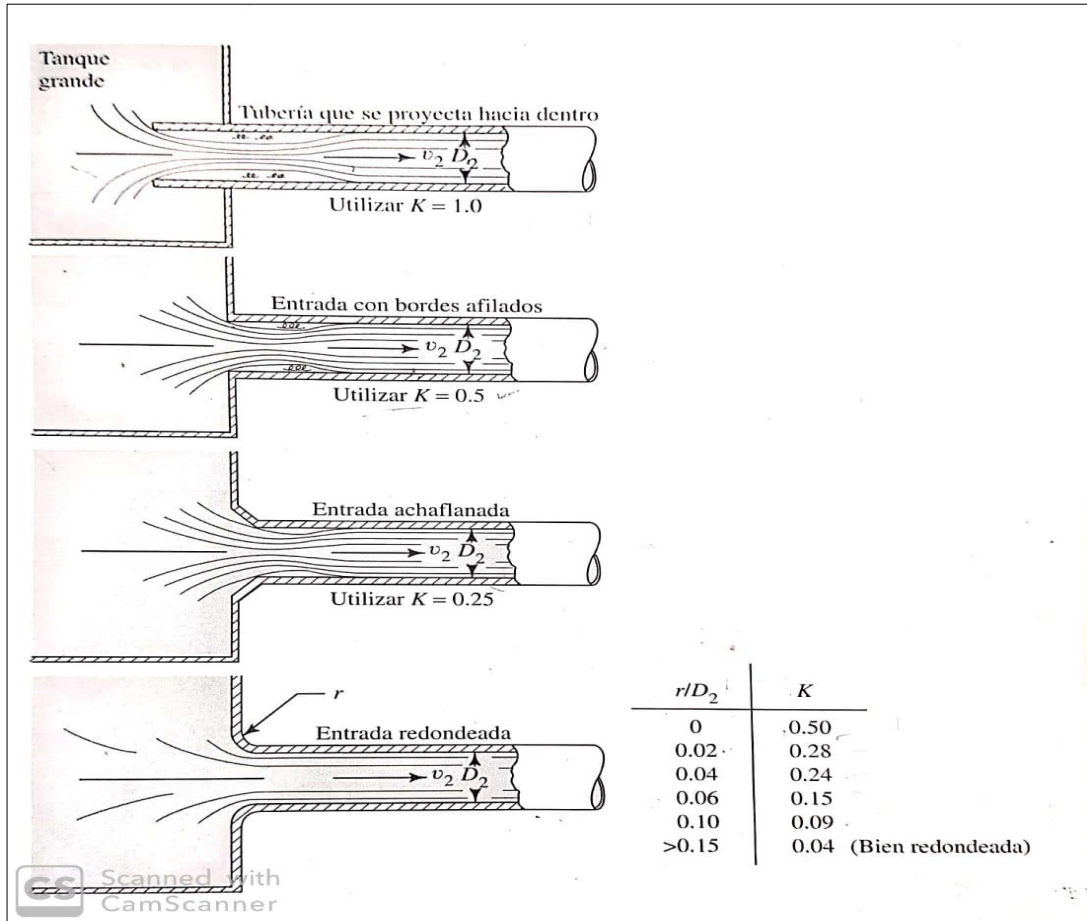
\*Para los tipos  
1.12.2, 2.04.5  
150µm - 5000µm



		
Tipo de malla	Lino	Lino
Versión	02	03
Nº de malla	10	26
Ilustración unidad de medida	1:1	1:1,5
Ancho de malla (µm) (paso de esfera)	2000	800
Nomin. Finura de filtro (µm)*	2000	750
Paso libre (%)	60	60
		
Tipo de malla	Trenzado especial	Unión cinco lizos-Atlas
Versión	11	30
Nº de malla	128/18	5110
Ilustración unidad de medida	10:1	30:1
Ancho de malla (µm) (paso de esfera)	80	80
Nomin. Finura de filtro (µm)*	60	60
Paso libre (%)	44	20
		
Tipo de malla	Trenzado especial	Sarga***
Versión	19	20
Nº de malla	294/31	350/350
Ilustración unidad de medida	30:1	30:1
Ancho de malla (µm) (paso de esfera)	34	34

Fuente: BOLLFILTER, Filtro de aceite [en línea], Disponible en: <https://www.BOLLFILTER.com/fileadmin/downloads/prospekte/Resumen-de-Productos-es-BOLLFILTER.pdf>

ANEXO F.  
 COEFICIENTE DE PÉRDIDAS SEGUN LA ENTRADA



Fuente: MOTT.  
 Pearson Educación . 1996

Robert L, Mecánica de fluidos. , Mexico.Ediciones



ANEXO G.

CARACTERISTICAS BOMBA DE ENGRANAJES

E2001

**Gear Pumps**

**NOTE:** On Sherwood and other gear pumps fill the pump with liquid through a priming tee or discharge piping. **GEARS MUST BE WET BEFORE RUNNING.** Do not run dry! A properly primed pump has a 10" vertical lift. Running the pump dry will result in premature seal and/or pump failure. If a flooded suction line does not exist, to maintain prime install a foot valve in the suction line.

**SHERTECH Stainless Gear Pumps**

Available for direct motor mount to 56C frame motor or pedestal style. Polysulfide gears are compatible with a wide variety of chemicals. Charts available on request.

**Specifications:** 316 Stainless, Viton seal standard (Teflon seal optional) • 1725 RPM Drive • Maximum 125 Psi • 3/8", 1/2" & 1" ports • 4.6 to 24 GPM • Can be base mounted.

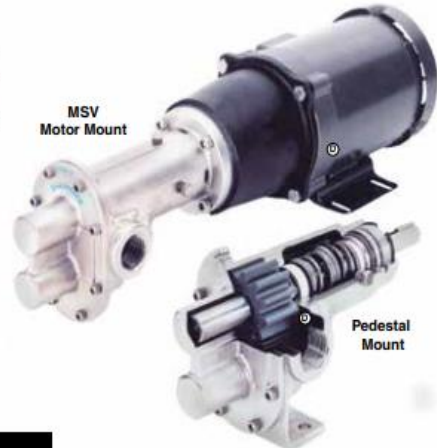
**316 Stainless MSV Motor Mount Gear Pumps with Motor**

Part No.	Size	Motor	Flow	WT.
DU SR301	3/8"	1/2 HP/1PH TEFC	4.2 gpm @ 50 psi	36
DU SR303	1"	1.5 HP/1PH TEFC	22.3 gpm @ 50 psi	55

*Above are 56C Motors. Available for 145/182/184 Ft*

**316 Stainless Pedestal Mount Gear Pumps**

Part No.	Size		WT.
SR PSV2	3/8"	Pedestal Gear Pump Only .....	5 lbs.
SR PSV4	1/2"	Pedestal Gear Pump Only .....	8 lbs.
SR PSV6	1"	Pedestal Gear Pump Only .....	12 lbs.



GALLONS PER MINUTE @ TOTAL PSI														
Model	Port Size	Pump RPM	Free Flow		25 PSI		50 PSI		75 PSI		100 PSI		125 PSI	
			GPM	HP	GPM	HP	GPM	HP	GPM	HP	GPM	HP	GPM	HP
PS2 MS2	3/8"	900	2.4	1/6	2.3	1/6	2.1	1/4	1.8	1/4	1.5	1/3	1.3	1/3
		1200	3.2	1/4	3.1	1/4	2.9	1/3	2.6	1/3	2.3	1/2	1.8	1/2
		1725	4.6	1/3	4.5	1/3	4.2	1/2	4.0	1/2	3.7	3/4	3.3	3/4
PS4 MS4	1/2"	900	5.5	1/4	5.1	1/4	4.5	1/3	4.1	1/3	3.7	1/2	3.1	1/2
		1200	7.3	1/3	7.0	1/3	6.3	1/2	5.9	1/2	5.5	3/4	4.9	3/4
		1725	10.5	1/2	10.2	1/2	9.5	3/4	9.1	3/4	8.7	1	8.1	1
PS6 MS6	1"	900	12.6	1/2	12.0	3/4	10.9	3/4	10.1	1	9.1	1-1/2	8.1	2
		1200	16.7	3/4	16.1	3/4	15.0	1	14.2	1-1/2	13.2	2	12.2	2
		1725	24.0	1	23.4	1	22.3	1-1/2	21.5	2	20.5	3	19.5	3

*Flows and horsepower data shown are for a liquid having a viscosity of 35 SSU at 70° F. Example: Water & No. 1 fuel oil.*

**FEATURES:** Polyphenylene Sulfide gears provide high strength with excellent property retention at elevated temperatures • Operates at lower noise levels with less wear • Long-wearing, dripless mechanical seals standard • Optional double mechanical seals • Self-lubricating ball bearings • Stainless steel shaft • Flush ports • 3/8", 1/2" or 1" NPT ports • Carbon graphite bushings • Bi-Rotational • Maximum pump speed is 1725 RPM • Maximum of 125 PSI • Uses 56C motors • Ports are capable of 360° rotation.

Fuente: SHERTECH. Bomba de engranajes [en línea], Disponible en: <https://www.dultmeier.com/catpages/E2001.pdf>.

## ANEXO H.

### CARACTERISTICAS ACEITE LUBRICANTE RANDO HD

Grupo Iridium S.A. de C.V

(55)5816-0551, (01-800)108-1234

**Punto de ebullición:** >315°C (599°F)

**Punto de Inflamación:** (Método Cleveland de Copa Abierta) 170 °C (338 °F) Mínimo

**Inflamabilidad (sólido, gas):** No Hay Datos Disponibles

**Límites de Inflamabilidad (Explosivos) (% por volumen en aire):**

Inferior: No pertinente Superior: No pertinente

**Presión de vapor:** <0.01 mmHg @ 37.8 °C (100 °F)

**Densidad de vapor (Aire = 1):** >1

**Densidad:** 0.87 kg/l @ 15°C (59°F) (Típico)

**Solubilidad:** Soluble en disolventes de hidrocarburos; insoluble en agua.

**Coefficiente de partición: n-octanol/agua:** No Hay Datos Disponibles

**Temperatura de autolgnición:** No Hay Datos Disponibles

**Temperatura de descomposición:** No Hay Datos Disponibles

**Viscosidad:** 28.80 mm<sup>2</sup>/s @ 40°C (104°F) Mínimo

**Tasa de evaporación:** No Hay Datos Disponibles

#### SECCIÓN 10 ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

**Reactividad:** Puede reaccionar con los ácidos fuertes o los agentes oxidantes potentes, tales como cloratos, nitratos, peróxidos, etc.

**Estabilidad Química:** Esta sustancia se considera estable en condiciones de temperatura y presión anticipadas para su almacenaje y manipulación y condiciones normales de ambiente.

**Polimerización Peligrosa:** No experimentará polimerización peligrosa.

**Incompatibilidad con Otros Materiales:** No pertinente

**Productos Peligrosos de la Descomposición:** No se conoce ninguno/a (No se anticipa ninguno/a)

#### SECCIÓN 11 INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

##### EFFECTOS INMEDIATOS PARA LA SALUD

**Ojo:** No se anticipa que cause irritación prolongada o significativa a los ojos.

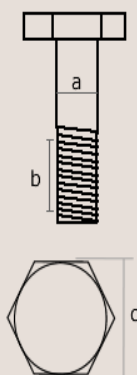
**Irritación ocular:** El riesgo de irritación ocular corresponde a la evaluación de datos con respecto a componentes de los productos.

Fuente: CONAUTO, Aceite rando HD 32-46-68 [en línea]. [Citado 9 Enero de 2019]., Disponible en: [http://www.conauto.com.ec/wp-content/uploads/2008/11/rando\\_hd\\_32\\_46\\_68](http://www.conauto.com.ec/wp-content/uploads/2008/11/rando_hd_32_46_68)

## ANEXO I.

### ESPECIFICACIONES PERNOS PULGADAS NORMA SAE

#### Equivalencias Pernos Pulgadas Norma SAE



MEDIDA	DIÁMETRO EN PLG (A)	DIÁMETRO EN MM (A)	ROSCA GRUESA HILOS X PLG (B)	ROSCA FINA HILOS X PLG (B)	CABEZA LLAVE HEX PLG (C)
1/8"	0.125	3.175	40	44	Tornillo
5/32"	0.156	3.969	32	36	Tornillo
3/16"	0.188	4.763	24	32	Tornillo
1/4"	0.250	6.350	20	28	7/16"
5/16"	0.313	7.938	18	24	1/2"
3/8"	0.375	9.525	16	24	9/16"
7/16"	0.438	11.113	14	20	5/8"
1/2"	0.500	12.700	13	20	3/4"
9/16"	0.563	14.288	12	18	13/16"
5/8"	0.625	15.875	11	18	15/16"
3/4"	0.750	19.050	10	16	1 1/8"
7/8"	0.875	22.223	9	14	1 5/16"
1"	1.000	25.400	8	14	1 1/2"
1 1/8"	1.125	28.576	7	12	1 11/16"
1 1/4"	1.250	31.750	7	12	1 7/8"
1 1/2"	1.500	38.100	6	12	2 1/16"

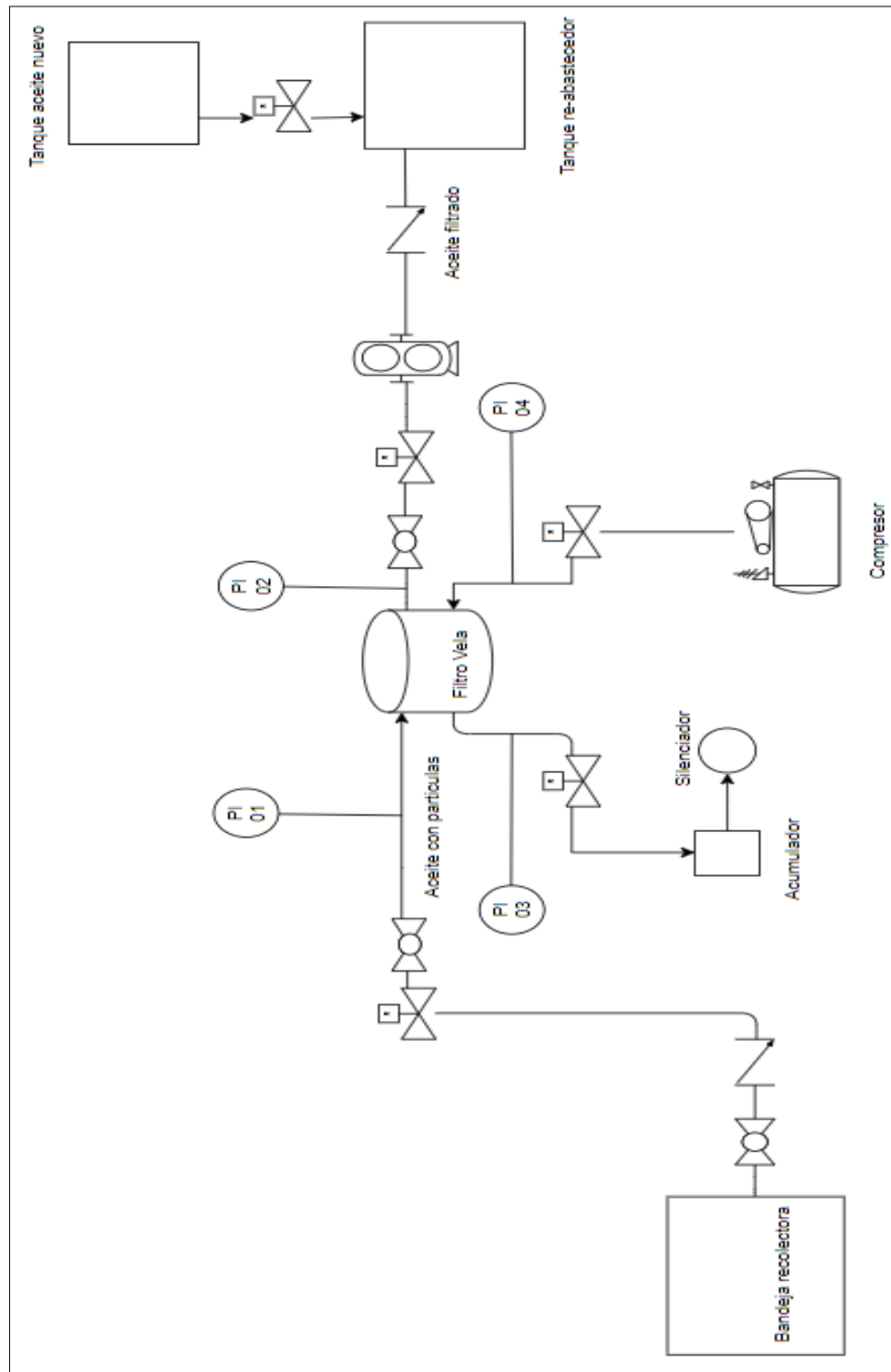
#### Temas Relacionados

[Productos - Pernos de Acero](#)  
[Productos - Pernos Inoxidables](#)  
[Productos - Pernos de Hierro](#)  
[Productos - Tuercas](#)  
[Productos - Herramientas](#)  
[Ayuda Técnica - Recomendaciones](#)

[Regresar al Comienzo](#)

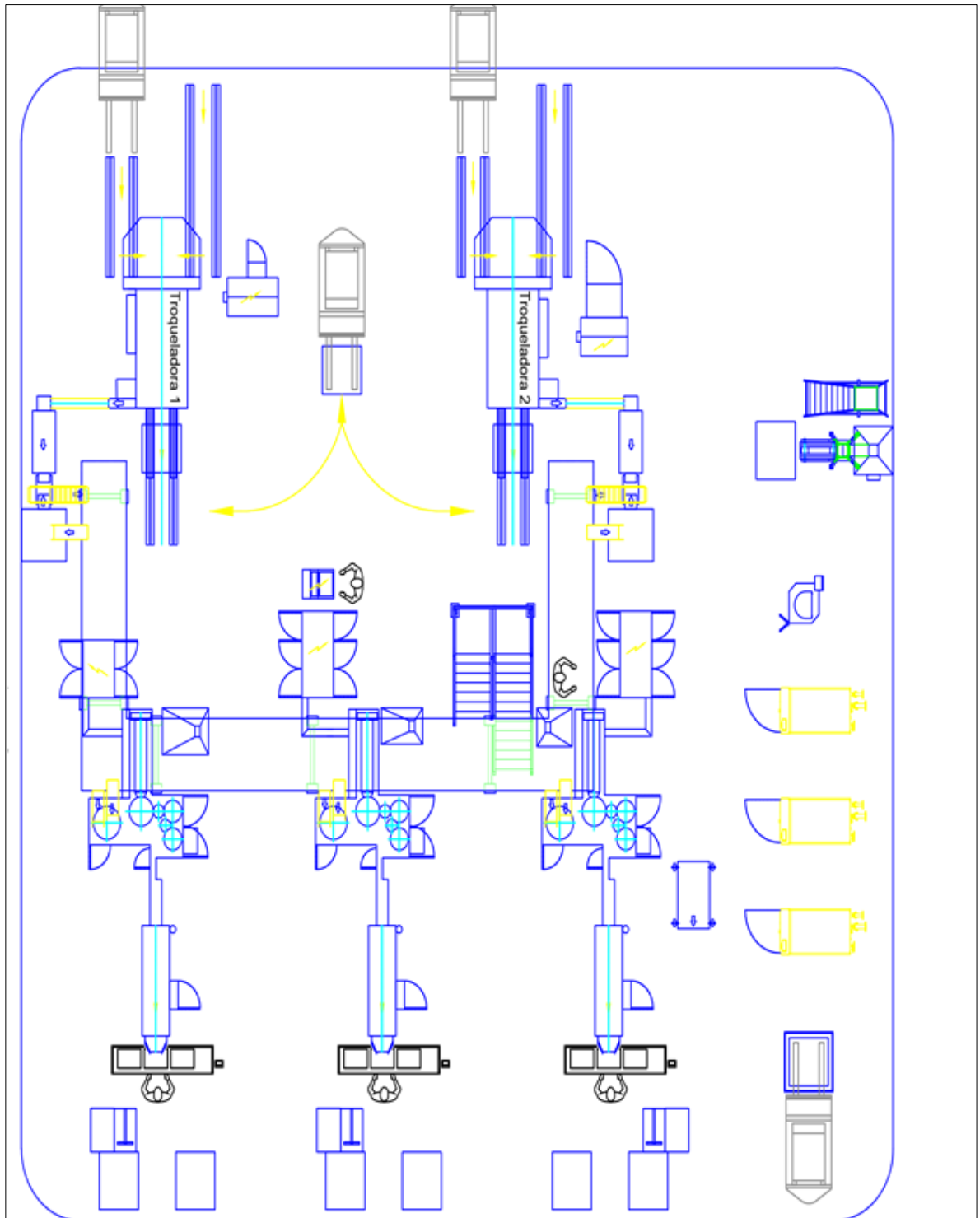
Fuente: LA CASA DEL PERNO, Equivalencias pernos pulgadas norma SAE [en línea]. [Citado 3 mayo de 2019]., Disponible en: [http://www.casadelperno.com/AyudaTecnica\\_Pulgadas.html](http://www.casadelperno.com/AyudaTecnica_Pulgadas.html)

ANEXO J.  
DIAGRAMA P&ID



Fuente: elaboración propia

ANEXO K.  
PLANO UBICACIÓN EN UNA BODEGA



Fuente: elaboración propia



ANEXO M.

COTIZACION ACEITE RANDO HD 32






.TERIAS

Cota Cund.      3 DE SEPTIEMBRE DE 2015

Señores:  
**IBERPLAST S.A**  
 ATN. SR. JAVIER CALDERON  
 DEPTO DE COMPRAS  
 BOGOTA

**COTIZACION 166**

Es grato para nosotros como Distribuidores de lubricantes SHELL dirigimos a usted con el fin de poner a su consideración la siguiente oferta comercial .

<b>LUBRICANTE RANDO HD 150 POR 55 GALONES</b>	<b>1</b>	<b>\$ 1.141.463</b>	<b>\$ 1.141.463</b>	

**ENTREGA**

**FORMA DE PAGO**

**VALIDEZ DE LA OFERTA**

**FLETES**

**DESCUENTO**

**48 HORAS DESPUES DE SU ORDEN**

**CREDITO 30 DIAS**

**3 DIAS FECHA CALENDARIO.**

**INCLUIDOS**

**INCLUIDO EN PRECIO COTIZADO**

Fuente: elaboración propia.

ANEXO N.

PLANOS

Ver CD