# Universidad del Azuay

## Facultad de Ciencia y Tecnología

### Escuela de Ingeniería Mecánica

**OBTENCIÓN DE ACEITE BASE MINERAL MEDIANTE LA RECUPERACIÓN DEL ACEITE USADO EN VEHÍCULOS AUTOMOTRICES**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Ingeniera-o en Mecánica Automotriz**

**Autores**
**Matute Díaz Juan Andrés**
**Sarmiento Ríos Débora Tatiana**

**Director**
**Piercósimo Tripaldi Cappelletti**

**Cuenca, Ecuador**

**2012**

# DEDICATORIA

Esta tesis es dedicada a Dios, a mis padres y esposo.

Débora Sarmiento

Esta tesis va dedicada a las personas que siempre han estado a mi lado apoyándome y animándome a cumplir mis proyectos, mi familia.

Juan Andrés Matute

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos a todas aquellas personas que nos brindaron su apoyo para la realización de esta tesis, en especial al Dr. Piercósimo Tripaldi y al personal de laboratorio.

16/11/12

# RESUMEN

## OBTENCIÓN DE ACEITE BASE MINERAL MEDIANTE LA RECUPERACIÓN DEL ACEITE USADO EN VEHÍCULOS AUTOMOTRICES

La presente tesis consistió en la recuperación y utilización del aceite automotriz usado mediante un sistema compuesto por una centrífuga de discos y un decantador, como parte de un proceso de reciclaje. Para ello se partió con el diseño y construcción de la máquina, se incluyeron detalles de la fabricación como materiales y recomendaciones de uso; también contiene los análisis realizados al lubricante antes y después del proceso, evaluando sus características, estado final y mejoras obtenidas; además de describir el uso de los instrumentos y equipos de laboratorio utilizados para cumplir este objetivo. Se obtuvo un notable incremento en la viscosidad de la muestra pero no se logró disminuir el nivel de material particulado suspendido.

**Palabras claves:** sistema de recuperación, aceite automotriz usado, centrífuga de discos, lubricante, equipos de laboratorio, viscosidad.

Dr. Piercósimo Tripaldi

Director de Tesis

Ing. Hernán Viteri

Junta Académica

Juan Andrés Matute

Débora Sarmiento

## ABSTRACT

### PROCUREMENT OF MINERAL BASED OIL THROUGH THE RECUPERATION OF USED OIL IN MOTOR VEHICLES

The present thesis consisted in the recuperation and use of used automobile oil through a compound system that employs decanters and disc stack centrifuges as part of a recycling process. In order to do this we started with the design and construction of the machine, which included details of the fabrication as well as of the materials, and recommendations for its use; it also contained the analysis performed to the lubricants before and after the process in order to evaluate its characteristics, final state, and improvements. In addition, we describe the management of the instruments and the laboratory equipment that were employed in order to fulfill the goal. We obtained a distinguished increase in the viscosity of the sample but it was not possible to reduce the level of suspended particulate matter.



**Key Words:** recuperation system, used automobile oil, disc stack centrifuge, lubricant, laboratory equipment, viscosity.


Dr. Piercósimo Tripaldi
Thesis Director

Academic Board

Juan Andrés Matute

Débora Sarmiento

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
DPTO. IDIOMAS

Translated by,
Diana Lee Rodas

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria ii
Agradecimiento iii
Resumen iv
Abstract v
Indice de contenidos vi
Indice de tablas xi
Indice de figuras xiii
Indice de anexos xvi
Introducción 1

**CAPÍTULO 1: CARACTERÍSTICAS DEL LUBRICANTE DE MOTOR**

1.1 Definición 2
1.1.1 Servicios que efectúan los lubricantes 2
1.2 Tipos de aceites bases 4
1.2.1 Aceite base obtenido de la refinación del petróleo 5
1.2.2 Aceites sintéticos 6
1.2.3 Aceites base reciclados 6
1.3 Aditivos lubricantes 7
1.3.1 Concepto 7
1.3.2 Clasificación de aditivos 8
1.3.2.1 Actuación sobre propiedades físicas (viscosidad, congelación) 8
1.3.2.2 Actuación sobre propiedades químicas (oxidación, corrosión, herrumbre) 10
1.3.2.3 Actuación sobre propiedades físico-químicas 12
1.4 Propiedades del aceite 16
1.5 Clasificación, especificaciones y normativas 22
1.5.1 SAE- Grado de viscosidad del aceite 22
1.5.2 API – Categoría de servicio 24
1.5.3 Círculo dona 27
1.6 Conclusiones 28

## CAPÍTULO II: OPERACIONES MECÁNICAS DE SEPARACIÓN


2.1 Sedimentación 29
2.1.1 La sedimentación discontinua en el laboratorio 29
2.1.2 Aparatos 31
2.1.3 Sedimentación continua 33
2.1.4 Decantación continua a contracorriente 34
2.2 Medios filtrantes 35
2.2.1 Telas de fibra tejida 39
2.2.2 Telas metálicas o tamices 40
2.2.3 Papeles de filtro 40
2.2.4 Medios porosos rígidos 40
2.2.5 Membranas poliméricas 41
2.2.6 Lechos granulares de partículas sólidas 41
2.2.7 Ayudas para filtración 41
2.2.7.1 Sílice de diatomeas 42
2.2.7.2 Perlita 42
2.3 Centrifugación 43
2.3.1 Aparatos 44
2.3.2 Centrifugación discontinua 44
2.3.2.1 Funcionamiento 45
2.3.3 Centrífugas continuas 47
2.3.4 Centrífugas discontinuas automáticas 48
2.3.5 Centrífugas 49
2.3.5.1 Centrífugas de rotor tubular 50
2.3.5.2 Centrífugas con rotor de disco 52
2.4 Conclusiones 55


## CAPÍTULO III: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ACEITE USADO


3.1 Cálculos y diseño 56
3.1.1 Centrífuga de discos o platos 56
3.1.1.1 Antecedentes 56

3.1.1.2 Variables 58
3.1.1.2.1 Número de revoluciones (rpm) 58
3.1.1.2.2 Ángulo de discos 58
3.1.1.3 Cálculos 59
3.1.1.4 Partes de la centrífuga 60
3.1.1.4.1 Discos 60
3.1.1.4.2 Eje 61
3.1.1.4.3 Bujes 61
3.1.1.4.4 Tuerca de ajuste 62
3.1.1.4.5 Base 62
3.1.1.4.6 Recipiente 63
3.1.1.4.7 Tapa de la centrífuga 63
3.1.1.4.8 Embudo de alimentación 64
3.1.2 Decantador 64
3.1.2.1 Cálculos 64
3.1.2.2 Partes del decantador 65
3.1.2.2.1 Cuerpo 65
3.1.2.2.2 Llaves de paso 65
3.1.2.2.3 Embudo 66
3.1.2.2.4 Base 66
3.2 Materiales de construcción 66
3.2.1 Grilon 66
3.2.2 Acero inoxidable 67
3.3 Construcción del sistema de recuperación del aceite usado 69
3.3.1 Construcción de los componentes de la centrífuga 69
3.3.1.1 Construcción de los discos 70
3.3.1.2 Construcción del eje 72
3.3.1.3 Construcción de los bujes 74
3.3.1.3.1 Bujes de grilon 74
3.3.1.3.2 Buje metálico 76
3.3.1.4 Construcción de la tuerca 77
3.3.1.5 Construcción del embudo de alimentación 78
3.3.1.6Cambio del motor de la centrífuga 79
3.3.1.7 Modificación de la tapa de la centrífuga 81

3.3.2 Construcción del decantador 83
3.4 Armado y pruebas del sistema de recuperación de aceite usado 85
3.4.1 Armado de los componentes 85
3.4.1.1 Armado de la centrífuga 85
3.4.2 Pruebas a los componentes del sistema de recuperación de aceite usado 88
3.4.2.1 Medición del número de revoluciones de la centrífuga 88
3.4.2.2 Prueba de balanceo 89
3.4.2.3 Prueba de funcionamiento de la centrífuga 90
3.4.2.4 Prueba de estanqueidad 92
3.5 Conclusiones 93

**CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y PRUEBAS DE LABORATORIO**

4.1 Obtención de muestras 94
4.1.1 Muestra de aceite usado 94
4.1.2 Muestra de aceite automotriz usado centrifugado 94
4.1.3 Muestra de aceite automotriz usado decantado y centrifugado 97
4.2 Pruebas de diagnóstico 100
4.2.1 Técnica analítica para la determinación de la degradación del aceite 100
4.2.1.1 Medición de la viscosidad 101
4.2.2 Técnicas de análisis de la contaminación del aceite 104
4.2.2.1 Espectroscopia infrarroja 104
4.2.2.2 Espectrofotometría ultravioleta visible 108
4.2.2.3 Polarografía stripping 114
4.3 Análisis e interpretación de los resultados 119
4.3.1 Preparación y suavización de datos 119
4.3.1.1 Datos de la viscosidad 119
4.3.1.2 Datos de la espectroscopia infrarroja 122
4.3.1.3 Datos de la espectrofotometría ultravioleta visible 124
4.3.1.4 Datos de la polarografía stripping 125
4.3.2 Análisis de los datos 126
4.3.2.1 Análisis de los datos de viscosidad 126
4.3.2.2 Análisis de los datos de la espectroscopia infrarroja 128
4.3.2.3 Análisis de los datos de la espectrofotometría ultravioleta visible 132

4.3.2.4 Análisis de los datos de la polarografía stripping 133
4.4 Conclusiones 134

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 136**

**BIBLIOGRAFIA 138**

**ANEXOS 141**

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Tipos de hidrocarburos 5
Tabla 1.2: Viscosidades en aceites para motor 23
Tabla 1.3: Clasificación API para motores naftenos 25
Tabla 1.4: Clasificación API para motores diesel 26
Tabla 2.1: Resumen generalizado de medios filtrantes clasificados de acuerdo a su rigidez 26
Tabla 2.2: Propiedades del medio filtrante orientadas a la máquina 26
Tabla 2.3: Propiedades específicas de filtración en medios filtrantes 27
Tabla 2.4: Propiedades orientadas a la aplicación del medio filtrante 28
Tabla 4.1: Datos de la densidad del aceite 120
Tabla 4.2: Tiempo de caída 15 ml de las muestras 120
Tabla 4.3: Datos de viscosidad 121
Tabla 4.4: Peso de las muestras de aceite usado 124
Tabla 4.5: Valores de landa (λ) 125
Tabla 4.6: Resultado del análisis de metales pesados en el aceite usado automotriz 125
Tabla 4.7: Diferencia de los valores obtenidos 125
Tabla 4.8: Valores de la viscosidad de las muestras de aceite 126
Tabla 4.9: Comparación de viscosidad con un aceite de referencia 137
Tabla 4.10: Valores del porcentaje de turbiedad de las diferentes muestras de aceite 132
Tabla 4.11: Valores de la cuantificación de los metales pesados 133

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Círculo Dona 27
Figura 2.1: Nivel de las superficies de separación y concentraciones de las diversas capas, durante una sedimentación libre 30
Figura 2.2: Sección esquemática de un espesador de funcionamiento continuo 32
Figura 2.3: Diagrama de fuerzas de una centrífuga 43
Figura 2.4: Esquema de una centrífuga de cesta suspendida 45
Figura 2.5: Centrífuga suspendida por resortes, con impulsión inferior 46
Figura 2.6: Centrífuga continua horizontal, cerrada, con raspador espiral. (Bird Machine Co.) 47
Figura 2.7: Centrífuga continua, de tambor horizontal perforado, con raspador espiral para la descarga 48
Figura 2.8: Corte longitudinal de una centrífuga discontinua horizontal de descarga automática. (Baker Perkins, Inc) 49
Figura 2.9: Corte parcial de una centrífuga de rotor de discos, para la separación continua de líquidos. (De Laval Separator Co.) 52
Figura 2.10: Figura 2. 9: Corte parcial de una centrífuga de rotor de discos, con boquilla de descarga, utilizada para escurrir sólidos. (De Laval Separator Co.) 54
Figura 3.1: Extractor de jugos Omega Juicers 9000 57
Figura 3.2: Componentes Omega Juicers 9000 57
Figura 3.3: Disco de la centrífuga 59
Figura 3.4: Discos de la centrífuga 60
Figura 3.5: Eje de la centrífuga 61
Figura 3.6: Bujes de la centrífuga 61
Figura 3.7: Tuerca de ajuste 62
Figura 3.8: Base de la centrífuga 62
Figura 3.9: Recipiente de la centrífuga 63
Figura 3.10: Tapa de la centrífuga 63
Figura 3.11: Embudo de la centrífuga 64
Figura 3.12: Cuerpo decantador 65
Figura 3.13: Base cónica 65
Figura 3.14: Base del decantador 66
Figura 3.15: Barras de grilon 67

Figura 3.16: Láminas de acero inoxidable 69
Figura 3.17: Torno 70
Figura 3.18: Torneado del disco 71
Figura 3.19: Pulido del disco 71
Figura 3.20: Discos de la centrífuga 72
Figura 3.21: Roscado de la punta del eje 73
Figura 3.22: Taladrado de orificios para la salida del aceite 73
Figura 3.23: Buje metálico 74
Figura 3.24: Eje 74
Figura 3.25: Torneado del buje 75
Figura 3.26: Buje 75
Figura 3.27: Ajuste de la cuchilla del torno 76
Figura 3.28: Torneado de la tuerca de ajuste 77
Figura 3.29: Tuerca de ajuste 77
Figura 3.30: Ajuste de cuchilla del torno 78
Figura 3.31: Torneado del eje de transmisión 79
Figura 3.32: Embudo de alimentación 79
Figura 3.33: Desarmado carcasa del extractor de jugos 80
Figura 3.34: Roscado del eje 80
Figura 3.35: Motor del esmeril y conexiones eléctricas 81
Figura 3.36: Tira metálica soldada en la tapa 81
Figura 3.37: Soldada del tubo para salida superior 82
Figura 3.38: Pulido de la tapa 82
Figura 3.39: Orifico en la tapa 82
Figura 3.40: Muesca para el alojamiento del tubo de salida 83
Figura 3.41: Cilindro cuerpo del decantador 84
Figura 3.42: Lámina de acero inoxidable 84
Figura 3.43: Cono del decantador 84
Figura 3.44: Neplo 85
Figura 3.45: Eje en la base de la centrífuga 86
Figura 3.46: Recipiente en la base 86
Figura 3.47: Primer disco en el eje 86
Figura 3.48: Buje separador en el eje 87
Figura 3.49: Segundo disco y buje 87

Figura 3.50: Tuerca de ajuste 88
Figura 3.51: Armado: Tapa, brazos de ajuste y embudo de alimentación 88
Figura 3.52: Medición de revoluciones de la centrífuga 89
Figura 3.53: Partes de la centrífuga 89
Figura 3.54: Centrífuga armada 90
Figura 3:55: 100 ml de aceite usado automotriz 91
Figura 3.56: 100ml de agua 91
Figura 3.57: Aceite que gotea por el tubo superior de la centrífuga 91
Figura 4.1: Vehículo de recolección de aceites usados 94
Figura 4.2: Brazos de ajuste 95
Figura 4.3: Salidas superior e inferior de la centrífuga 95
Figura 4.4: Vertido del aceite en la centrífuga 96
Figura 4.5: Muestras de aceite 96
Figura 4.6: 1000 ml de aceite usado automotriz 97
Figura 4.7: 10 gr de harina de diatomeas 97
Figura 4.8: Harina de diatomeas 98
Figura 4.9: Mezcla de harina de diatomea y aceite usado automotriz 99
Figura 4.10: Centrifugado del aceite usado automotriz 99
Figura 4.11: Relación 100ml de aceite usado automotriz y 1 gr de harina de diatomeas 100
Figura 4.12: Tapa del vaso calibrado 101
Figura 4.13: Vaso calibrado 101
Figura 4.14: Peso del vaso calibrado 102
Figura 4.15: Ajuste de jeringuilla 102
Figura 4.16: Medición de la viscosidad del aceite usado automotriz 103
Figura 4.17: Cronómetro 103
Figura 4.18: Espectrómetro infrarrojo 105
Figura 4.19: Placa 105
Figura 4.20: Muestra en la placa 106
Figura 4.21: Placa en el espectrógrafo 106
Figura 4.22: Toma de datos 107
Figura 4.23: Ingreso del nombre 107
Figura 4.24: Éter de petróleo 107
Figura 4.25: Espectrofotometría ultravioleta visible 108

Figura 4.26: Balanza de precisión 109
Figura 4.27: Muestra de aceite en la balanza 109
Figura 4.28: Balón volumétrico aforado 110
Figura 4.29: Extracción de 10 ml de la primera dilución 110
Figura 4.30: Muestras de la primera y segunda dilución 110
Figura 4.31: Colocación de la muestra en el espectrómetro 111
Figura 4.32: VISION Lite 111
Figura 4.33: Parámetros utilizados 112
Figura 4.34: Opción Lín.Base 112
Figura 4.35: Registro de línea base 113
Figura 4.36: Ingreso nombre de muestra 113
Figura 4.37: Curva 114
Figura 4.38: Polarógrafo 114
Figura 4.39: Crisoles 115
Figura 4.40: Horno con muestras a incinerar 116
Figura 4.41: Horno 116
Figura 4.42: Ingreso de valores 117
Figura 4.43: Botón start/enter 117
Figura 4.44: Muestras incineradas 117
Figura 4.45: Ácido clorhídrico 118
Figura 4.46: Muestra: cenizas con 10% de ácido clorhídrico 118
Figura 4.47: Filtrado de la dilución de las cenizas 118
Figura 4.48: Aforado de balón volumétrico 119
Figura 4.49: Muestras a analizar por el polígrafo 119
Figura 4.50: Programa xlstat 121
Figura 4.51: Modelación de datos 122
Figura 4.52: Insertar curvas 122
Figura 4.53: Límites de la curva 122
Figura 4.54: Eliminación curva 123
Figura 4.55: Curvas de diferentes muestras de aceite 123
Figura 4.56: Valor de landa (λ) 124
Figura 4.57: Gráfica del incremento de la viscosidad 126
Figura 4.58: Curva de los datos de la viscosidad 128
Figura 4.59: Curvas de las muestras (aceite usado y aceite centrifugado) 129

Figura 4.60: Presencia de etilenglicol en las muestras de aceite usado y centrifugado 129
Figura 4.61: Presencia de etilenglicol en aceite usado y de referencia 130
Figura 4.62: Presencia de agua en las muestras de aceite usado y centrifugado 131
Figura 4.63: Presencia de agua del aceite centrifugado y de referencia 131

## INDICE DE ANEXOS

Especificaciones de las partes móviles de la centrífuga 141
Especificaciones del decantador 146

Matute Díaz Juan Andrés,
Débora Tatiana Sarmiento Ríos
Trabajo de graduación
Dr. Piercósimo Tripaldi Cappelletti
Noviembre 2012

# OBTENCIÓN DE ACEITE BASE MINERAL MEDIANTE LA RECUPERACIÓN DEL ACEITE USADO EN VEHÍCULOS AUTOMOTRICES

## INTRODUCCIÓN

Cuenca es una de las ciudades del Ecuador con mayor porcentaje de vehículos por habitante. Debido al mantenimiento de este parque automotor, se obtiene una gran cantidad de neumáticos, aceites usados y residuos sólidos automotrices (RSA), los mismos que al no ser manipulados adecuadamente causan daño al medio ambiente, razón que ha llevado a implementar programas como: recolección de los aceites usados, el uso de neumáticos en las paredes de los rellenos sanitarios y el reciclaje de los R.S.A.

En nuestra ciudad la Empresa Municipal ETAPA (Empresa Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento) sólo realiza una recolección del aceite automotriz usado y posterior venta del mismo a empresas nacionales que lo usan como combustible alternativo al bunker; además, no existe interés tanto público como privado para implantar un programa a fin a la recuperación del aceite usado; siendo una de las causas, la falta de estudios o proyectos actualizados relacionados al tema.

El presente proyecto pretende conocer las características del aceite usado antes y después de haber sido sometido a un proceso de recuperación, con el fin de obtener aceite base mineral que sirva como materia prima para fabricar aceites de uso automotriz, además de disponer de datos actuales que puedan aportar a la consecución de proyectos que beneficien al medio ambiente y a la sociedad.

# CAPITULO I

# CARACTERISTICAS DEL LUBRICANTE DE MOTOR

## 1.1 Definición

Cuando un cuerpo sólido se desliza sobre otro produce una resistencia al movimiento denominado rozamiento. Este rozamiento debe reducirse o eliminarse, ya que derivan de él dos efectos no deseables: a) el trabajo que se debe aplicar para vencerlo (en el motor de un automóvil, el 20% de su potencia se pierde en vencer rozamientos); b) el desgaste de los mecanismos de la máquina con la consiguiente reducción de su vida útil.

Un lubricante es toda sustancia sólida, semisólida o líquida de origen animal, vegetal, mineral o sintético que pueda utilizarse para reducir el rozamiento entre piezas y mecanismos en movimiento.[1]

Uno de los propósitos fundamentales de un lubricante es proteger los componentes metálicos frente a la fricción, especialmente en la etapa de encendido, debido a que la mayor parte del aceite del motor está depositado en el cárter y existe un cierto retardo antes de que el aceite impulsado por la bomba se ponga en circulación, durante esta etapa. El desgaste es enorme, a menos que el aceite haya logrado formar una película entre el pistón y el cilindro.

### 1.1.1 Servicios que efectúan los lubricantes

Los lubricantes en el motor de acuerdo a sus características pueden cumplir otras funciones distintas a su primordial, estas pueden ser:

[1] BENLLOCH MARÍA, JOSE. Lubricantes y lubricación aplicada/ Ediciones Ceac. Barcelona. 2. Edición. 2005. Pg 35.

- **Control de rozamiento**

Se realiza interponiendo una película del lubricante entre las dos superficies en contacto, evitándose rozamiento por efecto de la película del aceite que será más o menos gruesa según la viscosidad del mismo; si la viscosidad es demasiado baja la capa de aceite puede ser peligrosamente fina; si la viscosidad es demasiada alta aumenta el rozamiento o fricción.

- **Control de desgaste**

En los mecanismos de movimiento se puede producir el desgaste por tres causas:

- Abrasión
- Corrosión
- Contacto metal – metal

El desgaste abrasivo lo producen partículas sólidas que llegan a interponerse entre las superficies lubricadas rozándolas o arañándolas: la acción de lavado del lubricante elimina dichas partículas que quedan detenidas en los filtros. El desgaste corrosivo es el causado por los productos de descomposición del propio lubricante y los productos ácidos de la combustión en el caso de los motores de combustión interna. El desgaste ocasionado por el contacto metal-metal se produce cuando se rompe la película lubricante.

- **Control de temperatura**

Los lubricantes absorben y eliminan el calor que se genera por efecto de rozamiento y el que pueda llegar al mecanismo por cualquier contacto (vapor, gases de combustión, a través de las piezas que constituyen la maquinaria, etc.). El lubricante, por consiguiente, reduce la temperatura de dos formas, evitando rozamientos que

siempre generan calor y transfiriendo el mismo al exterior, en ocasiones por medio de un circuito de refrigeración.

- **Control de la corrosión**

El lubricante cumple también la función de proteger las superficies metálicas de la acción de la humedad y de sustancias químicas presentes en muchos procesos de fabricación; en protección debe actuar no solo cuando la máquina este en marcha, sino también cuando este parada.

- **Eliminación de contaminantes**

En muchos sistemas, el aceite debe eliminar los cuerpos extraños cuya existencia es nociva (por ejemplo, en motores de combustión interna); dichas partículas quedan retenidas en los filtros o centrifugadores de que está provisto el sistema de lubricación.

- **Formación de sello o cierres**

Los lubricantes dentro del motor llena las irregularidades a nivel microscópico de las superficies metálicas, sellando los espacios entre las mismas. Este sellado en los motores de explosión, evita fugas de combustible y gases de escape y permite un mejor aprovechamiento de la energía.[2]

## 1.2 Tipos de aceites bases

Los lubricantes están compuestos de una base lubricante proveniente generalmente de petróleo crudo, o de una base sintética, y de un paquete de aditivos formados por productos químicos que les proporciona la calidad y tecnología al lubricante. En

[2] AVILES. Lubricantes y Ensayos. Editorial Grafinsa, 2002. Pg 24,25

lubricantes automotrices por ejemplo, la base lubricante constituye aproximadamente, el 90% del volumen total y el paquete de aditivos el 10%.

### 1.2.1 Aceite base obtenido de la refinación del petróleo

El aceite de lubricación se hace de la porción más viscosa de un petróleo crudo que ha sido sometido a un proceso de destilación fraccionada. Existen diversos tipos de crudos: parafínicos, olefínicos, acetilénicos, diolefínicos, aromáticos, nafténicos, naftalina, antraceno, fenoles y pesados, pero los tres principales tipos son: crudo parafínico, crudo nafténico y crudos pesados.

De todas formas, su composición química no siempre es igual y puede hablarse de tantas clases como campos petrolíferos, en función de las sustancias encontradas en los mismos se los ha dividido en 3 grandes grupos normalmente aceptados: crudos de base parafínicos (hidrocarburo de cadena lineal o ramificada), tienen excelentes cualidades como lubricantes, siendo su principal cualidad su viscosidad estable, que varía relativamente poco con el aumento de temperatura; crudos de base nafténicos (cicloparafinas) de malas cualidades de engrase, se utilizan también para obtener los aceites comerciales los cuales con aditivos apropiados se mejoran sus cualidades lubricantes, finalmente tenemos los crudos de base mixta o intermedia. En todos los casos nos podemos encontrar también con la presencia de compuestos aromáticos.

| PARAFÍNICOS | NAFTÉNICOS | AROMÁTICOS |
|---|---|---|
| Baja densidad. | Elevada densidad. | Densidad muy alta. |
| Punto de congelación alto: desparafinado: depresores punto de congelación. | Punto de congelación muy bajo, ausencia de punto de niebla. | Punto de congelación muy bajo. |
| Índice de viscosidad alto. | Bajo índice de viscosidad. | Índice de viscosidad muy bajo/negativo. |
| Volatilidad baja. | Volatilidad superior. | Gran volatilidad. |
| Carbono Conradson medio de aspecto granuloso. | Carbono Conradson bajo de aspecto pulverulento. | Conradson elevado. |
| Oxidación retardada (con período de inducción) con formación de ácidos volátiles más o menos corrosivos. | Oxidación sin período de inducción; menor acción corrosiva pero formación de precipitado. | Gran oxidabilidad y precipitación de insolubles. |
| Sin poder disolvente frente a sustancias orgánicas procedentes de la degradación del aceite. | Poder disolvente frente a los insolubles. | Alto poder disolvente. |
| Punto de anilina elevado. | Punto de anilina bajo. | Punto de anilina muy bajo. |

Tabla 1.1: Tipos de hidrocarburos. Fuente: TORMOS, B. Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España. Editorial Reverté, 2003. Pg.49

Los aceites de lubricación se encuentran en la fracción de temperaturas superiores a 400ºC y posteriormente se bombean a otra torre de fraccionamiento donde se someten a destilación al vacío para separarlos del asfalto, y realizar sucesivamente los procesos de des aromatización, des parafinado e hidrogenación o des aromatización, hidrogenación y des parafinado hasta obtener la base lubricante hidrogenada de origen mineral, que, mezclada con un paquete de aditivos apropiados, conduce al producto final o aceite lubricante terminado de origen mineral. La composición de la base lubricante depende del crudo original y del proceso de refinado seguido para su obtención.

### 1.2.2 Aceites sintéticos

A diferencia del aceite lubricante de origen mineral, cuyos componentes deseados e indeseados son inherentes al origen geográfico y geológico del petróleo crudo, el aceite lubricante sintético está hecho por la combinación de compuestos químicos de baja masa molar para producir un producto terminado con propiedades planificadas y predecibles, es decir, un aceite lubricante sintético es un producto diseñado en el cual cada fase de su construcción molecular está concebida para producir lo que se denomina un lubricante ideal. Esta planificación puede envolver polimerización de alquenos (olefinas) hasta obtener masas molares apropiadas. La mayoría de los aceites lubricantes sintéticos son del tipo éster de bajo coste y un paquete de aditivos. Estos lubricantes tienen índices de viscosidad mucho más altos que los lubricantes a base de materia prima mineral y cuentan con puntos de fluidez considerablemente más bajos. Estas características los convierten en componentes sumamente valiosos para mezclas utilizados en la fabricación de aceites de servicio extremo para usar a temperaturas altas o bajas. La principal desventaja de estos lubricantes sintéticos es su precio demasiado alto y sus limitadas exigencias.

### 1.2.3 Aceites base reciclados

Durante la crisis del petróleo en la década de los 70, varios proceso fueron desarrollados para obtener aceite base a partir del reciclado del aceite usado, algunas plantas fueron puestas en marcha con muy malos resultados siendo los principales los altos costos de recolección y los sofisticados procesos de refinado.

Los aceites reciclados pueden sustituir satisfactoriamente los aceites base directamente derivados del petróleo con el correcto proceso de tratamiento que elimina todos sus contaminantes. De hecho, los aceites reciclados poseen características superiores frente a la oxidación que los aceites vírgenes ya que los compuestos más fácilmente oxidables ya han reaccionado durante su uso primario y son eliminados en el proceso de reciclado.[3]

## 1.3 Aditivos lubricantes

### 1.3.1 Concepto

Aquellos compuestos químicos destinados a mejorar las propiedades naturales de un lubricante, y, conferirle otras que no poseen y que son necesarias para cumplir su cometido.

Propiedades generales de los aditivos:

Los aditivos se incorporan a los aceites en muy diversas proporciones. Los modernos lubricantes, y en particular, los aceites de motor, contienen cantidades muy importantes de aditivos. Un aceite actual de alta calidad puede tener hasta un 20% de contenido de aditivos. Cada aditivo tiene una o varias misiones que cumplir, clasificándose al respecto como uni o multifuncionales.

Los aditivos persiguen los siguientes objetivos:

- Limitar el deterioro del lubricante a causa de fenómenos químicos ocasionados por razón de su entorno o actividad.
- Proteger la superficie lubricada de la agresión de ciertos contaminantes.
- Mejorar las propiedades físico-químicas del lubricante o proporcionarle otras nuevas.

[3] TORMOS, B. Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España. Editorial Reverté, 2003. Pg 55.

### 1.3.2 Clasificación de aditivos

#### 1.3.2.1 Actuación sobre propiedades físicas (viscosidad, congelación)

- **Mejoradores del índice de viscosidad**

La acción de estos aditivos sobre el aceite se traduce en: un espesamiento general del aceite más pronunciado a temperaturas elevadas que se traduce en un aumento del índice de viscosidad (I.V.). El índice de viscosidad es calculado mediante la determinación de la viscosidad del lubricante tomada a dos distintas temperaturas, el cual indica la resistencia que tiene un lubricante a cambiar su viscosidad con la temperatura. Cuando el valor de índice de viscosidad es más alto, aumenta la resistencia del lubricante a espesarse a bajas temperaturas y a licuarse a altas.

El valor del I.V., con que se formula un lubricante, depende del uso del mismo. Los aceites para motor y los fluidos para transmisiones automáticas normalmente tienen un I.V entre 85 y 150, mientras que algunos aceites hidráulicos y aceites especiales requieren valores de I.V de 200 o más.

Los mejoradores de I.V. son productos químicos que se agregan a los aceites lubricantes con la finalidad de obtener un producto lo más cercano posible al lubricante ideal, por ejemplo, uno cuya viscosidad permanezca inalterable por los cambios de temperatura.

Todos los mejoradores del I.V. conocidos son polímeros de los siguientes tipos:

1. Poliisobutenos
2. Copolímeros de alquil metacrilat
3. Copolímeros de alquil acrilato
4. Copolímeros de vinil acetato-alquil fumaratos
5. Poliestireno alquilatado

De éstos, los tipos más usados son el 1 y 2.

- **Depresores del punto de congelación**

Cuando un aceite procedente de crudos parafínicos se le somete a temperaturas bajas, sufre un cambio notable en su estado físico consistente en una congelación total. Esto es debido al alineamiento natural de los hidrocarburos que componen la masa de aceite, provocando la cristalización a bajas temperaturas de la parafina presente en las fracciones de estos tipos de lubricantes.

Al ocurrir la cristalización, la parafina tiende a formar redes internas que absorben aceite formando masas gelatinosas de gran volumen, las cuales restringen el flujo o escurrimiento del aceite. Para obtener aceite de bajo punto de congelación hay que eliminar estos productos, y esto se obtiene en la unidad de desparafinado.

En algunos casos en que el tratamiento en desparafinado no se efectúe muy severo para ciertos aceites en función de su servicio, se les puede añadir un depresor del punto de congelación en concentraciones inferiores a 0,25%. Los depresores del punto de congelación son productos químicos que modifican el proceso de cristalización de la parafina, de tal modo que el aceite puede escurrir a baja temperatura.

Los tipos de depresores que se utilizan actualmente son polímeros de los siguientes tipos:

1. Polímeros y copolímeros de alquil metacrilato.
2. Poliacrilamidas.
3. Copolímeros de vinil carboxilato-dialquil fumaratos.
4. Poliestireno alquilatado.
5. Polímeros y copolímeros de alfa-olefinas.

#### 1.3.2.2 Actuación sobre propiedades químicas (oxidación, corrosión, herrumbre)

**- Antioxidantes**

En términos generales, la oxidación está influenciada por los siguientes parámetros: Temperatura – oxígeno – tiempo – impurezas químicas en el aceite y catalizadores.
En consecuencia, el aceite atraviesa por una serie compleja de reacciones de oxidación, existiendo varias teorías sobre este fenómeno, pero la más clara es la llamada de radicales libres, donde la auto-oxidación se forma en tres fases: iniciación, propagación y fase final, la cual se caracteriza por la combinación de radicales libres de moléculas inertes y por la transformación de hidroperóxidos en aldehídos y en ácidos. Como consecuencia de esta polimerización, el aceite se enturbia, aumenta la viscosidad y se forman lodos.

Los antioxidantes o inhibidores de oxidación, son aditivos que se emplean para reducir estos efectos nocivos de la oxidación del aceite. Estos son sustancias capaces de retardar o impedir la fijación de oxígeno libre sobre los compuestos auto oxidables, y por consiguiente la polimerización de éstos.

Los principales antioxidantes utilizados actualmente son:

1. Ditiofosfatos de zinc (también efectivo como inhibidor de corrosión).
2. Fenoles bloqueados (fenoles en los cuales el grupo hidróxilo está bloqueado estéricamente).
3. Aminas:
   N-fenil-alfa-naftilamina
   N-fenil-beta-naftilamina
   Tetrametil diamino difenil metano
   Ácido antranílico
   Fenotiacina y derivados alquilatados.

De todos los antioxidantes antes mencionados, los que más uso tienen en aceites de cárter donde se presentan las oxidaciones a alta temperatura, son los ditiofosfatos de zinc.

- **Anticorrosivos**

El término de «inhibidor de corrosión» se aplica a los productos que protegen los metales no ferrosos, susceptibles a la corrosión, presentes en un motor o mecanismo susceptible a los ataques de contaminantes ácidos presentes en el lubricante. Por lo general, los metales no ferrosos en un motor se encuentran en los cojinetes.

Los principales tipos de inhibidores de corrosión actualmente son:

1. Ditiofosfatos metálicos, especialmente de zinc. El proceso típico de fabricación de este tipo de inhibidores involucra el calentamiento de alcohol ofrenol con pentasulfuro fósforo para formar el ácido diórgano-ditiofosfórico, el cual se neutraliza con la base metálica deseada.
2. Ditiocarbonatos metálicos, principalmente de zinc. Para su obtención se parte de aminas orgánicas, disulfuro de carbono y la base metálica.
3. Terpenos sulfurizados. Se obtiene mediante el calentamiento de azufre en presencia de terpenos, lavando posteriormente con una solución acuosa alcalina con objeto de eliminar el azufre corrosivo residual.
4. Terpenos fosfosulfurizados. Estos inhibidores de la corrosión se obtienen mediante el calentamiento de pentasulfuro de fósforo con un terpeno.

De los cuatro tipos de inhibidores de la corrosión, los de mayor uso comercial son los ditiofosfatos de zinc (dialquil diaril ditiofosfato de zinc).

- **Antiherrumbre**

El término antiherrumbre se usa para designar a los productos que protegen las superficies ferrosas contra la formación de óxido. En algunos sistemas de lubricación, el aceite utilizado debe soportar la presencia de agua, libre y/o disuelta en el mismo.

Dicha agua procedente en la mayoría de los casos de condensación, conduce a la formación de herrumbre en las superficies de hierro o acero de los sistemas que contienen el aceite. Lo mismo sucede en el interior de cárters o alojamientos para el aceite de engranajes, compresores, motores de explosión, etc.

Si una película de aceite permanece sobre las superficies férreas, se evita su herrumbre incorporando al aceite aditivos con una especial atracción polar hacia dichas superficies. Se consigue la formación de una película muy tenaz que actúa de barrera contra la humedad.

Los aditivos anti-herrumbre son compuestos polares que desplazan la humedad que puede estar presente sobre las superficies metálicas, y forman la película protectora antes mencionada, gracias a fenómenos de absorción que hacen que sus moléculas queden fuertemente ligadas al metal, separándose del aceite. Se emplean como aditivos inhibidores de la herrumbre compuestos tales como sulfoncitos, aminas, ácidos grasos, fosfatos y ésteres.

### 1.3.2.3 Actuación sobre propiedades físico-químicas

- **Detergentes**

Aquellos productos capaces de evitar o reducir la formación de depósitos carbonosos en las ranuras de los motores de combustión interna cuando operan a altas temperaturas, así como la acumulación de depósitos en faldas de pistón, guías y vástagos de válvulas.

Como aditivos antiácidos, alcalinos o superbásicos (que de todas estas formas se denominan), se entienden aquellos productos generalmente del tipo detergente, que poseen una reserva alcalina capaz de neutralizar los ácidos que se originan de la combustión del azufre presente en el combustible. Dicha alcalinidad se expresa en T.B.N. (Total Base Number).

Los aceites de motor se ven expuestos a operar bajo la acción de elevadas temperaturas, que tienden a originar cambios en la naturaleza química del aceite, dando lugar a productos de oxidación. Estos productos, insolubles en el aceite, aparecen como diminutas partículas y llegan a aglomerarse o a depositarse en las partes internas del motor. Las primeras se sedimentan en el cárter como lodos con aspecto alquitranoso, y las otras se depositan en la camisa del pistón formando lacas y barnices. Sin la ayuda de un aceite detergente apropiado, el aceite no puede desprender o mantener en suspensión los depósitos que se producen.

Los aditivos detergentes más importantes son:

a) Jabones de ácidos grasas superiores: Tales como palmitatos, estearatos, etc. Estos productos que fueron los primeros, dejaron de utilizarse debido a que actuaban como promotores de oxidación de los propios aceites.

b) Sulfonatos: Estos pueden, a su vez, clasificarse en sulfonatos naturales y sintéticos.

c) Fosfatos y tiofosfatos.

d) Fenatos: Estos son posiblemente los más utilizados actualmente, por ser los que dan mejores resultados a temperaturas muy elevadas (motores diesel sobrealimentados).

Los de mayor aceptación son los sulfo-fenatos de Ca y Ba del octil-fenol.

e) Alquil-salicilatos: El más conocido es el octil-salicilato-básico de calcio. Tanto los fenoles como las alquil-salicilatos poseen muy buenas propiedades anti-oxidantes, por lo que en cierto modo se les podría considerar como aditivos multifuncionales.

- **Dispersantes**

Aquellos aditivos capaces de dispersar los «lodos húmedos» originados en el funcionamiento frío del motor. Suelen estar constituidos por una mezcla compleja de productos no quemados de la combustión, carbón, óxidos de plomo y agua. Los dispersantes recubren a cada partícula de una película por medio de fuerzas polares, que repelen eléctricamente a las otras partículas, evitando se aglomeren, o sea, que actúan como acción complementaria de los detergentes que ejercen cierta acción dispersante sobre los lodos del cárter, pero solamente operan cuando las temperaturas del motor son las normales. Para bajas temperaturas del motor, la investigación se orientó hacia el desarrollo de compuestos orgánicos libres del metal, los cuales se denominaron originalmente: detergentes sin cenizas o dispersantes.

Actualmente, se conocen seis tipos principales de dispersantes, atendiendo a su estructura química:

1. Copolímeros
2. Polímeros hidrocarbonados, tal es el caso de los poliisobutilenos.
3. Las alquinil-sicinamidas de alto peso molecular.
4. Aminas y poliamidas de alto peso molecular.
5. Esteres poliésteres de alto peso molecular, como dibenzonato de polietilen glicol, poliestearato de polivinilo y boratos de polisacáridos.
6. Sales amínicas de alto peso molecular de ácidos orgánicos, tales como ácido sulfónico de petróleo, ácidos organofosforosos y mezclas de ambos.

- **Aditivos multifuncionales**

Son aquellos que en una sola molécula encierran propiedades múltiples: Detergente/ antioxidante/ dispersante/ mejorador del índice de viscosidad, etc.

- **Aditivos de extrema presión**

Como aditivos de extrema presión o E.P. se denominan aquellos productos químicos los cuales disminuyen el desgate de las superficies metálicas de deslizamiento, favoreciendo la adherencia del lubricante a ellas, con las que reaccionan químicamente y forman capas mono y poli moleculares que se reconstruyen constantemente. De esta manera evitan el contacto destructivo metal-metal.

Esencialmente, todos los aditivos E.P. deberán contener uno o más elementos o funciones, tales como azufre, cloro, fósforo o sales carboxílicas, capaces de reaccionar químicamente con la superficie del metal bajo condiciones de lubricación límite. Cuando las condiciones de operación no son tan severas, cual es el caso de los aceites de cárter, el agente E.P. más utilizado es el ditiofosfato de zinc, y a que su propiedad E.P. une otras muy valiosas como: antioxidantes, anticorrosivos, etc.
Estos aditivos no siempre están exentos de producir ligeras corrosiones debido a la acción química que ejercen.

- **Antiespumantes**

Cuando un aceite está sometido a una acción de batido o agitación violenta, en presencia de aire, éste queda ocluido en la masa de aquél en forma de burbujas de distinto tamaño que tienden a subir a la superficie, formando espuma más o menos persistente. Las burbujas de mayor tamaño se rompen con más facilidad que las pequeñas, jugando un importante papel en estos procesos de rotura la tensión superficial del aceite. Estas burbujas o espumas permanentes pueden obstaculizar muy seriamente el abastecimiento de aceite por conductos no demasiado amplios o por lugares por donde el caudal ha de ser rigurosamente constante y exacto.

La tendencia en la formación de espuma viene incrementada por:

Temperaturas bajas- viscosidad alta- presencia de agua- velocidades de agitación elevadas y tensiones superficiales altas. Los problemas que crea la espuma pueden eliminarse adicionando a los aceites aditivos antiespumantes que disminuyen el valor

de la tensión superficial del aceite (adelgazan la envoltura de la burbuja de aire hasta su rotura). El agente antiespumante más efectivo y de uso más generalizado es cierto tipo de aceites de silicona, constituido por polímeros de silicona que se adiciona en el aceite en proporción inferior al 0,001%.

## 1.4 Propiedades del aceite

Es necesario conocer las características y propiedades de los aceites para poder determinar cuál o cuáles de ellos deben utilizarse para que en un determinado caso cumplan satisfactoriamente la misión o misiones encomendadas.

Estas propiedades y características proceden principalmente de su composición y del proceso de elaboración que han sufrido.[4]

Siendo las principales:

- **Viscosidad**

La propiedad física más importante de un lubricante líquido es su viscosidad. La viscosidad de un líquido puede definirse como su resistencia a fluir y como una medida del rozamiento entre sus moléculas. Como la resistencia a fluir depende de las fuerzas intermoleculares que se desarrollan en el interior del líquido, es de éstas de quien dependerá finalmente la resistencia mecánica observada cuando se hace deslizar una capa de líquido sobre otra capa adyacente del mismo.

Por ello se comprende fácilmente que la viscosidad de un fluido tan complejo como un aceite mineral puede verse modificada considerablemente, de una parte, por las variaciones internas de su composición y estructura, determinadas por el origen del petróleo crudo y su proceso de refino, y por otra por las condiciones externas tales como la temperatura y la presión, que pueden influir sobre las fuerzas moleculares.
La temperatura y la presión influyen de tal modo en la viscosidad de un aceite lubricantes que puede afirmarse que la totalidad de ellos se fluidifican ante un ataque

[4] BENLLOCH MARÍA, JOSE. Lubricantes y lubricación aplicada/ Ediciones Ceac. Barcelona. 2. Edición. 2005. Pg 43

térmico y se espesan o solidifican ante un aumento de la presión o un descenso de la temperatura.

- **Índice de viscosidad (I.V)**

La viscosidad de los líquidos disminuye al aumentar su temperatura. En la práctica de la lubricación interesa siempre que la viscosidad del lubricante disminuya lo menos posible al elevarse su temperatura. La norma que lo describe es la ASTM-D-2270. Los valores típicos de índice de viscosidad son 95 (para los aceites “normales” o “monogrado”) y de 125 a 150 (para los “multigrado”). Cuanto más alto es este índice, menos varía la viscosidad con la temperatura.

Para cuantificar esa característica se ideó un sistema arbitrario denominado índice de viscosidad que fue ideado en 1929 por Dean y Davis. El método consiste en comparar el aceite problema con dos aceites, uno de índice de viscosidad 0 y otro con un índice de viscosidad de 100. (El primero era un aceite nafténico y el segundo un aceite parafínico de esa época). Lo que se hace actualmente en el laboratorio es tomar las viscosidad del aceite a 40º C y a 100º C y luego se ingresan a un manual de ASTM los datos obtenidos, y en primer término se busca la viscosidad determinada de 100º C y luego se busca la de 40º C y la relación entre ellas es el famoso índice de Viscosidad.

- **Untuosidad**

Se entiende por untuosidad la adherencia del aceite a las superficies metálicas a lubricar, debida, en gran medida, a las moléculas polares que contiene el aceite, las cuales por razón de su estructura se fijan fuertemente a dichas superficies. Da la coincidencia de que aquellos componentes de la composición química y configuración molecular adecuada para dar gran untuosidad a un lubricante, en la inmensa mayoría de los casos, son a la vez de bajísima resistencia a la oxidación, por lo que se elimina durante el proceso de refino industrial. Por ser la untuosidad de un lubricante una propiedad siempre de interés, de cara al desgaste y rendimiento y el refino una exigencia ineludible, se hace indispensable volverle a dar al aceite

lubricante refinado el poder de untuosidad perdido e incluso, si es preciso, aumentarle el que poseía antes del refino.

Esto se logra mediante la adición de compuestos escogidos que influyan favorablemente en dicha característica, sin perjudicar a ninguna de las otras que el lubricante debe reunir. La untuosidad es una propiedad de acción física, la cual, aunque siempre es de interés, tiene su máximo exponente en la lubricación de motores de vehículos y de cojinetes sometidos a frecuentes paros. La untuosidad es, juntamente con la viscosidad, la propiedad que más directamente expresa el valor lubricante de un aceite mineral.

- **Densidad**

Es la relación existente entre el peso de un volumen determinado de una sustancia y el del agua destilada a 4º C. La densidad así definida coincide en valor numérico con el peso específico. En los aceites lubricantes, esta relación es inferior a la unidad (0.855 a 0.934) lo cual nos indica que son menos pesados que el agua, razón por la que flotan en ella. La densidad de los aceites se da a la temperatura de 15.6º C y en casos excepcionales a 20º C.

- **Puntos de fluidez y congelación**

El punto de fluidez es aquella constante que indica cuál es la mínima temperatura a la que fluye el aceite por los circuitos de engrase. Para su determinación se coge un tubo de ensayo y se vierte en su interior una cantidad de aceite, sometiéndolo a bajas temperaturas; éste se irá espesando hasta que llegará un momento en el que, inclinado el tubo, el aceite no fluirá. La temperatura del aceite en este momento determina el punto de fluidez.

Si se continúa enfriando, casi inmediatamente (5º F menos) se produce la congelación total, punto este que se conoce como congelación (no fluidez del aceite). Los puntos más bajos de fluidez y congelación los presentan los aceites nafténicos, siguiendo a continuación los mixtos y parafínicos y dentro de cada uno de ellos,

cuanto más fluidos (menor grado SAE) mayor punto de fluidez, o sea, a temperaturas más bajas.

- **Punto de inflamación**

El punto de inflamación de un aceite es la temperatura mínima a la cual el aceite desprende la cantidad suficiente de vapores para inflamarse, momentáneamente, al serle aplicada una llama o chispa. Se comprenderá que el punto de inflamación tiene una importancia vital en aquellos mecanismos donde el aceite trabaja a elevadas temperaturas, por ejemplo, motores de combustión interna en los que se requieren puntos de inflamación superiores a 250º C. En cambio, para lugares donde la temperatura sea la ambiental o ligeramente superior, esta constante no tiene interés alguno, ya que todos los aceites superan en mucho a dicha temperatura.

- **Punto de combustión**

Si se prosigue calentando el aceite, al llegar a una temperatura de 20 o 30º C superior al punto de inflamación, los vapores desprendidos ya no arden momentáneamente, sino de un modo continuado; ese fenómeno se conoce con el nombre de punto de combustión.

- **Volatilidad**

La transformación de un líquido en vapor o en gas se denomina volatilidad o evaporación. Un aceite con elementos volátiles tendrá un bajo punto de inflamación, debido a las emanaciones de vapores, aunque puede darse el caso de que el de combustión sea relativamente elevado. El hecho de que un aceite sea volátil puede ser debido a que está mal refinado o contaminado de disolventes o combustibles (benzol, acetona, gasóleo, gasolina, etc.) o bien que está compuesto de mezclas de aceites de distintas naturalezas o viscosidades.

La volatilidad, en casos de temperaturas elevadas, es causa de pérdidas excesivas de aceites y origina depósitos perjudiciales de residuos carbonosos. Si bien los aceites de base parafínica son los menos volátiles, no es menos cierto que los nafténicos y mixtos, antaño tan desfavorecidos en este aspecto con respecto a aquéllos, modernamente y gracias a la técnica del refino y de los aditivos se consiguen nafténicos y mixtos con cualidades muy semejantes a los de base parafínica.

- **Coloración**

Estas características carecen de valor como criterio de evaluación de los aceites terminados, ya que pueden ser modificados o enmascarados por los aditivos. Sin embargo hace unos años los usuarios daban una gran importancia al color de los aceites, como indicativo de un mejor o peor grado de refino, y por otro lado la fluorescencia se tomaba como indicativa del origen del crudo. Así la fluorescencia azulada caracterizaba a los aceites nafténicos y la fluorescencia verde a los parafínicos. En los aceites en servicio, un cambio de color puede alertar sobre una posible alteración en su integridad, deterioro, contaminación, etc.

- **Acidez**

Acidez es el porcentaje de ácidos libres que un aceite contiene. Dichos ácidos siempre son perjudiciales, ya que, además de sus perjudiciales acciones sobre el lubricante, atacan a los metales con los que están en contacto. Pueden provenir del mismo crudo, no eliminados completamente en la purificación o bien de este mismo proceso, cuando el ácido sulfúrico empleado en el tratamiento no ha sido debidamente neutralizado. No es aceptable un aceite que arroje un porcentaje de acidez superior al 0.025%.

Una de las maneras de definir la acidez o alcalinidad de una materia es por la escala de los pH, que va numerada desde 0 hasta 14.14; en esta escala hay un punto intermedio de 7.07 que corresponde al agua destilada, o sea, al neutro. De este punto neutro hacia abajo se encuentran los ácidos (a menor número de pH, más

concentración ácida) y los pH superiores indican los ácidos alcalinos (a mayor número de pH, más elevada concentración).

- **Índice de acidez**

El parámetro utilizado para la medida de la acidez es el índice de acidez total, comúnmente expresado como TAN (total acid number), siendo la cantidad de base expresada en miligramos de KOH necesaria para neutralizar todos los constituyentes presentes en un gramo de aceite. En los motores de combustión interna, se monotoriza la reserva alcalina de los aceites, la cual se utiliza para neutralizar los ácidos procedentes de la combustión y de la oxidación del aceite a temperaturas elevadas. El parámetro utilizado es el TBN (Total Base Number) o índice de basicidad total.

- **Porcentaje en cenizas**

Las impurezas (cenizas y azufre) siempre son indeseables en los aceites. En la mayor parte de los casos proceden de los álcalis utilizados en la refinación y que no han sido después completamente eliminados, o bien provienen de desprendimientos de impurezas y costras de los conductos por los que atraviesa el aceite durante todo el ciclo. Los aceites con porcentajes de cenizas superiores a un 0.02% no son recomendables para lugares finamente ajustados y revolucionados. Un exceso de ceniza dejará depósitos de ceniza que pueden reducir la eficiencia y potencia del motor.

- **Porcentaje en carbón**

Este ensayo se realiza para averiguar la tendencia a la formación de carbón en los aceites que han de trabajar en lugares que, por su alta temperatura, se queman.
Residuo carbonoso: Indica la tendencia a la coquización del aceite. Aumenta con la viscosidad. A igual viscosidad, los aceites nafténicos dan menos residuo que los parafínicos.

## 1.5 Clasificación, especificaciones y normativas

Existen distintos tipos de clasificaciones en los cuales se agrupan los aceites con el fin de unificar el lenguaje y facilitar la descripción de los mismos. En el momento de seleccionar un lubricante para motor hay que tener en cuenta las clasificaciones fundamentales.

Clasificación de los aceites lubricantes para motor

- SAE (Society of Automotive Engineers) - Sociedad de Ingenieros Automotrices
- API (American Petroleum Institute) – Instituto Americano de Petróleo
- Otras clasificaciones de fabricantes, etc.

### 1.5.1 SAE- Grado de viscosidad del aceite

La Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) clasifica los aceites según su grado de viscosidad. La viscosidad es la resistencia que ofrece un líquido (o gas) a fluir y depende enormemente de la temperatura. En esta clasificación los números bajos indican baja viscosidad de aceite o bien aceites “delgados” como comúnmente se les conoce y números altos indican lo opuesto.

En cuanto a grado de viscosidad se refiere, existen dos tipos de aceites:

Monogrados: Diseñados para trabajar a una temperatura específica o en un rango muy cerrado de temperatura. En el mercado se pueden encontrar aceites monogrado SAE 10, SAE 30, SAE 40, entre otros.

Multigrados: Diseñados para trabajar en un rango más amplio de temperaturas, en donde a bajas temperaturas se comportan como un monogrado de baja viscosidad (SAE 10 por ejemplo) y como un monogrado de alta viscosidad a altas temperaturas (SAE 40 por ejemplo). Los aceites multigrados están formados por un aceite base de baja viscosidad así como de aditivos (polímeros) que evitan que el aceite pierda

viscosidad al calentarse. Esto permite a los aceites multigrados trabajar en un rango muy amplio de temperatura manteniendo las propiedades necesarias para proteger el motor. En el mercado podemos encontrar aceites multigrados SAE 5W-30, SAE 15W-40, SAE 20W-50, entre otros. Aquellos aceites que cumplen los requerimientos de viscosidad a bajas temperaturas (bajo $0^0$ C) se les designa con la letra "W" que indica invierno (Winter).

En la siguiente tabla, tenemos los aceites para motor que están agrupados en grados de viscosidad de acuerdo con la clasificación establecida por la SAE. Esta clasificación permite establecer con claridad y sencillez la viscosidad de los aceites, representando cada número SAE un rango de viscosidad expresada en cSt (centi-Stokes) y medida a $100^0$ C, y también a bajas temperaturas (por debajo de $0^0$ C) para los grados W (Winter).

En esta clasificación no interviene ninguna consideración de calidad, composición química o aditivación, sino que se basa exclusivamente en la viscosidad.

| **CLASIFICACION DE VISCOSIDADES EN ACEITES PARA MOTOR SAE J 300 DIC. 99** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | GRADO VISCOSIDAD SAE | ºC C.C.S. VISCOSIDAD cP Max. | ºC BOMBEO VISCOSIDAD cP Max. | VISCOSIDAD CINEMATICA cSt a 100 ºC | HT/HS AT/AC VISC. cP a 150 ºC |
| VISCOSIDAD A BAJA TEMPERATURA | 0W | 6200 a -35 | 60000 a -40 | 3.8 -- | -- |
| | 5W | 6600 a -30 | 60000 a -35 | 3.8 -- | -- |
| | 10W | 7000 a -25 | 60000 a -30 | 4.1 -- | -- |
| | 15W | 7000 a -20 | 60000 a -25 | 5.6 -- | -- |
| | 20W | 9500 a -15 | 60000 a -20 | 5.6 -- | -- |
| | 25W | 13000 a -10 | 60000 a -15 | 9.3 -- | -- |
| VISCOSIDAD A ALTA TEMPERATURA | 20 | -- | -- | 5.6 a 9.3 | 2.6 |
| | 30 | -- | -- | 9.3 a 12.5 | 2.9 |
| | 40 | -- | -- | 12.5 a 16.3 | 2.9* |
| | 40 | -- | -- | 12.5 a 16.3 | 3.7** |
| | 50 | -- | -- | 16.3 a 21.9 | 3.7 |
| | 60 | -- | -- | 21.9 a 26.1 | 3.7 |
| Ref.: (*) Para los grados 0W-40, 5W-40 y 10W-40<br>(**)Para los grados 15W-40, 20W-40, 25W-40 y 40 | | | | | |

Tabla 1.2: Viscosidades en aceites para motor.

Fuente: http://www.cal.org.ar/system/contenido.php?id_cat=8 Acceso 12 de Febrero 2012

### 1.5.2 API – Categoría de servicio

Los aceites de motor son clasificados por el Instituto Americano del Petróleo (API) para definir el tipo del servicio para el que son aptos. Esta clasificación aparece en el envase de todos los aceites y consta de 2 letras: La primera letra determina el tipo de combustible del motor para el que fue diseñado el aceite, utilizándose una "S" (chispa, spark) para motores a gasolina y una "C" (compresión, compression) para motores diesel. La segunda letra determina la calidad del aceite, donde mayor es la letra (en el alfabeto) mejor es la calidad del aceite. Actualmente en motores a gasolina se utilizan los de clasificación SJ mientras que en motores diesel los CH.
Los aceites de mayor calidad o más recientes como el SJ pueden ser utilizados en vehículos viejos con especificaciones de aceite inferiores, pero por ningún motivo se deberá utilizar un aceite de calidad inferior al especificado por el fabricante del motor.

La clasificación API es una clasificación abierta. Esto significa que se van definiendo nuevos niveles de desempeño a medida que se requieren mejores lubricantes para los nuevos diseños de motores. En general, cuando se define un nuevo nivel el API designa como obsoletos algunos de los anteriores.

Los niveles definidos por la clasificación API se muestran en las tablas siguientes:

# CLASIFICACION API PARA MOTORES NAFTEROS

| NIVEL API | CARACTERÍSTICAS |
|---|---|
| SA | Aceite sin aditivos, utilizados antes de la década del 30. Obsoleta. |
| SB (1930) | Mínima protección antioxidante, anticorrosiva y antidesgaste. Obsoleta. |
| SC (1964) | Incorpora el control de depósitos a baja y alta temperatura. Obsoleta. |
| SD (1968) | Mayor protección que el nivel anterior respecto de la formación de depósitos, desgaste y corrosión. Obsoleta. |
| SE (1972) | Mayor protección contra la oxidación del aceite, depósitos de alta temperatura, herrumbre y corrosión. Obsoleta. |
| SF (1980) | Mayor estabilidad a la oxidación y características antidesgaste. Obsoleta. |
| SG (1989) | Mejor control de la formación de depósitos, oxidación del aceite y desgaste. Obsoleta. |
| SH (1993) | Mejor protección respecto del nivel SG, fundamentalmente en el control de depósitos, oxidación del aceite, desgaste y corrosión. Estos aceites han sido aprobados siguiendo el "Código de Práctica" del CMA (Chemical Manufacturers Association). |
| SJ (1996) | Mejor control de la formación de depósitos, mejor fluidez a bajas temperaturas, mayor protección del motor a alto número de vueltas, menor consumo de combustible. |
| SL (2001) | Definida este año para ser mandataria en el 2002.Desarrollada para aceites con economía de combustibles, provee superior resistencia antioxidante a las altas temperaturas y al desgaste. Suple algunas falencias de SJ indicadas por fabricantes europeos (ACEA A2 y A3) |
| SM 2004 | API SM fue adoptada para definir a los aceites destinados a los más modernos motores nafteros y también a los de generaciones anteriores, en aplicaciones típicas de automóviles para pasajeros. Vehículos deportivos de todo terreno-SUV, vans y camionetas, operando bajo las recomendaciones de mantenimiento de los fabricantes. API SM es superior a API SL en aspectos tales como: Economía de Combustible, Bombeabilidad del aceite usado, Control del espesamiento debido a la Oxidación y la Nitración y los depósitos a alta temperatura, y en especial en cuanto al consumo de aceite y protección de los Sistemas de Control de emisiones. |

Tabla 1.3: Clasificación API para motores nafteros.

Fuente: http://www.cal.org.ar/system/contenido.php?id_cat=8 Acceso 12 de Febrero 2012

# CLASIFICACION API PARA MOTORES DIESEL

| NIVEL API | CARACTERÍSTICAS |
|---|---|
| CA (1940) | Motores de aspiración natural. Protección mínima contra la corrosión, desgaste y depósitos. Obsoleta. |
| CB (1949) | Motores de aspiración natural. Mejor control sobre los depósitos y el desgaste. Obsoleta. |
| CC (1961) | Motores de aspiración natural, turbo o sobrealimentados. Mayor control sobre la formación de depósitos a alta temperatura y corrosión en cojinetes. Obsoleta. |
| CD (1955) | Motores de aspiración natural, turbo o sobrealimentados que requieren un mayor y efectivo control de los depósitos y el desgaste. Serie 3 clásica. Obsoleta. |
| CD-II(1955) | Motores diesel de dos tiempos que requieren un efectivo control del desgaste y los depósitos (estos aceites cumplen todos los requerimientos del nivel CD). Obsoleta. |
| CE (1983) | Motores turbo o sobrealimentados para servicio severo. Control sobre consumo y espesamiento del aceite, depósitos y desgaste. Dirigida a multigrados. Obsoleta. |
| CF-4(1990) | Motores turbo o sobrealimentados para servicio severo, especialmente en carretera. Reemplaza al nivel CE con mejor control del consumo de aceite y formación de depósitos en los pistones. |
| CF (1994) | Motores de aspiración natural, turbo o sobrealimentados, que pueden usar gasoil con diferentes contenidos de azufre. Efectivo control de la formación de depósitos en los pistones, desgaste y corrosión en cojinetes. Reemplaza al nivel CD. No reemplaza al nivel CE. |
| CF-2(1994) | Motores diesel de dos tiempos que requieren un efectivo control del desgaste de aros y cilindros y de la formación de depósitos. Reemplaza al nivel CD-II. No necesariamente cumple los requerimientos de los niveles CF o CF-4. |
| CG-4(1994) | Motores diesel para servicio severo, tanto en carreteras (gasoil con bajo contenido de azufre: 0,05% p.) como fuera de ellas (gasoil con contenido de azufre máximo de 0,5% p.). Efectivo control de los depósitos de alta temperatura, desgaste, corrosión, espuma, oxidación del aceite y acumulación de hollín. Diseñado para cumplir con las normas sobre emisiones de 1994. También se puede emplear cuando se requieran aceites de nivel CD, CE y algunos casos de CF-4. Se suele acompañar con CF-4 y normas Mercedes Benz. |
| CH-4(1998) | Motores diesel para servicio severo, que emplean gas oil con alto o bajo contenido de azufre, y que deben cumplir con estrictas normas de control de emisiones (USA 1998). Ha mejorado el control de depósitos en modernos pistones de dos piezas (excelente nivel dispersante), del desgaste y la resistencia a la oxidación. Sobresaliente control del hollín que producen los sistemas de inyección de alta presión y control electrónico. |
| C I-4 | Comparada con CH-4, estos aceites brindan una mayor protección contra la oxidación, herrumbre, reducción del desgaste y mejora la estabilidad de la viscosidad debido a un mayor control del hollín formado durante el uso del aceite, -mejorando así el consumo de aceite-. |
| CI-4- "Plus" 2004 | Surgió como resultado de cierta insatisfacción por parte de fabricantes como Caterpillar, Mack y Cummins en lo referente a requisitos de Control del espesamiento provocado por el hollín y de la caída de la viscosidad debido al alto esfuerzo mecánico sobre los aditivos mejoradores de viscosidad. |
| CJ-4 (2006) | Se introdujeron en el año 2006. Están destinados a motores de alta velocidad, de cuatro tiempos diseñados para cumplir con las normas de emisión de gases de escape en autopista para el modelo del año 2007. Los aceites CJ-4 están compuestos para ser usados en todas las aplicaciones con combustibles diesel con rango de contenido de azufre hasta 500 ppm (0.05% en peso). |

Tabla 1.4: Clasificación API para motores diesel

Fuente: http://www.cal.org.ar/system/contenido.php?id_cat=8 Acceso 12 de Febrero 2012

### 1.5.3 Círculo dona

Para facilitar a los clientes la selección adecuada de los aceites, API desarrolló el símbolo del "círculo" (dona). En la mitad superior de este círculo indica las categorías de servicio API, en el centro del mismo indica los grados de viscosidad SAE y, si es pertinente, en la mitad inferior del círculo la característica de ahorro de energía del aceite. Aunque cualquier proveedor de aceite puede utilizar las categorías de servicio API para indicar el nivel de rendimiento de cualquiera de sus aceites comerciales, solo las compañías certificadas con licencia pueden imprimir el círculo API (la dona) en sus etiquetas. Los que usen este símbolo garantizan que sus aceites satisfacen todas las normas técnicas de rendimiento indicadas.[5]

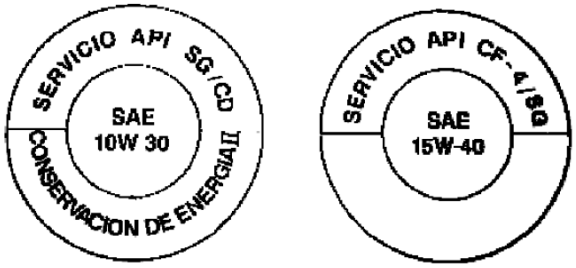



Figura 1.1: Círculo dona. Fuente: Caterpillar, Folleto de El aceite lubricante y su motor. Pág.9

[5] Caterpillar, Folleto de El aceite lubricante y su motor. Pg. 8

## 1.6 Conclusiones

El capítulo presenta las características del aceite así como su función en el motor, resume los conocimientos sobre los diferentes componentes y aditivos que contiene el mismo, y las características y funciones de cada uno de estos, teniendo como fines principales reducir la fricción e impedir la acumulación de residuos para alargar la vida útil del motor.

El material presentado sirve de guía para poder analizar el cambio de las características del aceite de acuerdo al tipo de ambientes de trabajo, lo cual provee un marco de referencia para la investigación presentada en este documento.

Otro punto que contiene el capítulo es una guía para diferenciar las distintas composiciones y formulaciones de los aceites, lo que provee datos no solo en la realización de este trabajo sino también a cualquier profesional interesado en las diferencias y características de los lubricantes.

Se presenta una descripción de las normativas y especificaciones de los diferentes aceites, esto permite adaptar o modificar esta investigación para que se adapte a nuevas especificaciones o normativas con la que cumplan los productos lubricantes en el transcurso del tiempo.

# CAPITULO II

# OPERACIONES MECÁNICAS DE SEPARACIÓN

## 2.1 Sedimentación

Se denomina sedimentación a la operación consistente en separar de una suspensión un fluido claro que sobrenade y un lodo bastante denso que contenga una elevada concentración de materias sólidas. En la industria, la sedimentación de las suspensiones acuosas es un proceso continuo que se realiza en los llamados espesadores, grandes depósitos a los cuales llega, por el centro o por un lado, la suspensión o lodo diluido, y que permiten el rebose del líquido que sobrenada separándolo del lodo espeso que sale por el fondo del aparato.[6]

### 2.1.1 La sedimentación discontinua en el laboratorio

Un sólido finamente dividido se suspende en el agua que llena una probeta graduada, y se deja reposar. La velocidad decreciente de la altura de la superficie que separa el líquido claro que sobrenada, de la capa que contiene el sólido en suspensión, se denomina velocidad de sedimentación. Este ensayo en pequeña escala debe realizarse a una temperatura uniforme para evitar movimientos del fluido, o corrientes de convección causadas por las diferencias de densidad que originan los cambios de temperatura. [7]Las alturas observadas en la citada superficie de separación pueden representarse gráficamente en función del tiempo, que registra el progreso de la sedimentación en la probeta.

[6] George Granger Brown. Operaciones básicas de la Ingeniería Química, España, Editorial Marín, S.A., 2002 Pg. 117
[7] George Granger Brown. Operaciones básicas de la Ingeniería Química, España, Editorial Marín, S.A., 2002 Pg. 117

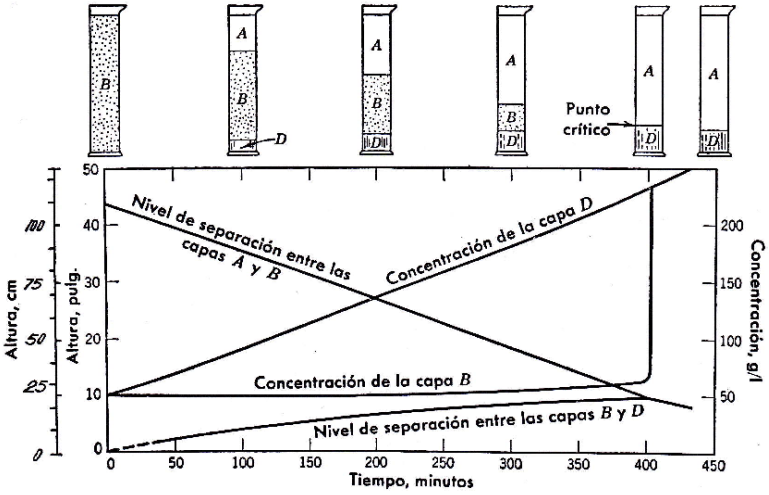



Figura 2.1: Nivel de las superficies de separación y concentraciones de las diversas capas, durante una sedimentación libre. Fuente: George Granger Brown. Operaciones básicas de la Ingeniería Química, España, Editorial Marín, S.A., 2002 Pg. 118

Al iniciarse una sedimentación discontinua, la concentración de sólidos es uniforme en toda la probeta. Muy poco después de iniciado el proceso, todas las partículas del sólido en suspensión caen en el seno del fluido con su velocidad máxima. Para un sólido de partículas uniformes, todas sus partículas caen con una velocidad aproximadamente igual y puede observarse una marcada línea de separación entre el líquido claro que sobrenada (zona A) y el lodo (zona B) durante todo el desarrollo del proceso.

Pero si la suspensión contiene partículas de tamaños diferentes, incluso algunas muy finas, entonces las partículas mayores se depositarán más rápidamente, y la línea de demarcación no resultará tan clara como en el caso anterior, por lo que el líquido que sobrenada aparecerá turbio y lechoso. En cualquier caso, las partículas próximas al fondo del recipiente comienzan a amontonarse sobre el mismo formando un lodo concentrado (zona D). Puede que no aparezca una superficie de separación bien definida entre las zonas B y D, pero, en todos los casos, la cantidad de lodo concentrado aumenta durante el desarrollo de la sedimentación.

La zona B mantiene su composición constante hasta que la superficie de separación entre las zonas A y B se aproxima a la superficie de separación de las zonas B y D.
Al acercarse la superficie superior a la capa de lodo en formación sobre el fondo, aumenta la densidad y la viscosidad de la suspensión que rodea a cada partícula en

descenso y, por tanto, decrece la velocidad de sedimentación. Esta velocidad continuará disminuyendo durante un período llamado de transición, transcurrido el cual la zona de precipitación B habrá ya desaparecido y el lodo ofrecerá un aspecto uniforme de papilla concentrada (zona D). A partir de ese momento, el proceso de sedimentación solamente consiste en un lento apelmazado del sólido de la zona D. Durante este apelmazamiento del lodo puede considerarse que el líquido fluye a través de una capa porosa de permeabilidad decreciente. Finalmente, se llega a una altura mínima de la suspensión, que representa la máxima compacidad del sólido cuando está rodeado por el fluido. [8]

### 2.1.2 Aparatos

Los depósitos de sedimentación son muy utilizados en la práctica. Su modo de operar se ajusta al descrito en el caso de las probetas de laboratorio. Una vez lleno el depósito, se deja reposar el lodo durante el tiempo necesario. El material espesado puede descargarse por el fondo del depósito mediante una válvula, o la solución clarificada se decanta, bien sea bajando el extremo de un sifón flexible o por la abertura sucesiva de orificios de salida, situados en las paredes, comenzando por el más elevado. Cuando la solución decantada comienza a mostrar señales de la presencia de lodos, turbidez, o aparece el propio nivel de los mismos, se detiene la decantación.

La sedimentación continua se realiza en un cono invertido o en un depósito cilíndrico o rectangular, o en recipientes equipados con rastrillos de movimiento lento para el arrastre de los lodos espesados hacia un orificio central de descarga (figura inferior). En los grandes depósitos de hormigón, el mecanismo para hacer mover los rastrillos puede estar construido de modo que los brazos de los mismos puedan levantarse automáticamente para evitar la sobrecarga de dichos rastrillos, causada, por ejemplo, por una interrupción de la descarga; y que de nuevo desciendan a su posición normal de trabajo al cesar dicha interrupción. El producto llega por un canal de alimentación a un recipiente alimentador situado en la parte superior y central del cono o cilindro. La suspensión precipita directamente bajo el recipiente de alimentación, formando

[8] George Granger Brown. Operaciones básicas de la Ingeniería Química, España, Editorial Marín, S.A., 2002 Pg. 117

un lodo que se descarga por el fondo. El fluido claro fluye hacia los bordes del depósito y es descargado por rebose sobre el borde periférico. [9]

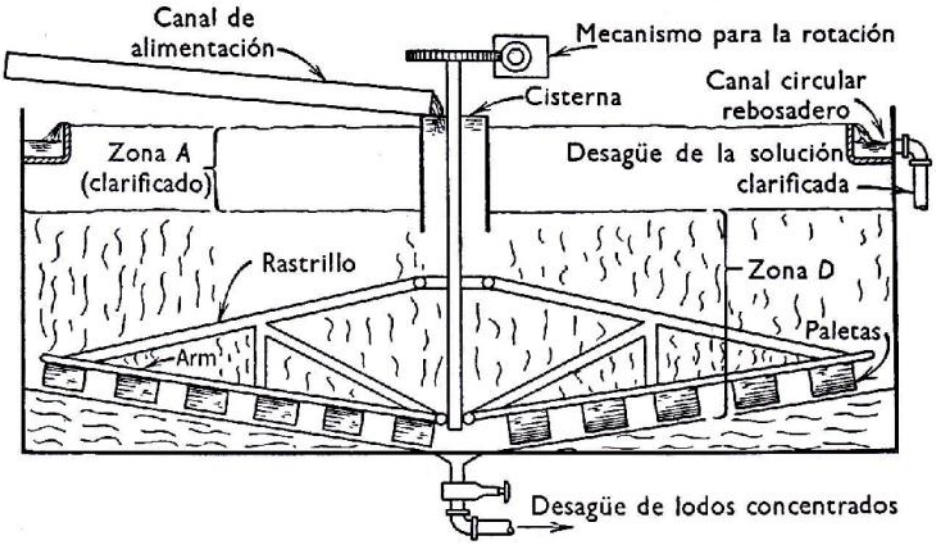



Figura 2.2: Sección esquemática de un espesador de funcionamiento continuo. Fuente: George Granger Brown. Operaciones básicas de la Ingeniería Química, España, Editorial Marín, S.A., 2002 Pg. 121

El espesador de pisos consiste en la instalación de un espesador montado directamente sobre otro, pudiendo ambos operar de modo independiente, con la misma o distinta alimentación, o también trabajar en serie. El espesador de filtro es un aparato constituido por la combinación de un espesador con un filtro.

La alimentación llega al depósito y la solución se descarga a través de un medio filtrante, o paño sumergido en la suspensión. Los cuerpos sólidos que se acumulan en el medio filtrante son descargados periódicamente mediante raspadores mecánicos, aplicados sobre el lado opuesto del filtro, por aire o agua a baja presión. Este precipitado así desprendido sedimenta al fondo, de donde es separado en forma de lodo.

[9] George Granger Brown. Operaciones básicas de la Ingeniería Química, España, Editorial Marín, S.A., 2002 Pg. 120

### 2.1.3 Sedimentación continua

El trabajo de los depósitos de sedimentación continua, o espesadores, depende de las características propias de la suspensión, como ya se ha indicado en la sedimentación discontinua. Las diferencias entre las operaciones continua y discontinua vienen indicadas por las distintas concentraciones de los sólidos a diferentes alturas en el espesador.

En un espesador continuo, tal como el representado en la figura anterior, la alimentación llega por el dispositivo central alimentador y es introducido a casi 30 a 100 cm por debajo de la superficie libre del líquido, de forma que provoque una agitación mínima. La suspensión original fluye hacia abajo y luego cambia de dirección, tomando la radial desde el centro y hacia arriba, hacia el rebosadero. Los sólidos suspendidos en el líquido tienden a sedimentar en el seno del mismo, que se halla relativamente tranquilo aunque se mueve lentamente en sentido radial y para arriba, alejándose del lodo compacto. Este sedimento se comprime y apelmaza en la parte inferior del depósito cilíndrico y es trasladado por el rastrillo giratorio hacia el centro del fondo. La acción del rastrillo consiste en empujar el sedimento hacia el orificio de descarga, comprimiéndolo o apelmazándola mucho más, cual es el resultado en el caso de una sedimentación discontinua.

La ausencia completa de zona B, de idéntica composición que la alimentación, constituye una gran diferencia entre la sedimentación continua y la discontinua, excepto en el caso de que ello ocurra precisamente bajo el dispositivo alimentador, cuando la superficie horizontal de separación de las zonas transparente y turbia se halla muy por debajo del borde inferior del tubo alimentador. En estas condiciones, la suspensión sedimenta en forma de columna cilíndrica, directamente bajo el dispositivo alimentador. Cuando la velocidad de alimentación no resulta excesiva y se obtiene un líquido efluente, adecuadamente clarificado, la zona superior o de clarificación en el proceso continuo es una región en la cual los sólidos están presentes a tan escasa concentración que el mecanismo se asemeja al de la sedimentación libre. La zona de espesamiento debajo de esta región transparente. [10]

[10] George Granger Brown. Operaciones básicas de la Ingeniería Química, España, Editorial Marín, S.A., 2002 Pg. 122

La capacidad de los espesadores continuos o de las instalaciones de sedimentación depende de su aptitud para realizar dos funciones: la de clarificar el líquido rebosante por eliminación las partículas en suspensión, y la de espesar el lodo o descarga inferior, por eliminación de su contenido líquido. La superficie de los aparatos de sedimentación determina el tiempo disponible para la precipitación de las partículas sólidas, para una velocidad dada en la alimentación de la suspensión, y tiene importancia en la determinación de su capacidad de clarificación. La profundidad del espesador determina el tiempo indispensable para el espesamiento del lodo, para una velocidad dada de alimentación del sólido, y posee importancia en la determinación de la capacidad de espesado. La capacidad de clarificación del espesador viene determinada por la velocidad de precipitación de las partículas sólidas en suspensión.

### 2.1.4 Decantación continua a contracorriente

El sistema de separación de un material de fase sólida de una solución por repetidas etapas de dilución y sedimentación por gravedad se adapta, en la mayor parte de las aplicaciones industriales, mediante una operación conocida como decantación continua a contracorriente (DCC). El flujo de sólidos es a contracorriente con respecto a la solución diluyente (por lo general, agua) y cada etapa está compuesta de una etapa de mezclado, seguido por la sedimentación de los sólidos en suspensión. El número de etapas varía desde 2 hasta más de 10, dependiendo del grado de separación requerido, la cantidad de fluido de lavado agregado (que afecta a la concentración final de soluto en el efluente superior de la primera etapa) y la concentración lograda de sólidos del efluente inferior. Las aplicaciones incluyen los procesos en los que la solución es el componente valioso (como en la extracción de alúmina) o bien aquellos en que los sólidos purificados son el objetivo (como en la obtención de hidróxido de magnesio a partir del agua del mar), o ambos (que es lo que a menudo se encuentra en la industria de procesamiento químico y en la hidrometalurgia de un metal base). [11]

Los factores que inducen a elegir la DCC sobre otros sistemas de separación son: rápida sedimentación de sólidos, por medio de floculación, una relativamente alta relación de concentraciones de flujo de efluente inferior y de alimentación;

[11] Robert H. Perry. Manual del Ingeniero Químico. Volumen III, España, McGraw-Hill, 2005. Pg. 18-89

relaciones de lavado permitidas moderadamente altas (2 a 4 veces el volumen de líquido en el efluente inferior espesado); gran cantidad de sólidos a procesar, y la presencia de sólidos de partículas finas que son difíciles de concentrar por otros métodos. Para adoptar la alternativa óptima se recomienda realizar un estudio de viabilidad técnica y económica.[12]

## 2.2 Medios filtrantes

Un medio filtrante puede ser definido como cualquier material permeable sobre el cual, o en el cual, son separados los sólidos del fluido durante el proceso de filtración. Por consiguiente, el principal rol del medio filtrante es provocar una buena separación entre los componentes de una suspensión con el mínimo consumo de energía. En orden a realizar una cuidadosa selección de un medio filtrante se deben tomarse en cuenta muchos factores.

En los últimos 20 años, Purchas y Hardman (Purchas 1981) realizaron estudios de medios filtrantes y los clasifican según la tabla 9.1. El medio filtrante se caracteriza de acuerdo a diversas propiedades físicas (mecánicas) y químicas. Purchas identifico 20 propiedades divididas en tres categorías. [13]

a) Propiedades orientadas a la máquina. (Tabla 2.2).
b) Propiedades orientadas a la aplicación. (Tabla 2.3).
c) Propiedades específicas de filtración. (Tabla 2.4).

[12] Robert H. Perry. Manual del Ingeniero Químico. Volumen III, España, McGraw-Hill, 2005. Pg. 18-90
[13] Fernando Concha Arcil. Manual de Filtración y Separación, Universidad de Concepción, Chile. Pg. 38, 39

**Resumen generalizado de medios filtrantes clasificados de acuerdo a su rigidez (Purchas, 1981)**

| Principales tipos | Subdivisiones | Partícula más pequeña retenida (μm) (aprox.) |
|---|---|---|
| Fabricación sólida | Pantallas de alambre . | 100 |
| | bobinados de alambre. | 100 |
| | Anillos apilados. | 5 |
| Hojas metálicas | Perforadas. | 100 |
| | Tejido de alambre. | 5 |
| Medios porosos rígidos | Cerámicos | < 1 |
| | Carbón | 10 |
| | Plásticos | 10 |
| Cartuchos | Fabricación de laminas | 3 |
| | Camas aglutinadas. | 2 |
| | Hilo bobinado | 2 |
| Hojas plásticas | Monofilamentos tejidos | |
| | Hojas porosas | |
| Membranas | Poliméricas | < 0.1 |
| | Cerámicas | < 0.1 |
| | Metálicas | 0.2 |
| Medios tejidos | Fibras de hilo | 5 |
| | Monofilamentos | 10 |
| | Multifilamentos | <10 |
| Medios no tejidos | Hojas de filtro | 10 |
| | Papel (celulosa y vidrio) | 5 y 7 |
| | Polimeros | 10 |
| Medios holgados | Fibras | 1 |
| | Polvos | < 1 |

Tabla 2.1: Resumen generalizado de medios filtrantes clasificados de acuerdo a su rigidez. Fuente: Fernando Concha Arcil. Manual de Filtración y Separación, Universidad de Concepción, Chile. Pg. 243-244

**Propiedades del medio filtrante orientadas a la máquina (Purchas 1980)**

| Propiedades orientadas a la máquina: relacionadas con las limitaciones del uso de un medio filtrante en un tipo especifico de filtro. |
|---|
| Rigidez |
| Resistencia al estiramiento |
| Resistencia al cree |
| Estabilidad en los bordes |
| Resistencia a la abrasión |
| Estabilidad a la vibración |
| Dimensiones compatibles |
| Habilidad para ser fabricados |
| Función de sellado |

Tabla 2.2: Propiedades del medio filtrante orientadas a la máquina. Fuente: Fernando Concha Arcil. Manual de Filtración y Separación, Universidad de Concepción, Chile. Pg. 244

**Propiedades específicas de filtración en medios filtrantes (Purchas y Hardman 1980 y 1994)**

| Propiedades específicas de filtración que determinan la capacidad del medio en un proceso específico de filtración. | |
|---|---|
| Partícula más pequeña retenida. | Importante cuando se requiere una remoción de partículas del 100 %. Se debe tener en mente que el tamaño de las partículas depende de la técnica utilizada para su medición. |
| Eficiencia de retención. | $\beta = \frac{\text{Concentracion de particulas en el filtrado}}{\text{Concentracion de particulas en la suspension a filtrar}}$ <br> Una eficiencia de retención del 100 % corresponde al punto de corte de la tela (cut–off). La eficiencia de retención depende de la forma y tamaño de partículas, estructura del medio, velocidad de alimentación, entre otros. |
| Resistencia al flujo. | La resistencia al flujo depende de la estructura del medio filtrante y es a menudo reportado como la medida de permeabilidad, o resistencia específica, a condiciones específicas de flujo. |
| Capacidad ensuciamiento. | Cantidad de sólidos (suciedad) retenida en el medio filtrante sin exceder una cierta caída de presión a través del filtro. |
| Tendencia a obturación | Asociada al material que no es removido del medio usando los procedimientos normales de limpieza, causando un incremento en la resistencia al flujo de filtrado. |
| Descarga del queque | Facilidad de remoción del queque del medio filtrante |

Tabla 2.3: Propiedades específicas de filtración en medios filtrantes. Fuente: Fernando Concha Arcil. Manual de Filtración y Separación, Universidad de Concepción, Chile. Pg. 245

**Propiedades orientadas a la aplicación del medio filtrante (Purchas, 1980)**

| **Aplicación orientadas a las propiedades del medio filtrante. Compatibilidad del medio filtrante con el ambiente.** | |
|---|---|
| Estabilidad química y térmica | Datos técnicos entregados por el fabricante. |
| Estabilidad biológica | Relacionada a la acumulación y crecimiento biológico en la superficie de las telas. Fibras naturales son más propensas a la degradación biológica que las sintéticas. |
| Estabilidad Dinámica | Derramamiento de fibras y migración de fragmentos de las telas en el filtrado, característica crítica en algunas aplicaciones. |
| Características absorbentes | Absorción de líquido y posterior hinchamiento durante el proceso de filtración, lo que se traduce en una disminución de la permeabilidad. |

| **Aplicación orientadas a las propiedades del medio filtrante. Compatibilidad del medio filtrante con el ambiente.** | |
|---|---|
| Mojabilidad | Afecta la presión requerida para iniciar el flujo inicial a través del medio. Pequeñas cantidades de impureza, alteran significativamente esta propiedad. |
| Características de estática | Factor importante para suspensiones de baja conductividad eléctrica. Aditivos antiestáticos son utilizados para reducir este efecto. |
| Disponibilidad | Corresponde a la disposición del medio filtrante como de las partículas que retuvo después de que se descarte. |
| Capacidad de reutilización | Muchos medios pueden ser utilizados y re-usados. El planteamiento para lograr estos son diseñados en el ciclo de operación de muchos filtros. |
| Costo | El costo de un medio filtrante puede variar mucho y tiene que ser evaluado considerando la vida útil del mismo. |

Tabla 2.4: Propiedades orientadas a la aplicación del medio filtrante. Fuente: Fernando Concha Arcil. Manual de Filtración y Separación, Universidad de Concepción, Chile. Pg. 245

Todos los filtros requieren un medio filtrante para le retención de sólidos, ya sea que el filtro este adaptado para la filtración de torta, como medio de filtración o filtración en profundidad. La especificación de un medio de filtración está basada en la retención de un tamaño mínimo de partícula y una buena eficiencia en la eliminación por separación, así como también una aceptable duración. La elección del medio de filtración es, con frecuencia, la consideración, más importante para asegurar el funcionamiento satisfactorio de un filtro. Para la filtración de la torta, la selección del medio filtrante incluye la optimización de los siguientes factores: [14]

1. Capacidad de detener los sólidos sobre sus poros con cierta rapidez, después de que se inicie la alimentación (esto es propensión mínima a ser purgados).

[14] Robert H. Perry. Manual del Ingeniero Químico. Volumen III, España, McGraw-Hill, 2005. Pg. 18-110

2. Baja velocidad de arrastre de sólidos hacia el interior de sus intersticios (esto es propensión mínima a los atascamientos).
3. Resistencia mínima a la corriente de filtrado (es decir elevada velocidad de producción).
4. Resistencia a los ataques químicos.
5. Suficiente resistencia para soportar la presión de filtración.
6. Resistencia aceptable al desgate mecánico.
7. Capacidad de descarga de la torta con facilidad y limpieza.
8. Capacidad de adaptación mecánica al tipo de filtro en el que se utilizará.
9. Costo mínimo.

En la selección del medio filtrante se incluyen innumerables tipos de telas, tejidos de fibras, fieltro o fibras no tejidas, sólidos porosos o sinterizados, membranas poliméricas o sólidos particulados en forma de lecho permeable. Todos los medios filtrantes se encuentran disponibles en una gran variedad de materiales. [15]

### 2.2.1 Telas de fibra tejidas

Para la filtración de torta estas telas son el tipo más usual como medio filtrante. Aparte del material de las fibras, ciertas características de construcción describen la tela filtrante: (1) tejido, (2) estilo, (3) peso, (4) cuenta, (5) pliegues, y (6) el número de hilos. De los muchos tipos de tejidos disponibles, sólo cuatro son los más utilizados como medio filtrante: lisos, sarga, tejido, de cadena y satén.

Todos estos tejidos se pueden confeccionar a partir de cualquier fibra textil, natural o sintética. Un reciente desarrollo conocido como doble capa incorpora diferentes tramas en los tejidos, permitiendo la combinación de las distintas propiedades de cada uno de los materiales. [16]

[15] Robert H. Perry. Manual del Ingeniero Químico. Volumen III, España, McGraw-Hill, 2005. Pg. 18-110
[16] Robert H. Perry. Manual del Ingeniero Químico. Volumen III, España, McGraw-Hill, 2005. Pg. 18-110

### 2.2.2 Telas metálicas o tamices

Existen en diferentes tipos de tejidos en níquel, cobre, latón, bronce, aluminio, acero, acero inoxidable, monel y otras aleaciones. En los tejidos lisos, el espaciado más pequeño entre los hilos es el de 400 mallas, lo cual limita el empleo de este tipo de tejido a las suspensiones de pulpa, las suspensiones cristalinas gruesas, entre otras. Los denominados (tejidos holandeses) emplean hilos o alambres largos y rectos, relativamente anchos, que permiten un espaciado recto y consiguen un entremado denso y son un buen medio para filtración de suspensiones de pulpas y de cristales de pequeñas dimensiones. Sin embargo, este tipo de tejido tiende a atascarse con facilidad cuando se utiliza para partículas amorfas y poco rugosas, debiendo recurrir a otro tipo de tamiz. [17]

### 2.2.3 Papeles de filtro

Estos presentan una gama de permeabilidad, espesores y resistencias. Como estos materiales poseen baja resistencia, requieren la colocación de una placa como soporte. [18]

### 2.2.4 Medios porosos rígidos

Estos medios se encuentran disponibles como hojas, placas o tubos. Los materiales para su construcción incluyen acero inoxidable sinterizado y otros metales, grafito, oxido de aluminio, sílice, porcelana, y algunos plásticos, gama que permite un amplio intervalo de resistencia a la temperatura y a los productos químicos. La mayor parte de las aplicaciones son para la clarificación. [19]

[17] Robert H. Perry. Manual del Ingeniero Químico. Volumen III, España, McGraw-Hill, 2005. Pg. 18-110
[18] Robert H. Perry. Manual del Ingeniero Químico. Volumen III, España, McGraw-Hill, 2005. Pg. 18-110
[19] Robert H. Perry. Manual del Ingeniero Químico. Volumen III, España, McGraw-Hill, 2005. Pg. 18-112

### 2.2.5 Membranas poliméricas

Estas membranas se utilizan en las aplicaciones de filtración para la separación de partículas finas tales como micro filtración y ultrafiltración. Las membranas se fabrican con diferentes materiales y los más comunes son los acetatos de celulosa y las poliamidas. Los medios filtrantes tanto tejidos como no tejidos pueden ser recubiertos con una película de un polímero, tal como el Primapor, realizado por SCAPA Filtration, y Goretex, realizado por W.L Gore y asociados, combinando la alta capacidad de retención característica de una membrana con la resistencia y duración de un tejido grueso. Estos tipos son usados tanto en operaciones de filtración continuas e intermitentes en las que se necesita una excelente calidad de filtrado. [20]

### 2.2.6 Lechos granulares de partículas sólidas

Los lechos con sólidos, como por ejemplo, arena o carbón, se utilizan como medio filtrante para la clarificación de agua o soluciones químicas que contienen pequeñas cantidades de partículas en suspensión. Se pueden adquirir gránulos para filtros con el diámetro de partícula deseado. Con frecuencia, los lechos están constituidos por distintas capas de diferentes materiales y de diferentes tamaños de partículas.[21]

### 2.2.7 Ayudas para filtración

El uso de ayudas en los filtros es una técnica que se aplica con frecuencia para las filtraciones en las que surgen problemas de baja velocidad de filtración, taponamiento rápido o de un filtrado de baja calidad. Los asistentes de filtro son sólidos granulares o fibrosos capaces de formar una torta de alta permeabilidad en la que se puede retener sólidos deformables y sólidos muy finos o pastosos. El empleo de estos materiales (asistentes) permite obtener un medio filtrante más permeable que el necesario para una clarificación, con el objetivo de producir un filtrado de la misma calidad que el que se obtiene por filtración profunda.

---

[20] Robert H. Perry. Manual del Ingeniero Químico. Volumen III, España, McGraw-Hill, 2005. Pg. 18-112
[21] Robert H. Perry. Manual del Ingeniero Químico. Volumen III, España, McGraw-Hill, 2005. Pg 18 -112

Los asistentes para filtración deben tener una baja densidad másica para minimizar su tendencia al asentamiento (sedimentación) y ayudar a la buena distribución superficial del medio filtrante, que puede no ser horizontal. Deben ser porosos y capaces de formar una torta porosa para minimizar la resistencia al flujo y químicamente inertes con el filtrado.

Estas características se encuentran en dos de los materiales más empleados como asistente de filtración: sílice de diatomea o tierra de diatomeas, una sílice casi pura formada a partir de yacimientos de esqueletos de diatomeas, y la perlita expandida, partículas de lava hinchada, que químicamente es un silicato alcalino de aluminio. [22]

### 2.2.7.1 Sílice de diatomeas

Estos asistentes de filtración como es el caso de la tierra de diatomeas tienen una densidad másica seca de 128 a 320 kg-m$^3$ (8 a 20 lb-ft$^3$), contienen unas partículas que la mayor parte tienen un diámetro inferior a 50 µm y producen una torta con una porosidad de un valor aproximado a 0,9 (volumen de huecos / volumen total de la torta). [23]

### 2.2.7.2 Perlita

El asistente para filtrado a base de perlita tiene, hasta cierto punto, una densidad másica en seco menor que la sílice de diatomeas (48 a 96 kg/m$^3$ o 3 a 6 lb/ft$^3$) y contiene una mayor fracción de partículas en el intervalo de 50 a 150 µm. La perlita también se encuentra disponible en varios grados, que difieren en la permeabilidad y el coste, siendo éstos semejantes a los de la tierra de diatomea a soporta pH más extremos que la perlita, y hasta cierto punto es menos comprensible. [24]

[22] Robert H. Perry. Manual del Ingeniero Químico. Volumen III, España, McGraw-Hill, 2005. Pg. 18-112
[23] Robert H. Perry. Manual del Ingeniero Químico. Volumen III, España, McGraw-Hill, 2005. Pg. 18-112
[24] Robert H. Perry. Manual del Ingeniero Químico. Volumen III, España, McGraw-Hill, 2005. Pg. 18-112

## 2.3 Centrifugación

La fuerza centrífuga es muy útil cuando se necesita aplicar una fuerza superior a la gravedad para lograr la separación de sólidos y fluidos de diferentes densidades. Por el movimiento de una masa, en trayectoria curva, se origina una fuerza centrífuga dirigida en el sentido de la recta que parte del centro de curvatura de la trayectoria. Fuerza centrípeta es la fuerza aplicada a la masa en movimiento en dirección al centro curvatura del camino recorrido, que obliga a que la masa siga una trayectoria curva. Si ambas fuerzas son iguales, la partícula seguirá una trayectoria circular alrededor de un centro de giro que es el de curvatura. [25]

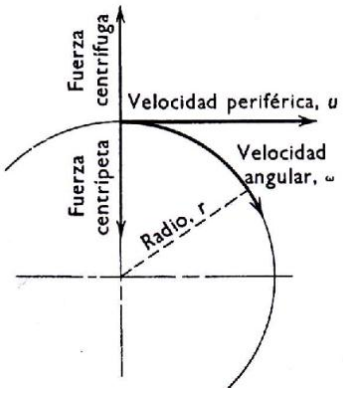



Figura 2. 3: Diagrama de fuerzas de una centrífuga. Fuente: George Granger Brown. Operaciones básicas de la Ingeniería Química, España, Editorial Marín, S.A., 2002 Pg. 273

Las centrífugas separan o concentran partículas de sólidos en un líquido, haciendo que emigren a través del fluido en dirección radial hacia el eje de rotación o alejándose de él, según la diferencia de densidades entre las partículas y el líquido. Si no hay diferencia en la densidad de las fases, la centrífuga no logrará efectuar la separación. La descarga del líquido puede ser intermitente, como en el caso de las centrífugas de botella o de laboratorio. En centrífugas comerciales, la descarga de la fase líquida suele ser continua. La fase sólida pesada se deposita sobre las paredes del recipiente para su extracción intermitente, ya sea en forma manual o con una cuchilla de corte. Para el residuo continuo, por medio de un transportador diferencial de gusano o para la descarga intermitente o continua con una porción de la fase

[25] George Granger Brown. Operaciones básicas de la Ingeniería Química, España, Editorial Marín, S.A., 2002. Pg 98

líquida continua, mediante aberturas apropiadas en la periferia del tazón. El tiempo necesario para extraer sólidos puede ser hasta de una hora para las operaciones completamente manuales, o de sólo unos cuantos segundos para las operaciones intermitente totalmente automatizadas. Cuando los sólidos separados tienen una densidad menor que la fase continua, se pueden extraer de la superficie del líquido con un tubo desnatador.

### 2.3.1 Aparatos

El primer aparato industrial que utilizó la fuerza centrífuga para la elaboración de productos fue el filtro centrífugo. Estos aparatos se consideraban como centrífugas y consistían en máquinas de gran diámetro y de velocidad relativamente lenta. Se aplicaron primeramente para la separación de sólidos granulares gruesos o cristalinos, del agua o de otros fluidos. Las máquinas menores, pero de grandes velocidades, son las que se designan propiamente como centrífugas.

### 2.3.2 Centrifugación discontinua

El tipo más sencillo de centrífuga es la de cesta perforada y eje vertical. El diámetro de la cesta es generalmente de 90, 120 ó 150cm, aunque los modelos disponibles en el mercado llegan a tener diámetros hasta de 250cm. El árbol sobre el que va montada la cesta se acciona generalmente por un motor eléctrico de unas 1200 revoluciones por minuto para una cesta de 90 cm de diámetro, aunque con frecuencia se utilizan velocidades mayores, hasta de 2000 revoluciones por minuto. [26]

El tipo más corriente de máquina posee la cesta suspendida del árbol vertical, sobre el que se aplica el esfuerzo del motor, figura.

[26] George Granger Brown. Operaciones básicas de la Ingeniería Química, España, Editorial Marín, S.A., 2002. Pg. 274

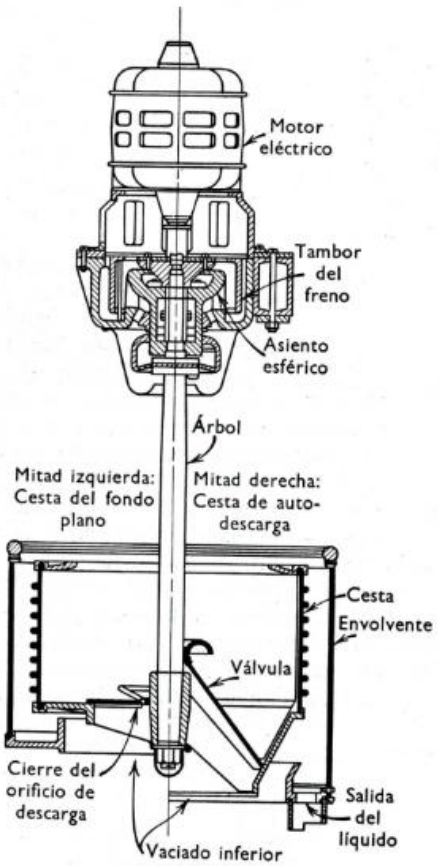



Figura 2.4: Esquema de una centrífuga de cesta suspendida. Fuente: George Granger Brown. Operaciones básicas de la Ingeniería Química, España, Editorial Marín, S.A., 2002 Pg. 274

Este tipo de cesta suspendida y propulsión superior es muy utilizado en las refinerías azucareras, y para la separación de todos los tipos de productos cristalinos o granulares.

### 2.3.2.1 Funcionamiento:

La cesta gira a una velocidad moderada y se alimenta con una suspensión más bien espesa, hasta que se forma una torta de espesor suficiente sobre el tamiz. El líquido pasa a través de la torta y del medio de filtración (la tela metálica), de igual modo que en una operación de filtración. Entonces se detiene la alimentación y la torta puede centrifugarse a mayor velocidad para escurrir la mayor parte del líquido, o puede lavarse inmediatamente después de suspendida la alimentación y sin el período previo de funcionamiento a gran velocidad. Después de lavada se somete la torta a un giro a gran velocidad para eliminar la mayor parte del líquido de lavado que le impregna.

Luego, la cesta se desembraga, se frena y se descarga por el fondo, al levantar la compuerta plana del mismo. En los antiguos modelos de bajo coste, la torta se desprendía con una cuchilla de madera, mantenida contra la torta durante la rotación de la misma a poca velocidad. El empleo de una cuchilla o arador suspendido hace que la operación resulte más segura y rápida.

Los sólidos caen por la abertura del fondo a un transportador o unos desecadores situados bajo la centrífuga, y una vez cerrada la compuerta del fondo de la cesta puede repetirse el ciclo de trabajo. La sección del lado derecho de la figura representa una cesta de fondo cónico (o auto descarga). Éste es el tipo preferido para los materiales que abandonan fácilmente la cesta a pequeña velocidad, sin necesidad de raspar la torta del medio filtrante. La centrífuga representada en la figura, de árbol vertical, impulsión inferior y suspensión articulada, se aplica en las industrias farmacéuticas y de lavado mecánico, ya que por tener abierta su parte superior, permite su fácil carga y limpieza.

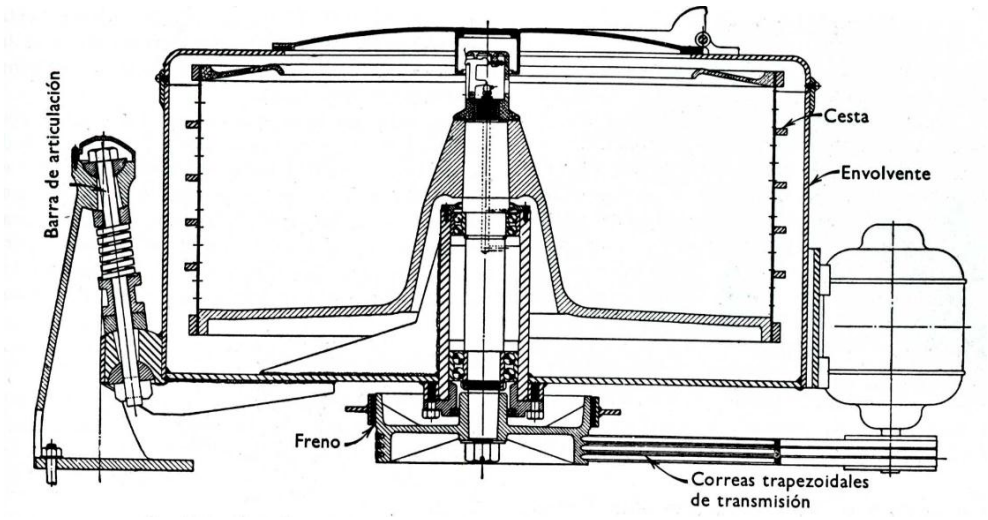



Figura 2.5: Centrífuga suspendida por resortes, con impulsión inferior. Fuente: George Granger Brown. Operaciones básicas de la Ingeniería Química, España, Editorial Marín, S.A., 2002 Pg. 275

Cuando está equipada con una cesta no perforada, o maciza, como en la figura, la centrífuga trabaja de modo más parecido a un sedimentador o espesador que a un filtro, ya que el líquido clarificado se separa por rebose (sobre las pantallas o compuertas) por la parte superior, en vez de fluir a través de la torta. Durante el trabajo, la alimentación llena la máquina hasta el derrame. Los lodos se acumulan sobre las paredes y son descargados por el fondo.

### 2.3.3 Centrífugas continuas

El filtro centrífugo puede hacerse operar de modo continuo mediante incorporación de un mecanismo para la separación continua de los sólidos. En las figuras se representan dos de los métodos utilizados.

El raspador espiral se utiliza tanto con las cestas macizas como con las perforadas. En el tambor horizontal no perforado los sólidos lanzados contra las paredes son arrastrados por el raspador espiral, fuera del baño o zona de líquido, hacia la zona de escurrido o playa.

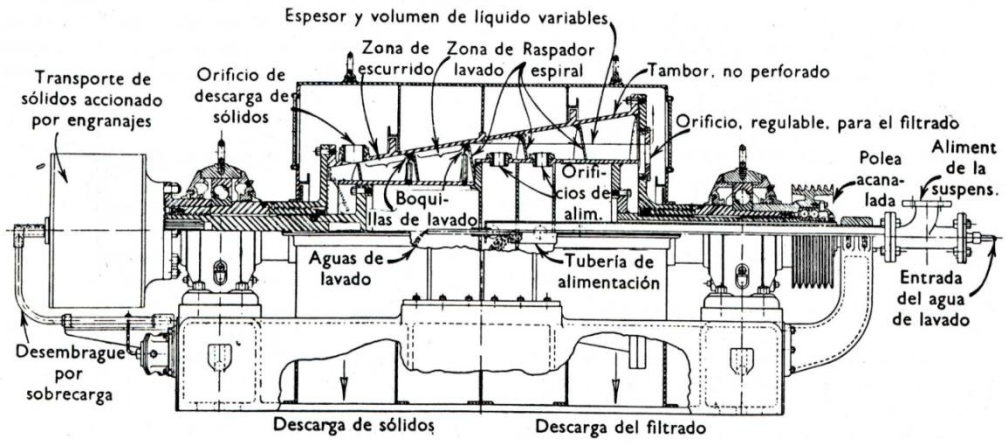



Figura 2.6: Centrífuga continua horizontal, cerrada, con raspador espiral. (Bird Machine Co.). Fuente: George Granger Brown. Operaciones básicas de la Ingeniería Química, España, Editorial Marín, S.A., 2002 Pg. 276

La alimentación y el líquido de lavado penetran por el eje hueco de la derecha. La alimentación pasa por los orificios de la tubería de alimentación y vierte en el recipiente giratorio de la centrífuga. El líquido clarificado rebosa las compuertas del filtrado a la derecha. Estas compuertas u orificios regulables pueden ajustarse para modificar el nivel y el volumen del recipiente. El raspador espiral gira a velocidad ligeramente diferente del tambor o cesta, de modo que existe un movimiento relativo entre el raspador y el tambor que sirve para empujar a los sólidos ya depositados, hacia la izquierda y hacia arriba, hasta lanzarlos fuera. En este momento los sólidos pueden lavarse ligeramente, escurrirse y finalmente ser lanzados a la izquierda por las compuertas de descarga de sólidos.

La centrífuga continua de tambor horizontal perforado, adaptada para el tratamiento de partículas sólidas gruesas, proporciona un lavado muy perfecto, especialmente cuando se desea mantener separados el agua de lavado y los líquidos filtrados. La alimentación penetra por el árbol central hueco. La torta queda retenida por el cilindro perforado y el líquido pasa a través del tamiz o perforaciones, como en un filtro. El filtrado se recoge en la primera sección de la cubierta externa. La cubierta o carcasa consta generalmente de tres secciones, de modo que resultan posibles dos lavados sin mezcla del líquido filtrable con ninguno de los de lavado. [27]

Este tipo de filtro continuo centrífugo queda limitado en sus aplicaciones a la separación de cristales gruesos no frágiles, ya que los raspadores tienden a romper los sólidos frágiles.

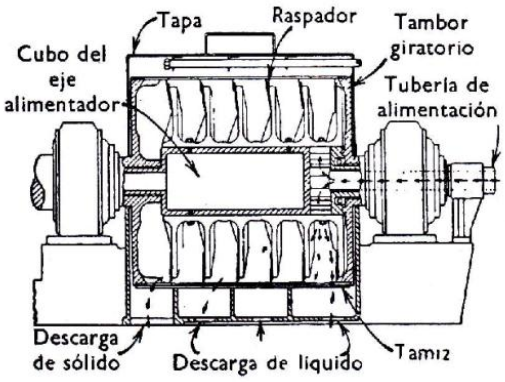



Figura 2.7: Centrífuga continua, de tambor horizontal perforado, con raspador espiral para la descarga. Fuente: George Granger Brown. Operaciones básicas de la Ingeniería Química, España, Editorial Marín, S.A., 2002 Pg. 277

### 2.3.4 Centrífugas discontinuas automáticas

Se proyectan, frecuentemente, para el trabajo automático dentro de un ciclo predeterminado. Las operaciones se regulan por un mecanismo de programa y la marcha es continua, eliminándose así el esfuerzo de la puesta en marcha y las pérdidas por el frenado propias del funcionamiento intermitente. La figura indica una centrífuga automática horizontal, con cesta perforada. La alimentación penetra por la boquilla de extremo curvado. Después de formarse la torta del espesor deseado, la

[27] George Granger Brown. Operaciones básicas de la Ingeniería Química, España, Editorial Marín, S.A., 2002 Pg. 277

alimentación queda interrumpida de modo automático; entonces llega el agua de lavado por los rociadores, y tras un escurrido centrífugo, un mecanismo levanta la cuchilla que separa la torta, haciéndola caer por el plano inclinado de descarga.[28]

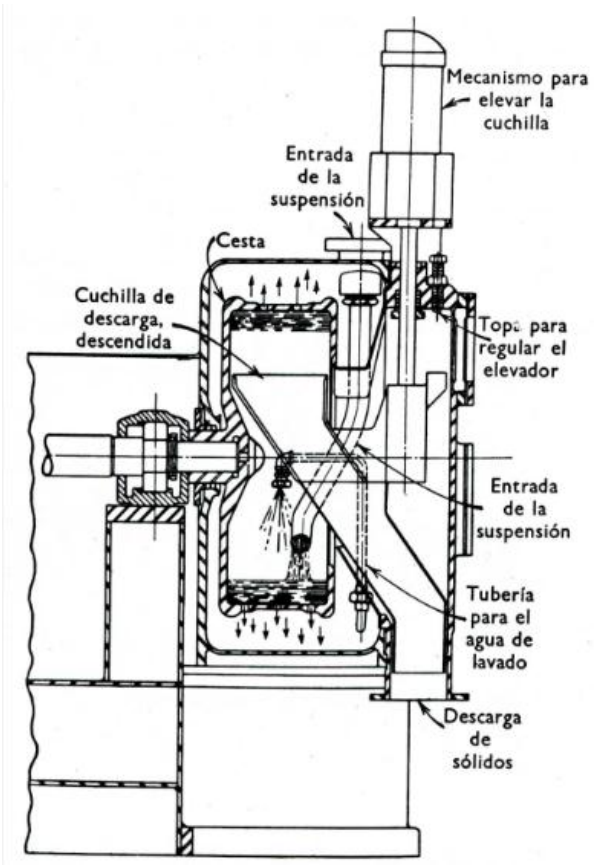



Figura 2.8: Corte longitudinal de una centrífuga discontinua horizontal de descarga automática. (Baker Perkins, Inc). Fuente: George Granger Brown. Operaciones básicas de la Ingeniería Química, España, Editorial Marín, S.A., 2002 Pg. 278

### 2.3.5 Centrífugas

Las máquinas de pequeño diámetro y grandes velocidades, utilizadas para separar entre sí a líquidos de diferentes densidades, para romper emulsiones y para separar o clasificar sólidos muy finos en suspensión, pertenecen generalmente a dos tipos: la de rotor tubular y la de rotor en forma de disco.

[28] George Granger Brown. Operaciones básicas de la Ingeniería Química, España, Editorial Marín, S.A., 2002 Pg. 279

### 2.3.5.1 Centrífugas de rotor tubular

La centrífuga de rotor tubular se utiliza mucho para la purificación de lubricantes usados y otros aceites industriales, y en las industrias de la alimentación, farmacéutica y química. Los modelos comerciales vienen con tazones de 4 a 5 pulg de diámetro y 30 pulg de longitud. El tamaño menor (1,75 × 9 pulg) es un modelo de laboratorio que se usa también para la recolección de virus.[29]

El tazón se suspende de un ensamblaje de impulsor y cojinete superior por medio de un husillo propulsor flexible. Cuelga libremente, con sólo una guía floja en un ensamblaje de amortiguación controlada, en el fondo. De este modo, puede encontrar su eje natural de rotación en caso de que se desequilibre levemente debido a la carga de procesamiento.

La alimentación entra por el fondo del tazón a través de una boquilla estacionaria de alimentación a presión. La presión y el tamaño de la boquilla se escogen para proporcionar un chorro limpio que entre en la parte superior del tazón a la velocidad de flujo que se desee. El líquido que llega se acelera con la velocidad del rotor, asciende a lo largo del recipiente en forma de anillo y se descarga por la parte superior. Los sólidos se desplazan hacia arriba con el líquido y, al mismo tiempo, reciben una velocidad radial proporcional a su tamaño y peso en el campo de la fuerza centrífuga. Si la trayectoria de la partícula dada interseca a la pared del tazón la partícula se retirará del líquido, de no ser así, aparecerá en el efluente. La profundidad de la capa del líquido se regula mediante la posición radial del orificio de desbordamiento en la parte superior del recipiente. Para acelerar y mantener el líquido a la velocidad de rotación del tazón, se proporciona un conjunto de aletas internas, muy a menudo en forma de Y o de hoja de trébol. También sirve para amortiguar las ondas y minimizar los desequilibrios en el curso de la desaceleración.

El líquido centrifugado sale por la parte superior del tazón con la velocidad periférica del orificio de desbordamiento. En este punto, no sólo se somete a fuerzas importantes de corte, sino que también choca con la cubierta de la caja o el recolector

[29] Robert H. Perrry. Perry Biblioteca del Ingenierio Químico, Quinta Edición, México, McGraw, 2005. Pg. 18 - 139

con una fuerza considerable y se divide en gotitas pequeñas. Si su tensión superficial es baja, se puede producir espuma. Si esto es perjudicial para el producto, como en el caso de los jugos de fruta, quizá sea conveniente retirar el líquido de la parte superior del tazón mediante una bomba "centrípeta" o un desnatador. En otra configuración, el principio de "tazón lleno", los orificios de alimentación y descarga están equipados con sellos radiales o de cara y no hay una entrecara aire-líquido, ni en el tazón ni en su descarga.

Al suministrar dos salidas de líquido con radios diferentes y a elevaciones distintas en la parte superior del tazón, se pueden separar en forma continua dos líquidos inmiscibles de densidades diferentes mientras se recogen las partículas de sólidos de cualquiera de esas fases, o las dos. La ubicación de la entrecara dentro del tazón entre los líquidos separados se controla casi siempre, para un rendimiento óptimo, por medio del ajuste de la salida de la fase pesada con una arandela intercambiable o una "roldana de anillo" de diámetro interno escogido. Hay centrífugas de tazón tubular con una gran variedad de cajas y cubiertas para contener vapores dañinos y fluido volátiles o inflamables.

Los sólidos que se sedimentan contra la pared del tazón se retiran en forma manual de este tipo de centrífuga, cuando la cantidad reunida es suficiente para perjudicar a la calidad de la clarificación o la separación. Su extracción se facilitará recubriendo el recipiente con una capa de papel de pergamino para que los sólidos, las paletas del acelerador y el papel se remuevan como un paquete cilíndrico, dejando sólo trazas en el recipiente, que se deberán extraer lavando.

La capacidad de manejo de líquidos de la centrífuga de tazón tubular varía mucho con las aplicaciones específicas. En los tamaños comerciales, va desde 10 a 15 gal/h, para la extracción de bacterias pequeñas de medios de cultivo, hasta 1 200 gal/h, para la purificación de aceite de transformadores y la restauración de su valor dieléctrico. La capacidad de retención de sólidos de esta centrífuga es pequeña, limitada por lo común a 10 lb o menos. Puesto que la limpieza del recipiente requiere por lo común 0,25 horas-hombre, la utilidad principal es para sistemas que contienen 1% o menos de sólidos sedimentables.

### 2.3.5.2 Centrífugas con rotor de disco

Operan a menor velocidad y poseen rotores de mayor diámetro que las de rotor tubular. Los diámetros de los rotores de disco alcanzan hasta 105 cm. Para un diámetro de rotor de 30 cm, el número de revoluciones llega a 6400 por minuto, desarrollando una fuerza centrífuga equivalente a 7000 ges.[30]

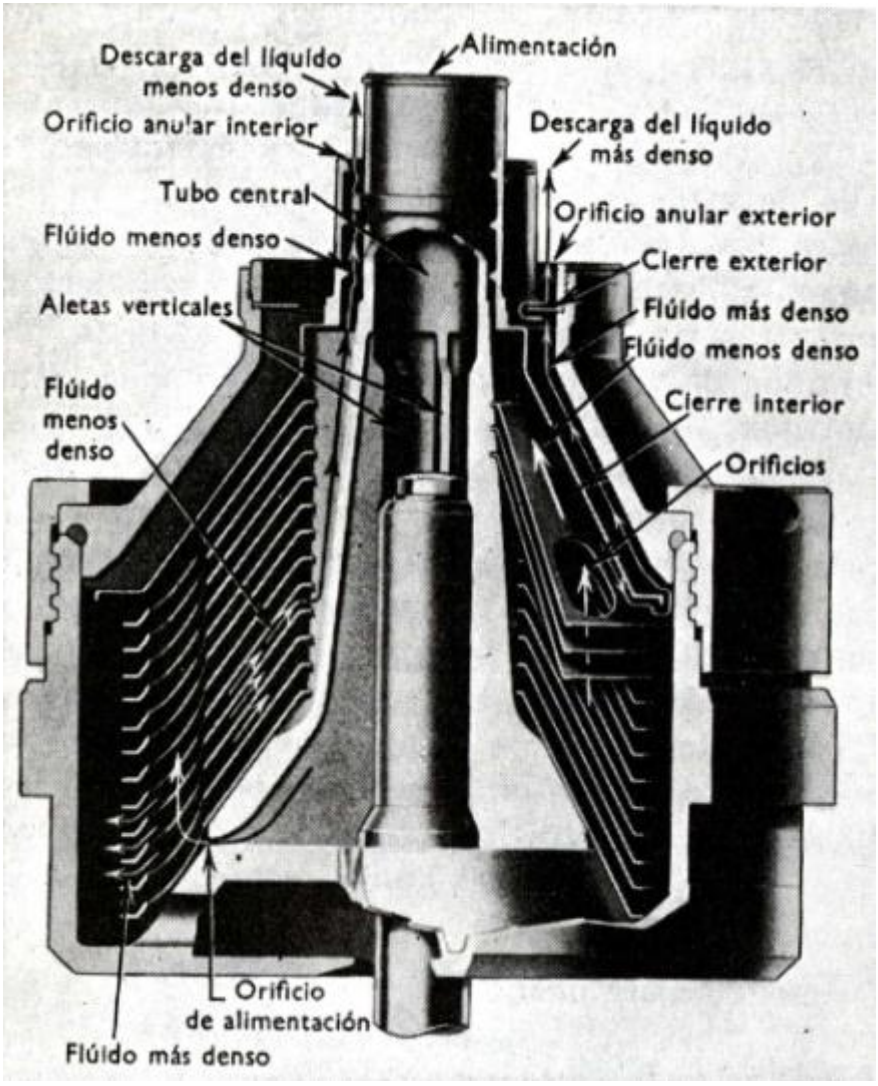



Figura 2.9: Corte parcial de una centrífuga de rotor de discos, para la separación continua de líquidos. (De Laval Separator Co.). Fuente: George Granger Brown. Operaciones básicas de la Ingeniería Química, España, Editorial Marín, S.A., 2002 Pg. 280

Los rotores de disco contienen una pila de discos cónicos espaciados entre sí, al menos una distancia doble del tamaño de las partículas o glóbulos a separar. El rotor

[30] George Granger Brown. Operaciones básicas de la Ingeniería Química, España, Editorial Marín, S.A., 2002. Pg.280

está montado dentro de una caja de fundición, provista de una o más cubiertas, cada una dotada de un orificio de descarga para un flujo líquido. El árbol vertical va, en general, propulsado por un motor eléctrico horizontal mediante engranajes y un embrague centrífugo.

Es de mucha utilidad cuando se aplica al descremado de la leche, a la purificación de los aceites y a otros muchos procesos industriales. La alimentación penetra por la parte superior y fluye hacia abajo por el tubo central hasta el fondo del rotor. Durante este desplazamiento es acelerada hasta la velocidad del rotor, gracias a las pantallas verticales del tubo. Entonces, la alimentación pasa por diversos orificios alimentadores hacia los discos cónicos, y luego hacia arriba, atravesando una serie de orificios de los discos. La situación de estos orificios determina cuál es el componente que ha de ser recuperado con la mínima contaminación del otro. Si el componente menos denso es el de mayor valor y el que hay que obtener, como ocurre en la separación de la nata, los orificios de alimentación deben situarse en los discos más próximos al centro, de modo que el componente más denso (leche descremada) haya de recorrer un camino más largo y así separarlo lo más completamente posible del componente menos denso (mantequilla). [31]

Al desplazarse la alimentación hacia arriba, la fuerza centrífuga arrastra al líquido más pesado, o al sólido, hacia afuera, por la superficie inferior de los discos. Entonces el líquido menos denso fluye hacia el centro por la superficie superior de los discos cónicos. De este modo, los discos estratifican a los líquidos en capas delgadas, creando una sedimentación de poca profundidad entre los discos. El líquido menos denso se descarga por el orificio anular interior de la parte superior. El líquido más denso fluye hacia afuera y abajo, descargándose por el orificio exterior. Cuando la centrífuga se utiliza como clarificador, solamente va provista del orificio anular interior de descarga y todo el líquido pasa hacia dentro y arriba, mientras que las partículas sólidas son lanzadas hacia afuera y recogidas en el rotor. A fin de eliminar continuamente las partículas sólidas separadas, se descargan constantemente dichos sólidos junto con una pequeña cantidad de líquido en forma de un lodo, en una cubierta de descarga, por medio de boquillas radiales en la periferia del rotor, o

[31] George Granger Brown. Operaciones básicas de la Ingeniería Química, España, Editorial Marín, S.A., 2002. Pg. 281

mediante válvulas que se abren automáticamente hacia afuera en cuanto se ha reunido sobre el rotor una cierta cantidad de sólidos. Con el fin de regular la densidad del lodo descargado, algunos modelos permiten la recirculación de una parte del separado por el rotor. [32]

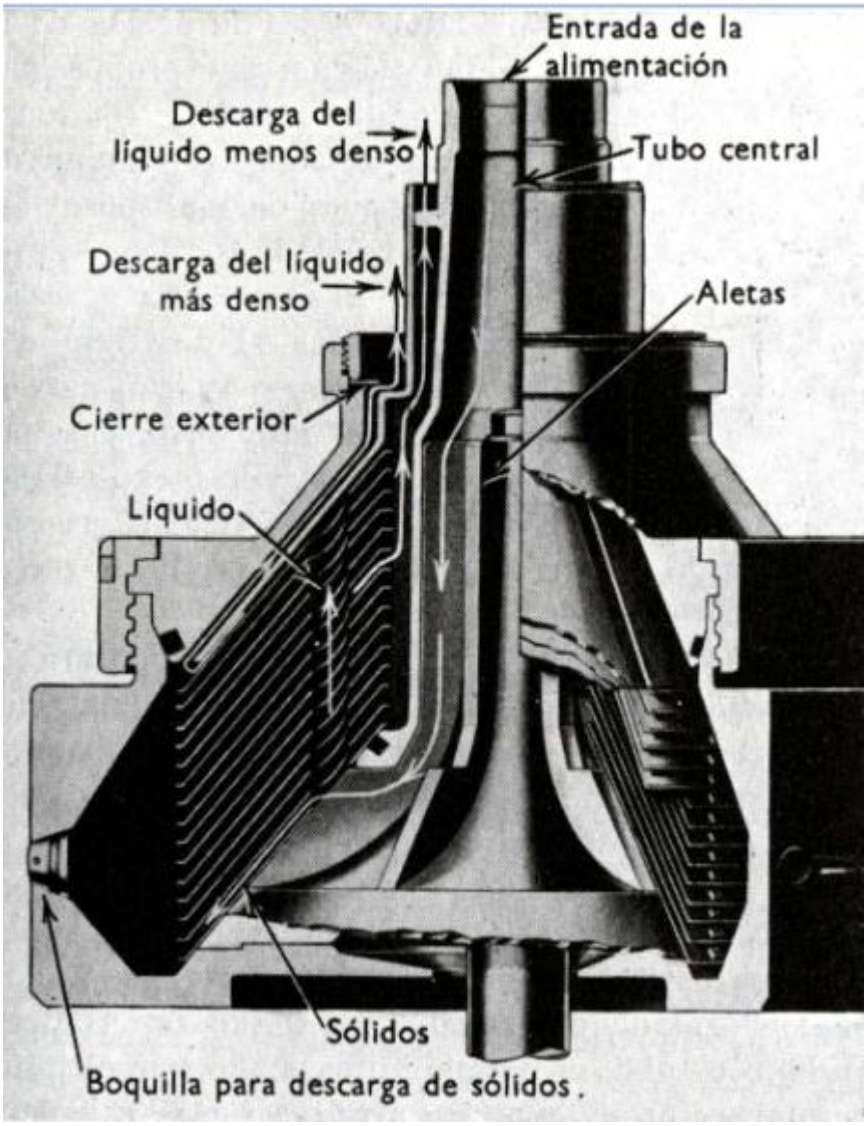



Figura 2. 10: Corte parcial de una centrífuga de rotor de discos, con boquilla de descarga, utilizada para escurrir sólidos. (De Laval Separator Co.). Fuente: George Granger Brown. Operaciones básicas de la Ingeniería Química, España, Editorial Marín, S.A., 2002 Pg. 281

[32] George Granger Brown. Operaciones básicas de la Ingeniería Química, España, Editorial Marín, S.A., 2002. Pg. 281

## 2.4 Conclusiones

El capítulo presenta el marco conceptual respecto a los tipos de operaciones de decantación y centrifugación, que van a ser la guía para el diseño y construcción del sistema de recuperación de aceite automotriz usado, brindando el sustento teórico necesario para justificar las decisiones tomadas. Además, realiza un análisis de los distintos materiales y productos que ayudan a retirar el material particulado suspendido del lubricante usado.

El manejo de estos conceptos permite entender el funcionamiento de otros sistemas de recuperación de aceite automotriz usado ya existentes en el mercado, comprendiendo el propósito de las acciones realizadas al aceite y enfocando las mismas al presente proyecto.

# CAPITULO III

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ACEITE

## 3.1 Cálculos y diseño

### 3.1.1 Centrífuga de discos o platos

Consiste en una pila de discos delgados en forma de conos. La sedimentación toma lugar en dirección radial en el espacio entre los conos adyacentes. La centrífuga tipo disco usualmente opera en forma continua. Estas centrífugas son usadas para separación de líquidos en los cuales el sólido o componentes inmiscibles que están en bajas concentraciones. Son usadas para la purificación de aceites combustibles, para el aprovechamiento de aceites usados de motores, y para refinación de aceites vegetales.[33]

Es un medio acelerado para separar el agua y los contaminantes sólidos del aceite, utilizando la fuerza centrífuga desarrollada por la rotación del aceite a altas velocidades.En las centrífugas el rotor gira normalmente entre 5 000 y 9 000 rpm.

#### 3.1.1.1 Antecedentes

Para empezar la fabricación de la centrífuga se adquirió un extractor de jugos viendo los diferentes tipos de extractores disponibles en el mercado, eligiendo el modelo Omega Juicers 9000 que tenía las mejores características para nuestros requerimientos, como una base para la fabricación de la centrífuga debido a su diseño y materiales de construcción.

[33] http://www.monografias.com/trabajos7/centri/centri.shtml Acceso 7 de Julio 2011

Figura 3.1: Extractor de jugos Omega Juicers 9000

Componentes del extractor de jugos:

Plunger: émbolo

Cover: cubierta

Clutch nut: embrague de la tuerca

Blade: hoja

Basket: canasta

Bowl: recipiente

Latch Arms: brazos

Motor Base Housing: base del motor

Figura 3.2: Componentes Omega Juicers 9000

#### 3.1.1.2 Variables

Dentro de la construcción de la centrífuga las variables a tomar en cuenta son:

- Número de revoluciones
- Angulo de los discos

##### 3.1.1.2.1 Número de revoluciones (rpm)

Las características originales del motor del extractor de jugos son:

- Potencia: 1/3 hp
- Revoluciones 3400 rpm.

El número de revoluciones del motor original del extractor de jugos no cumplía con los requerimientos para la fabricación de la centrífuga, se buscó otras alternativas que favorezca para la consecución del proyecto, se optó por un motor tomado de un esmeril de las siguientes características:

- Potencia: 1/6 hp
- Revoluciones: 10 000 rpm.

##### 3.1.1.2.2 Ángulo de discos

Las centrífugas de uso industrial varían el ángulo de los discos dependiendo del uso al cual vayan a ser sometidos.

Como parte de la investigación de este proyecto, se trabajó con distintos tipos de ángulos de discos en un rango de 60° a 90°, a esta variable la tenemos que modificar debido a las limitaciones que tenemos con el motor de la centrífuga con respecto a potencia y revoluciones.

Se realizó las pruebas correspondientes con distintos ángulos para los discos consiguiendo los mejores resultados con un disco 89º.

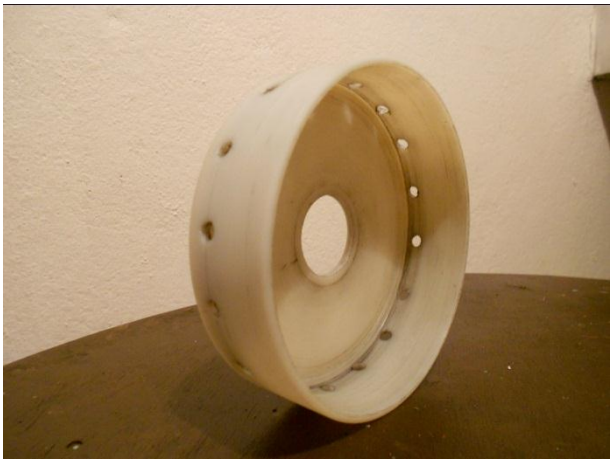


Figura 3.3: Disco de la centrífuga

### 3.1.1.3 Cálculos

Realizar los cálculos para asegurarse que el número de revoluciones por minuto que nos brinda el motor a ser utilizado sea el apropiado para nuestros requerimientos.

Datos:

| | |
|---|---|
| Densidad Aceite | $\rho_{ac} = 891\ kg/m^3$ |
| Revoluciones, RPM | $M = 10000\ rpm$ |
| Radio efectivo | $r = 3{,}5\ cm = 0{,}035\ m$ |
| Densidad del agua | $\rho_a = 1000\ kg/m^3$ |
| Viscosidad del agua | $\mu = 0{,}7\ x\ 10^{-3}\ \mathrm{N \cdot s}/m^2$ |

Con estos datos, calcular la velocidad del agua a través del aceite ($V_m$):

$$V_m = \frac{D^2 \cdot M^2 \cdot r \cdot (\rho_a - \rho_{ac})}{1640 \cdot \mu}$$

$$V_m = \frac{(20x10^{-6})^2 \cdot 10000^2 \cdot 0{,}035 \cdot (1000 - 891)}{1640 \cdot (0{,}7x10^{-3})}$$

$$V_m = 0{,}1329\ m/s$$

Una vez que obtenido la velocidad del agua a través del aceite, sacar el número de reynolds para averiguar el tipo de flujo que se va a tener en la centrífuga.

Número de reynolds

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{(20x10^{-6} \cdot 0{,}1329 \cdot 1000)}{0{,}7x10^{-3}}$$

$$Re = 3{,}797$$

El número de reynolds se utiliza para caracterizar el movimiento del fluido. En este caso (Re = 3,797) indica un flujo laminar, el mismo obedece a la Ley de Stokes por lo que se tiene una separación del agua en el aceite.

### 3.1.1.4 Partes de la centrífuga

#### 3.1.1.4.1 Discos

En los mismos se produce la separación entre el agua y el aceite, la centrífuga tiene dos discos torneados en grilon con un ángulo interno de 89°, el disco inferior posee un diámetro de 104 mm y el superior un diámetro de 134mm, cada uno con 16 orificios en su parte lateral superior para permitir la salida del aceite.

El acabado final que tienen los discos es un pulido en su cara interior para obtener una mejor separación.

Figura 3.4. Discos de la centrífuga

### 3.1.1.4.2 Eje

Es el encargado de repartir el aceite a los discos, es un cilindro torneado en grilon que dispone de un agujero en su centro para el ingreso del aceite y de 22 agujeros en su parte inferior para expulsar el aceite hacia el disco, en la parte inferior posee un buje metálico de acoplamiento para el motor de la centrífuga.

Figura 3.5: Eje de la centrífuga

### 3.1.1.4.3 Bujes

Tenemos dos bujes torneados en grilon, el primero nos ayuda a tener la separación entre discos y el segundo tiene como objetivo asegurar los discos al eje con la ayuda de una tuerca.

Figura 3.6: Bujes de la centrífuga

### 3.1.1.4.4 Tuerca de ajuste

Tiene como función ajustar los discos y evitar que se desplacen axialmente enroscándose en el eje, torneada en grilon.

Figura 3.7: Tuerca de ajuste

### 3.1.1.4.5 Base

La base es donde se aloja el motor, construido en plástico, posee dos brazos para sujetar el recipiente y la tapa a la base de la centrífuga, esta pieza no tuvo modificaciones de construcción con respecto al diseño original del extractor de jugos tomado como base para la fabricación de la centrífuga.

Figura 3.8: Base de la centrífuga

### 3.1.1.4.6 Recipiente

Es de acero inoxidable, se coloca sobre la base de la centrífuga, su función es recolectar y expulsar el aceite de baja calidad, no tuvo modificaciones de su diseño original sólo se realizó una ranura para que se aloje el tubo de descarga del aceite de buena calidad.

Figura 3.9: Recipiente de la centrífuga

### 3.1.1.4.7 Tapa de la centrífuga

Es de acero inoxidable y se coloca sobre el recipiente, en su centro posee un agujero para colocar el tubo de alimentación, además se la modificó para que recoja y expulse el aceite de mejor calidad.

Figura 3.10: Tapa de la centrífuga

#### 3.1.1.4.8 Embudo de alimentación

Es el encargado de introducir el aceite a la centrífuga, posee un embudo torneado en grilon acoplado a un tubo de acero inoxidable el cual debe llegar a la base del eje para asegurarse que el aceite sea expulsado por los agujeros del eje y no por la parte superior del mismo.

Figura 3.11: Embudo de la centrífuga

### 3.1.2 Decantador

En el decantador se realiza la sedimentación de los sólidos del aceite y de las partículas en suspensión, aprovechando la fuerza de la gravedad.

#### 3.1.2.1 Cálculos

El único cálculo a realizar para el decantador es su volumen.

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

$$V = \pi \cdot 6^2 \cdot 25$$

$$V = 2827{,}433\ cm^3$$

### 3.1.2.2 Partes del decantador

#### 3.1.2.2.1 Cuerpo

Es donde se coloca el aceite, es un cilindro hueco en su parte superior y en la parte inferior con una base cónica, posee dos acoples para colocar las llaves que permitan la salida del fluido, una en la parte inferior y otra en la parte superior. Su material es acero inoxidable.

Figura 3.12: Cuerpo decantador

Figura 3.13: Base cónica

#### 3.1.2.2.2 Llaves de paso

Su función es permitir o no la salida del fluido, de acero inoxidable, colocadas una en la parte inferior y otra en la parte superior.

#### 3.1.2.2.3 Embudo

Facilita el ingreso del aceite al decantador, de acero inoxidable, debe llegar a la base del decantador con el objetivo de que el llenado del decantador sea correcto.

#### 3.1.2.2.4 Base

Es la encargada de soportar el decantador para que se lo pueda manipular.

Figura 3.14: Base del decantador

## 3.2 Materiales de construcción

Para la construcción de los componentes móviles de la centrífuga se empleó un plástico de ingeniería conocido como grilon y para las partes fijas se utilizó una lámina de tol de acero inoxidable.

### 3.2.1 Grilon:

El Grilon es un termoplástico obtenido a partir de poliamida 6. Esta poliamida es un termoplástico técnico o de ingeniería, que difiere de los plásticos de uso corriente por sus excelentes propiedades mecánicas, eléctricas, térmicas y químicas.

Las exigencias cada vez mayores de la industria y su constante preocupación por reducir costos y mejorar la calidad, hacen que su utilización aumente día a día.

Características

Buena resistencia a los agentes químicos, salvo los óxidos concentrados.
Buena facilidad de mecanizado.
La estabilidad térmica de este material, dependiendo del estado de la carga, le permite soportar temperaturas de 10 a 100ºC en forma continua. Su superficie puede ser teñida, impresa o estampada con color por métodos convencionales. Posee gran resistencia a los golpes, excelente resistencia mecánica y buena resistencia a la fatiga y al desgaste.[34]

Figura 3.15: Barras de grilon. Fuente: www.syar.com.uy Acceso 12 de Junio 2011

### 3.2.2 Acero inoxidable

En metalurgia, el acero inoxidable se define como una aleación de acero con un mínimo de 10% de cromo contenido en masa. El acero inoxidable es un acero de elevada pureza y resistente a la corrosión, dado que el cromo, u otros metales que contiene, posee gran afinidad por el oxígeno y reacciona con él formando una capa pasivadora, evitando así la corrosión del hierro (los metales puramente inoxidables, que no reaccionan con oxígeno son oro y platino, y de menor pureza se llaman resistentes a la corrosión, como los que contienen fósforo). Sin embargo, esta capa puede ser afectada por algunos ácidos, dando lugar a que el hierro sea atacado y oxidado por mecanismos intergranulares o picaduras generalizadas. Algunos tipos de

[34] www.syar.com.uy Acceso 12 de Junio 2011

acero inoxidable contienen además otros elementos aleantes; los principales son el níquel y el molibdeno. [35]

Características

Costo-Beneficio – Bajo costo de mantenimiento y una excelente relación costo-beneficio.

Conformación – Gran capacidad de la flexibilidad, de fácil moldeado, facilidad de la unión, la sencillez de los trabajos en los procesos de soldadura, estampado, plegado, curvado, corte, etc, acabamiento superficial y variados formatos.

Durabilidad – Largo ciclo de vida. Todo lo que es hecho en acero inoxidable se hace para resistir mucho tiempo.

Higiene y Limpieza – Facilidad de limpieza y conservación, permitiendo total higiene y la garantía de la calidad en la asepsia. Al ser un material inerte que no tiene sabor, es sin olor y no desprende metales.

Estética – Fuerte apelo visual (belleza y modernidad).

Resistencia – Alta resistencia a la corrosión, alta resistencia a altas temperaturas. Mantiene sus propiedades, incluso cuando se somete a altas y bajas temperaturas (criogénicos).

Conformidad Ambiental – Reciclaje no afecta en la calidad, que contribuye a preservar el medio ambiente, por lo tanto, es 100% reciclable. [36]

[35] http://es.wikipedia.org/wiki/Acero_inoxidable Acceso 12 de Junio 2011

[36] http://www.elinox.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid=103&lang=es. Acceso 12 de Junio 2011

Figura 3.16: Láminas de acero inoxidable. Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Acero_inoxidable Acceso 12 de Junio 2011

## 3.3 Construcción del sistema de recuperación del aceite usado

### 3.3.1 Construcción de los componentes de la centrífuga

En este punto se indica el procedimiento para la construcción de las partes que componen la centrifuga.
Herramientas a utilizar:

- Torno
- Taladro
- Entenalla
- Soldadora
- Amoladora
- Calibrador

Materiales a utilizar para la fabricación de los componentes de la centrífuga:

- Grilon
- Láminas de acero inoxidable
- Eje de trasmisión
- Lijas
- Masilla automotriz

- Suelda

### 3.3.1.1 Construcción de los discos

Para la construcción del disco, partir de un cilindro de grilon, el cual se va a someter a un proceso de torneado.

Figura 3.17: Torno

Colocar el cilindro de grilon en el torno.

Ajustar la cuchilla en el torno.

Encender el torno y tornear el cilindro; tomar en cuenta el diámetro exterior, altura, espesor, ángulo de la cara interior del cilindro y el diámetro del agujero en el centro del disco.

Retirar el disco del torno.

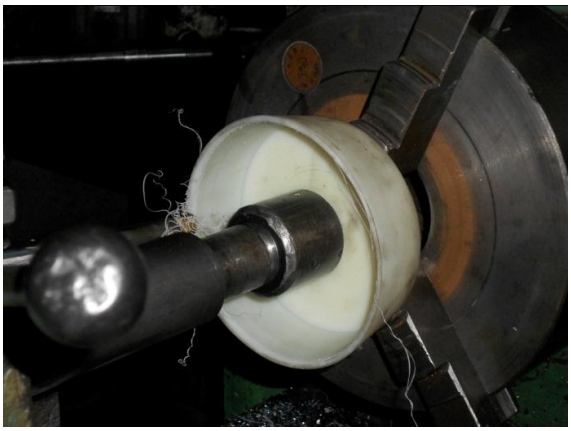


Figura 3.18: Torneado del disco

En una entenalla, ajustar el disco y señalar en donde se va a realizar los orificios (parte lateral superior del disco).

Escoger la broca adecuada y taladrar los orificios.

Retirar el disco de la entenalla y colocarlo nuevamente en el torno para proceder a pulir la cara interna de mismo, utilizar una lija de agua # 180.

Figura 3.19: Pulido del disco

Retirar el disco del torno e inspeccionar.

El mismo procedimiento es para ambos discos.

Figura 3.20: Discos de la centrífuga

Nota: Para la fabricación de estos discos referirse a las especificaciones de los mismos.

### 3.3.1.2 Construcción del eje

Para construir el eje de la centrífuga, partir de un cilindro de grilon, el cual va a ser sometido a un proceso de torneado.

Colocar el cilindro de grilon en el torno.

Escoger y ajustar la cuchilla en el torno.

Prender el torno y proceder a tornear el cilindro, tomar en cuenta los distintos diámetros y alturas de los mismos.

Con los diferentes diámetros correctamente torneados, realizar el orificio central y fabricar la rosca de la punta del eje.

Figura 3.21: Roscado de la punta del eje

Voltear al eje y tornear el compartimiento para el buje metálico que ayudará a acoplar el eje al motor de la centrifuga, pulir el eje.

Retirar el eje del torno y señalar el lugar donde van los orificios que expulsan el aceite a los discos.

Ajustar el eje en la entenalla, elegir la broca y taladrar los orificios.

Figura 3.22: Taladrado de orificios para la salida del aceite

Como paso final, insertar a presión el buje metálico en el eje.

Figura 3.23: Buje metálico

Inspeccionar el eje.

Figura 3.24: Eje

Nota: Para la fabricación del eje referirse a las especificaciones del mismo.

### 3.3.1.3 Construcción de los bujes

#### 3.3.1.3.1 Bujes de grilon

Para construir el buje, partir de un cilindro de grilon, el cual va a ser sometido a un proceso de torneado.

Colocar el cilindro de grilon en el torno.

Escoger y ajustar la cuchilla en el torno.

Prender el torno y proceder a tornear el cilindro, tomar en cuenta los diámetros, altura y espesor del buje.

Figura 3.25: Torneado del buje

Retirar el buje del torno e inspeccionar.

Para el siguiente buje realizar el mismo procedimiento.

Figura 3.26: Buje

Nota: Para la fabricación de estos bujes referirse a las especificaciones de los mismos.

### 3.3.1.3.2 Buje metálico

Partir de un eje de trasmisión, el cual va a ser sometido a un proceso de torneado.

Colocar el eje de transmisión en el torno.

Escoger y ajustar la cuchilla en el torno.

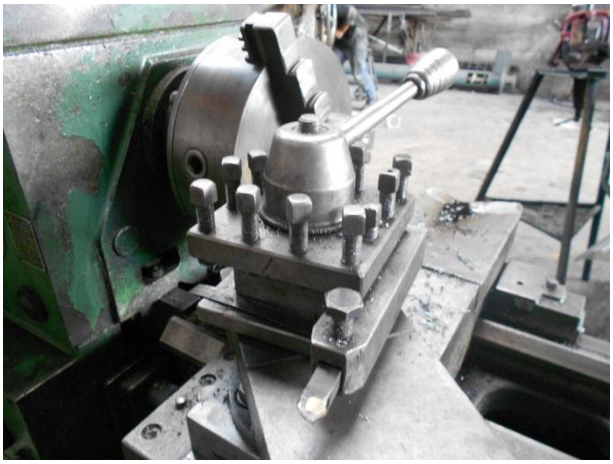


Figura 3.27: Ajuste de la cuchilla del torno

Encender el torno y proceder a tornear el eje de trasmisión, tomar en cuenta el diámetro, altura y espesor del buje.

Realizar el orificio central.

Retirar el buje del torno.

Colocar el buje en la entenalla, ajustar y con la ayuda de un machuelo y bandeador, realizar el respectivo roscado.

Retirar e inspeccionar.

Nota: Para la fabricación del buje referirse a las especificaciones del mismo.

### 3.3.1.4 Construcción de la tuerca

Para construir la tuerca partir de un cilindro de grilon, el cual va a ser sometido a un proceso de torneado.

Colocar el cilindro de grilon en el torno.

Escoger y ajustar la cuchilla en el torno.

Prender el torno y proceder a tornear el cilindro, tomar en cuenta los diámetros, altura y espesor, luego roscar la parte interior del cilindro.

Figura 3.28: Torneado de la tuerca de ajuste

Retirar la tuerca del torno e inspeccionar.

Figura 3.29: Tuerca de ajuste

Nota: Para la fabricación de la tuerca referirse a las especificaciones de la misma.

### 3.3.1.5 Construcción del embudo de alimentación

Para construir el embudo, partir de un cilindro de grilon y de un eje de trasmisión, los cuales van a ser sometidos a un proceso de torneado.

Colocar el cilindro de grilon en el torno.

Escoger y ajustar la cuchilla en el torno.

Figura 3.30: Ajuste de cuchilla del torno

Prender el torno y proceder a tornear el cilindro, tomar en cuenta los diámetros, altura, ángulos y espesor.

Retirar el embudo del torno e inspeccionar.

Colocar el eje de trasmisión en el torno.

Escoger y ajustar la cuchilla en el torno.

Encender el torno y proceder a tornear el eje de trasmisión, tomar en cuenta el diámetro, luego realizar el orificio central.

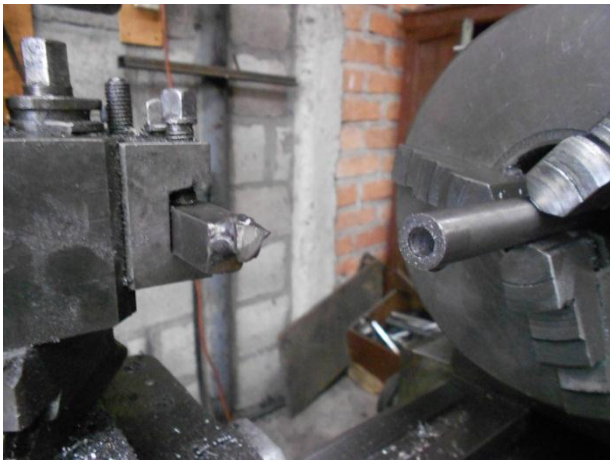


Figura 3.31: Torneado del eje de transmisión

Retirar el tubo del torno e inspeccionar.

Luego, juntar el embudo con el tubo, colocar pegamento para mantener la unión firme.

Figura 3.32: Embudo de alimentación

Nota: Para la fabricación del embudo de alimentación referirse a las especificaciones del mismo.

### 3.3.1.6 Cambio del motor de la centrífuga

Primero, desarmar la carcasa del extractor de jugos y retirar el motor original.

Figura 3.33: Desarmado carcasa del extractor de jugos

Desarmar el esmeril y el motor del mismo, cortar el eje según se necesite y roscar su punta.

Figura 3.34: Roscado del eje

Armar nuevamente el motor y colocar en el interior de la carcasa del extractor de jugos.

Realizar las conexiones eléctricas.

Figura 3.35: Motor del esmeril y conexiones eléctricas

Comprobar su correcto funcionamiento.

### 3.3.1.7 Modificación de la tapa de la centrífuga

Para alargar la parte inferior de la tapa de la centrífuga, cortar una tira de lámina de acero inoxidable.

Soldar esta tira de metal a la base de la tapa, luego soldar una tira metálica inclinada en la base ya alargada de la tapa.

Figura 3.36 Tira metálica soldada en la tapa

Soldar un pedazo de tubo en la base de la tapa, el cual será la salida superior del aceite.

Figura 3.37: Soldada del tubo para salida superior

Esmerilar las sueldas realizadas y luego proceder a corregir las imperfecciones con masilla automotriz y pulir.

Figura 3.38: Pulido de la tapa

Realizar un orificio en la mitad de la parte superior de la tapa e inspeccionar.

Figura 3.39: Orifico en la tapa

Recortar en el recipiente una muesca para que se aloje allí la salida superior del aceite.

Figura 3.40 Muesca para el alojamiento del tubo de salida

### 3.3.2 Construcción del decantador

Pasos a realizar para la construcción del decantador.

Herramientas:

- Dobladora
- Taladro
- Entenalla
- Soldadora
- Amoladora
- Calibrador
- Cortadora

Materiales para la fabricación del decantador:

- Láminas de acero inoxidable
- Eje de trasmisión
- Disco de pulir
- Suelda
- Neplos

- Llaves de paso

Para fabricar el decantador, cortar la lámina de acero inoxidable para construir el cilindro cuerpo del decantador.

Figura 3.41: Cilindro cuerpo del decantador

Cortar la lámina para formar el cono de la base.

Figura 3.42: Lámina de acero inoxidable

Soldar el cono al cuerpo del decantador.

Figura 3.43: Cono del decantador

Con el taladro realizar dos agujeros, uno en la base y otro en la parte superior del decantador, soldar unos neplos en los agujeros.

Figura 3.44: Neplo

Con la ayuda de una amoladora pulir las sueldas realizadas.

Fabricar el embudo.

Colocar las llaves de paso en los neplos, como paso final colocar el decantador en la base e inspeccionar.

## 3.4 Armado y pruebas del sistema de recuperación de aceite usado.

### 3.4.1 Armado de los componentes

#### 3.4.1.1 Armado de la centrífuga

Para armar la centrífuga primero proceder a limpiar e inspeccionar todas las partes de la misma.

Colocar y ajustar el eje a la base de la centrífuga, verificar su correcto ajuste y que al girar no presente cabeceo.

Figura 3.45: Eje en la base de la centrífuga

Colocar el recipiente en la base, y proceder a colocar el primer disco en el eje, presionar y verificar que se haya acoplado al eje.

Figura 3.46: Recipiente en la base

Figura 3.47: Primer disco en el eje

Colocar el buje separador en el eje, enseguida poner el segundo disco.

Figura 3.48: Buje separador en el eje

Acomodar el buje para presionar los discos.

Figura 3.49: Segundo disco y buje

Asegurar con la ayuda de la tuerca.

Figura 3.50: Tuerca de ajuste

Colocar la tapa y asegurar mediante los brazos de ajuste de la base de la centrífuga, y poner el embudo de alimentación.

Figura 3.51: Armado: Tapa, brazos de ajuste y embudo de alimentación

Verificar que los brazos de ajuste estén correctamente posicionados y encender la centrífuga.

### 3.4.2 Pruebas a los componentes del sistema de recuperación de aceite usado

#### 3.4.2.1 Medición del número de revoluciones de la centrífuga

Para medir el número de revoluciones a las que gira la centrífuga, en primer lugar colocar un cuenta vueltas en el eje del motor de la centrífuga.

Figura 3.52: Medición de revoluciones de la centrífuga

Encender la centrífuga durante un minuto y observar el número de vueltas que ha contabilizado el contador.

Multiplicar por 2 el número obtenido y se tiene el número real de revoluciones a la que gira la centrífuga.

Revoluciones = 4378 x 2 = 8756 rpm

### 3.4.2.2. Prueba de balanceo

Debido a que la centrífuga posee un alto número de revoluciones, todas sus partes móviles deben estar correctamente balanceadas, a más de tener cuidado durante el armado de la misma.

Figura 3.53: Partes de la centrífuga

Esta prueba se debe realizar una vez concluida la fabricación de todos los componentes de la centrífuga y consiste en armar correctamente la máquina y hacer funcionar tres veces por 10 minutos consecutivos, verificar que no tenga excesivas vibraciones al momento de funcionar.

Figura 3.54: Centrífuga armada

Al finalizar cada etapa de funcionamiento, proceder a desarmar la centrífuga y hacer una inspección visual del estado de sus componentes.

### 3.4.2.3 Prueba de funcionamiento de la centrífuga

Una vez comprobado que los componentes de la centrífuga no presentan defectos de fabricación, proceder a realizar una prueba de funcionamiento, es decir constatar que en el interior de la centrífuga se produzca la separación: agua del aceite, ya que en lo posterior se va a trabajar con un flujo de aceite que debe subir por los discos y ser descargado por la salida superior de la centrífuga.

Esta prueba se realiza de la siguiente manera:

Armar la centrífuga.

Mezclar en un recipiente 100ml de aceite y 100ml de agua, agitar para conseguir homogenizar la mezcla.

Figura 3.55: 100 ml de aceite usado automotriz

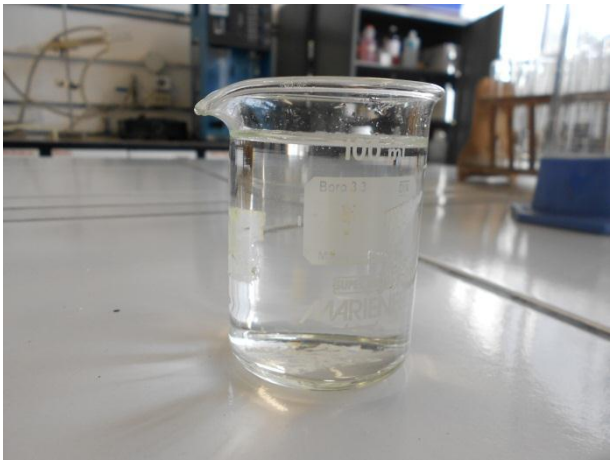


Figura 3.56: 100 ml de agua

Encender la centrífuga y proceder a colocar la mezcla aceite-agua en su interior.

Observar que por el tubo superior de la centrífuga gotee aceite que a simple vista se aprecia su bajo contenido de agua.

Figura 3.57: Aceite que gotea por el tubo superior de la centrífuga

Para concluir la prueba, desarmar la centrífuga y limpiar todas sus partes.

#### 3.4.2.4 Prueba de estanqueidad

Esta prueba se realiza para el decantador con el objetivo de cerciorarse la estanqueidad del mismo.

Colocar el decantador y verificar que las llaves de paso se encuentren cerradas.

Poner en su interior agua hasta llenar todo el volumen del mismo.

Dejar reposar el agua 24 horas y verificar que no existan fugas.

Para concluir la prueba limpiamos el decantador.

## 3.5. Conclusiones

El capítulo describe los cálculos y procesos realizados en la construcción del sistema de recuperación de aceite usado, debemos acotar que tanto para el diseño como para la elaboración de este sistema, es de mucha ayuda los conocimientos impartidos en materias como máquinas – herramientas y resistencia de materiales.

La construcción del sistema tuvo limitaciones, como la elección del motor para la centrífuga, debido a que en el mercado local no existen motores que satisfagan nuestras necesidades de tamaño, revoluciones y potencia, por lo que fue necesario optar por el motor disponible en el mercado local que más se aproximó a nuestros requerimientos.

El balanceado de los discos debido al alto número de revoluciones que se maneja representó una tarea complicada y a tomar en cuenta en la fabricación de este tipo de equipos, las vibraciones que se producían con el diseño original eran excesivas, este problema se solucionó mejorando la unión motor – eje, a más de un correcto armado y ajuste de las partes.

Otro inconveniente que presentó el diseño original, fue el sobre flujo existente durante el funcionamiento de la centrífuga, este problema se puede controlar asegurando que el aceite ingresado a la máquina descienda hasta la parte inferior del eje de rotación lo que se consiguió alargando la longitud del tubo de alimentación.

En conclusión, el diseño y la construcción del sistema de recuperación de aceite usado fue una tarea que requirió de múltiples pruebas y rediseños durante la fase de desarrollo del equipo. Los ensayos en laboratorio permitieron ir detectando las falencias en el diseño y obligaron a reconsiderar algunos de los componentes del equipo.

# CAPITULO IV

# ANÁLISIS Y PRUEBAS DE LABORATORIO

## 4.1. Obtención de muestras

### 4.1.1 Muestra de aceite usado

Para iniciar la realización de este trabajo en primer lugar se obtuvo la muestra de aceite automotriz usado, misma que fue facilitada por la Empresa de Teléfonos, Agua Potable y Alcantarillado ETAPA-EP, y fue recolectada del tanque de almacenamiento del Programa Recolección de Aceites Usados de la ciudad de Cuenca.

Figura 4.1: Vehículo de recolección de aceites usados. Fuente: http://www.etapa.net.ec/DGA/_layouts/IMAGES/ETAPA/internet/DGA/gestionambiental/aceites/imagenes/tanquero2.jpg. Acceso 4 de febrero 2012

### 4.1.2 Muestra de aceite automotriz usado centrifugado

Una vez realizado las pruebas de funcionamiento del sistema de recuperación de aceite, procedemos a obtener la primera muestra de aceite centrifugado de la siguiente manera:

Inspeccionar y limpiar las partes móviles de la centrífuga, armar, instalar y verificar su correcto funcionamiento.

Nota: Verificar que los brazos de ajuste estén correctamente colocados, de no ser así la centrífuga no funcionará.

Figura 4.2: Brazos de ajuste

Colocar recipientes plásticos en las salidas de la centrífuga, superior (aceite bueno) e inferior (aceite malo).

Figura 4.3: Salidas superior e inferior de la centrífuga

Colocar el aceite automotriz usado en un recipiente plástico.

Encender la centrífuga, esperar que llegue a las revoluciones de funcionamiento y verter el aceite automotriz usado en su interior, con la ayuda del embudo.

Figura 4.4: Vertido del aceite en la centrífuga

Nota: Se debe tener cuidado al colocar aceite usado en el embudo porque se puede derramar debido a las vibraciones producidas por la centrífuga.

Como sólo una parte de aceite asciende, centrifugar varias veces el aceite usado automotriz, hasta obtener la cantidad de muestra deseada.

Para obtener la siguiente muestra, repetimos todo este proceso alimentando al sistema con el aceite que ascendió en la anterior centrifugación.

Repetir este procedimiento hasta obtener una muestra de aceite usado automotriz que ha ascendido en la centrifuga por cuatro ocasiones.

Figura 4.5: Muestras de aceite

### 4.1.3 Muestra de aceite automotriz usado decantado y centrifugado

La siguiente muestra que se obtuvo para ser analizada es la muestra de aceite automotriz usado decantado y centrifugado, la cual se realiza de la siguiente manera: Proceder a medir 1000 ml de aceite usado automotriz.

Figura 4.6: 1000 ml de aceite usado automotriz

Colocar un papel en la balanza, encerar y pesar 10gr de harina de diatomeas.

Figura 4.7: 10 gr de harina de diatomeas

**Harina de diatomeas (Kieselgur)**

Desde hace mucho tiempo atrás el hombre viene usando restos minerales de diatomeas como piedras de construcción, y en este sentido lo emplearon los griegos y romanos. Solo desde época muy reciente se ha empleado técnicamente cuando en el año 1857 Liebig la utilizó para fabricar silicatos alcalinos. Casi simultáneamente Nobel se valió del Kieselgur para fabricar dinamita sacando provecho de su

naturaleza inerte y de su gran poder absorbente para la nitroglicerina. A esta propiedad absorbente, así como a la mala conductividad del calor, se deben las innumerables aplicaciones de este producto que fueron apareciendo paulatinamente hasta nuestros días.

Figura 4.8: Harina de diatomeas

No obstante en los últimos años la industria del (kieselgur ha experimentado un desarrollo tan grande como inesperado en sus aplicaciones como coadyuvante de filtración, después de refinado o activado el kieselgur natural. Así puede decirse que el 70 % de la producción de kieselgur se destina probablemente a fines de filtración y el resto como material de rellenos, aislamientos, absorbentes, etc.

El kieselgur es una roca sedimentaria parecida a la tiza en apariencia de elevado punto de fusión (unos 1500°C) y está compuesto de restos de esqueletos de diminutas plantas acuáticas llamadas diatomeas, las cuales están relacionadas con las algas. [37]

Añadir la harina de diatomeas al aceite automotriz usado, mezclar hasta homogenizar la misma.

[37]http://es.scribd.com/doc/75117860/KIESELGUR-Metodos-de-Ensayo-y-Propiedades-Filtrantes-El-Kieselgur-Espanol-y-su-Activacion Acceso 4 de Febrero 2012

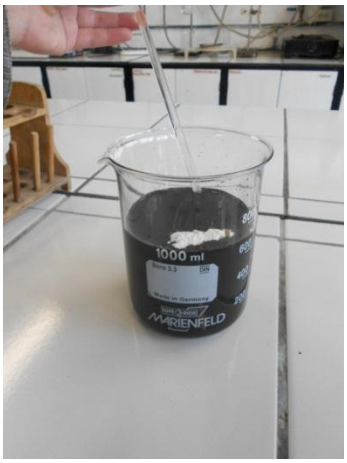



Figura 4.9: Mezcla harina de diatomea y aceite usado automotriz

Colocar la mezcla en el decantador.

Una vez que la muestra pasa por el decantador recolectar y proceder a centrifugar esta muestra, siguiendo el procedimiento descrito para centrifugar la muestra de aceite automotriz usado.

Figura 4.10 Centrifugado del aceite usado automotriz

Con la muestra del aceite automotriz usado que ascendió en la centrífuga, repetir el mismo procedimiento anteriormente descrito hasta obtener una muestra de aceite automotriz usado que ha ascendido tres ocasiones por la centrífuga.

Nota: La relación de aceite usado automotriz con la harina de diatomeas es de 100ml – 1 gr.

Figura 4.11: Relación 100ml de aceite usado automotriz y 1 gr de harina de diatomeas

## 4.2 Pruebas de diagnóstico

A continuación se detalla las diferentes técnicas y métodos utilizados para el análisis del aceite automotriz usado con el fin de averiguar su estado inicial y los parámetros que han mejorado luego de haber pasado por un proceso de recuperación.

Se realizará las siguientes pruebas:

Análisis de degradación:

- Viscosidad

Análisis de contaminación:

- Espectroscopía infrarroja: presencia de agua y etilenglicol.
- Espectrofotometría ultravioleta visible: turbiedad.
- Polarografía stripping: metales pesados: cobre (Cu), cadmio (Cd), plomo (Pb), zinc (Zn).

### 4.2.1 Técnica analítica para la determinación de la degradación del aceite

Cuando el aceite ha sido utilizado en el motor pierde sus características originales debido a las elevadas temperaturas de funcionamiento, paso de los gases de combustión al cárter, el estado del motor, calidad de aceite y manipulación del mismo.

Ahora vamos a detallar una técnica para poder analizar el estado de degradación de la muestra del aceite usado.

#### 4.2.1.1 Medición de la viscosidad

En primer lugar medir la densidad del aceite, dato que interviene en el cálculo de la viscosidad del mismo.
Para medir la densidad utilizar un vaso calibrado “TARA” con un volumen de 100ml.

Figura 4.12: Tapa del vaso calibrado

Colocar el vaso calibrado en la balanza y encerar la balanza.

Retirar el vaso calibrado y verter el aceite en su interior hasta llenarlo completamente, colocar la tapa y permitir que salga el exceso de aceite por el orificio de la misma, limpiar el vaso calibrado.

Figura 4.13: Vaso calibrado

Pesar el vaso calibrado y anotar este valor.

Figura 4:14: Peso del vaso calibrado

Para calcular la densidad utilizar la siguiente fórmula:

$$\delta\ (Densidad) = \frac{m\ (Peso\ del\ aceite)}{V\ (Volumen\ del\ aceite)}$$

Continuando con la toma de datos para calcular la viscosidad utilizar el método denominado copa fort, el cual consiste en tomar el tiempo que se demora en caer 15 ml de la muestra de aceite, para lo cual proceder de la siguiente manera:

Colocar una jeringuilla de 100ml en un soporte, ajustar y calibrar la altura, colocar un recipiente debajo de la jeringuilla.

Figura 4.15: Ajuste de jeringuilla

Obturar el orificio de salida de la jeringuilla y verter el aceite en el interior de la misma hasta llegar a la marca de 25ml.

Figura 4.16: Medición de la viscosidad del aceite usado automotriz

Nota: Las muestras a usarse en esta prueba son las obtenidas en el punto 4.1.1

Permitir que el lubricante caiga por la jeringuilla y medir el tiempo que le toma en salir 15 ml de aceite.

Figura 4.17: Cronómetro

Realizar este proceso cinco veces con cada muestra.

Como patrón de referencia realizar este mismo procedimiento pero usar agua destilada en vez del aceite. Anotar los resultados.

Realizar una tabla de datos para su posterior análisis.

Nota: Realizar las pruebas utilizando un aceite Havoline SAE 30, para ser usado como aceite de referencia en el análisis de datos.

### 4.2.2 Técnicas de análisis de la contaminación del aceite

La contaminación del aceite es cuando éste contiene cualquier material o sustancia extraña, como:

- Partículas metálicas provenientes de componentes del motor
- Polvo atmosférico
- Productos carbonosos
- Agua
- Combustible
- Líquido de frenos
- Basura
- Contaminación bacteriológica o microbiana
- Etilenglicol

A continuación vamos a describir ciertos métodos para medir algunos de los contaminantes del aceite usado.

#### 4.2.2.1 Espectroscopia infrarroja

La espectroscopia infrarroja (Espectroscopia IR), es un método de análisis que permite la determinación cualitativa y cuantitativa de los compuestos presentes en una muestra a partir del estudio de las longitudes de onda a las cuales absorben radiación infrarroja, proporcionando información importante acerca de los elementos contaminantes en la estructura del aceite. [38]

[38]Caterpillar, Folleto de El aceite lubricante y su motor. Pág.11

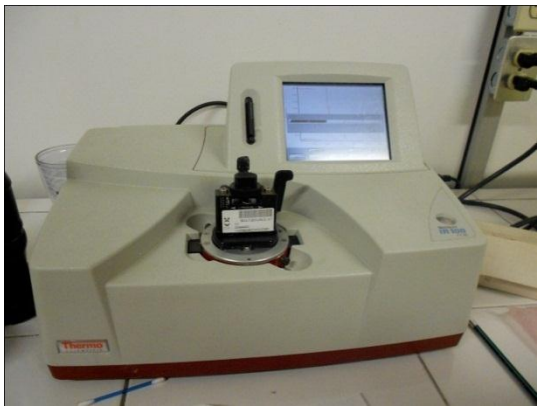


Figura 4.18: Espectrómetro infrarrojo

Esta prueba nos ayuda para determinar la presencia de agua y etilenglicol en el aceite y se realiza mediante el espectrómetro infrarrojo de Fourier (EIR-FT), cuyo sistema óptico está constituido por interferómetro que analiza el contenido frecuencia-intensidad de una señal policromática global sin dispersarla. [39]

Primero encender el espectrómetro infrarrojo y colocar la placa con la ventana de refracción múltiple hecha de seleniuro de zinc en el mismo, manipular con cuidado la placa ya que es frágil.

Figura 4.19: Placa

En la pantalla del espectrómetro ingresar los parámetros para realizar la medición, para ello ingresar en “Parámetros” y luego en “Opciones de toma de datos”.

[39]TORMOS, B. Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España, Editorial Reverté, 2003. Pág.100

Modificar la frecuencia final a 750 $cm^{-1}$ y aceptar los cambios.

Volver a ingresar en “Parámetros” y luego en “Opciones de pantalla”.

Colocar el formato de eje Y en “Absorbancia” y modificar la frecuencia final a 750 $cm^{-1}$, aceptar los cambios.

Ingresar en “Toma de datos” y luego en “Fondo”, se abre una ventana aceptar y esperar que el espectrómetro obtenga la imagen de fondo.

Con la imagen de fondo dibujada, retirar la placa y aplicar la muestra de aceite en la ventana de refracción múltiple, colocar la placa en el espectrómetro.

Figura 4.20: Muestra en la placa

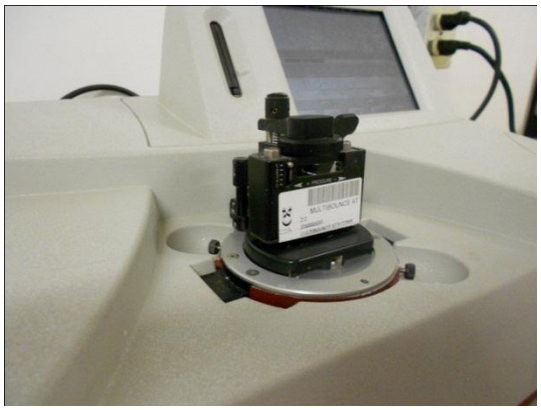


Figura 4.21: Placa en el espectrógrafo

Nota: Las muestras a usarse en esta prueba son las obtenidas en el punto 4.1.1

En la pantalla del espectrómetro ingresar en “Toma de datos” y luego en “Muestra”, en la ventana que se visualiza a continuación ingresar el nombre de la muestra y obtener la curva.

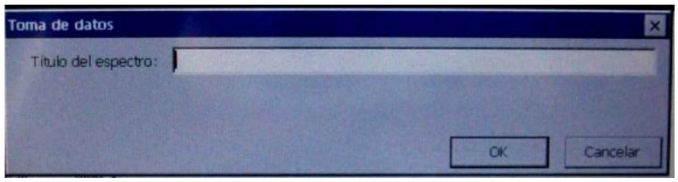



Figura 4.22: Toma de datos

Con la curva en la pantalla, señalar y guardar ingresando en “Archivo” y luego en “Guardar”, en la ventana que se visualiza a continuación ingresar el nombre y aceptar.

Figura 4.23: Ingreso del nombre

Retirar la placa, limpiar la ventana de refracción con éter, colocar la siguiente muestra y repetir el procedimiento.

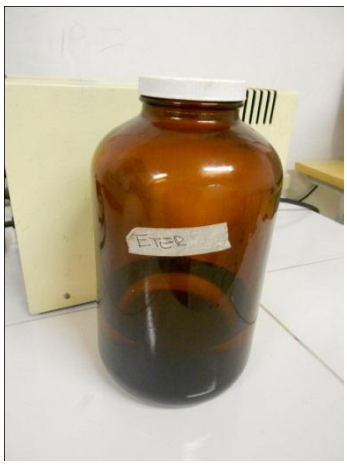



Figura 4.24: Éter de petróleo

Cuando se han obtenido todas las curvas, guardar las mismas en la tarjeta de memoria, para ello:

Introducir la tarjeta de memoria en el espectrómetro.

En la pantalla ingresar en “Abrir” seleccionar la curva a ser trasladada a la tarjeta de memoria y aceptar.

Ingresar en “Guardar”, seleccionar “Storage Card”, escribir el nombre y guardar.

Cuando se han grabado todas las curvas descargar las mismas al computador para su posterior suavización y análisis.

#### 4.2.2.2 Espectrofotometría ultravioleta visible

Este método es utilizado para tener una relación entre el porcentaje de turbiedad de las distintas muestras, teniendo un patrón de referencia.

Figura 4.25: Espectrofotometría ultravioleta visible

Para realizar esta prueba en primer lugar preparar las muestras respectivas.

Pesar un balón volumétrico de 10 ml en la balanza de precisión y anotar su peso.

Figura 4.26: Balanza de precisión

Colocar el balón volumétrico en la balanza, encerar, añadir 1gr de la muestra de aceite.

Figura 4.27: Muestra de aceite en la balanza

Nota: Las muestras a usarse en esta prueba son las obtenidas en el punto 4.1.2.

Volver a pesar el balón volumétrico en la balanza de precisión y anotar su peso.

Aforar el balón volumétrico para lo cual usar éter de petróleo, tapar y mezclar.

Identificar la muestra especificando que es la primera dilución.

Figura 4.28: Balón volumétrico aforado

Con la ayuda de una probeta, extraer 10 ml de la primera dilución y colocarla en un balón volumétrico de 10 ml.

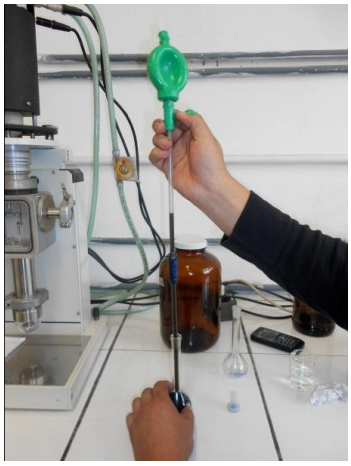


Figura 4.29: Extracción de 10 ml de la primera dilución

Aforar el balón volumétrico para lo cual usar éter de petróleo, tapar y mezclar. Identificar la muestra especificando que es la segunda dilución.

Figura 4.30: Muestras de la primera y segunda dilución

Seguir este procedimiento con todas las muestras.

Para analizar las diluciones en primer lugar encender el equipo y esperar a que se inicie.

Colocar éter en un tubo de ensayo, tapar y limpiar el mismo. Colocar el tubo de ensayo en el equipo.

Figura 4.31: Colocación de la muestra en el espectrómetro

Ingresamos al programa VISION Lite, seleccionar “Scan” y aceptar.

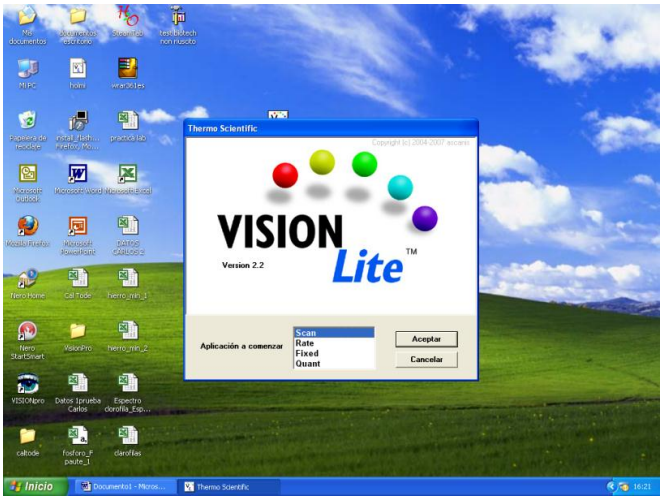



Figura 4.32: VISION Lite

En la pantalla buscar la opción “Método” y seleccionar “Aceites_motor.msc”.

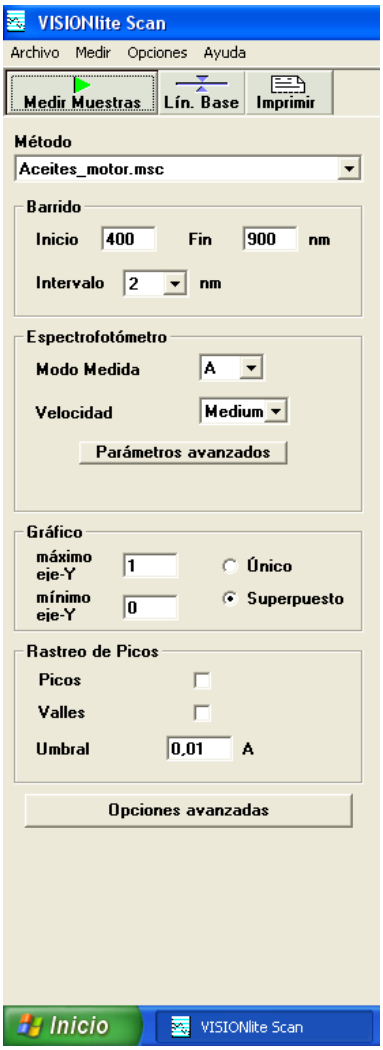



Figura 4.33: Parámetros utilizados

Medir la línea base para lo cual presionamos “Lín. Base” y esperar a que se genere la misma.

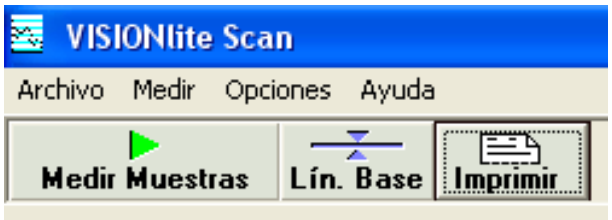



Figura 4.34 Opción Lín.Base

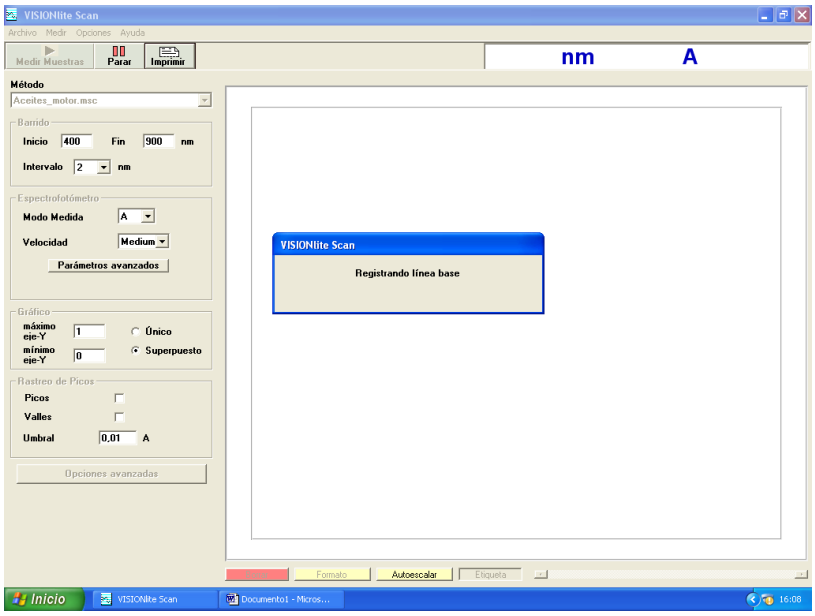



Figura 4.35: Registro de línea base

Retirar el tubo de ensayo del equipo, limpiar con éter y colocar la segunda dilución de la muestra a ser analizada en el mismo, tapar y limpiar. Colocar el tubo de ensayo en el equipo.

En la pantalla seleccionar “Medir muestra”, en la ventana que se visualiza a continuación ingresar el nombre de la muestra y aceptar para obtener la curva.

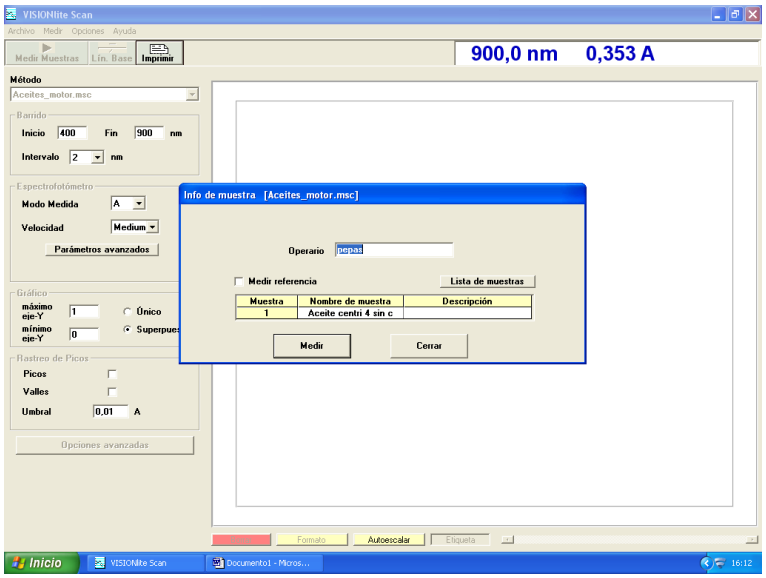



Figura 4.36: Ingreso nombre de muestra

Una vez obtenida la curva, observar el valor de landa (λ) en una longitud de onda de 450, anotamos el dato para su posterior análisis.

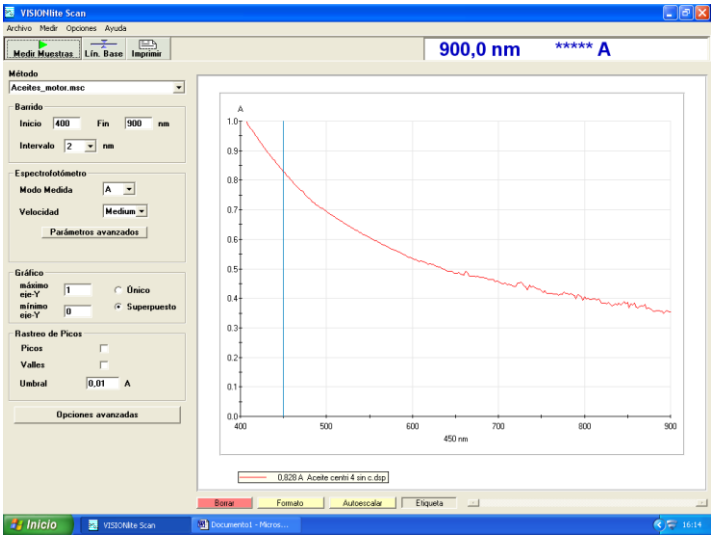



Figura 4.37: Curva

Retiramos el tubo de ensayo del equipo, limpiar y colocar la siguiente muestra y repetir el procedimiento.

### 4.2.2.3 Polarografía stripping

La polarografía es una técnica de análisis electroquímico que permite estudiar fenómenos físico-químicos. Puede analizar trazas de elementos metálicos en el orden de 1 a 0.1 ppm.

Figura 4.38: Polarógrafo

Los métodos polarográficos modificados brindan mayor sensibilidad, con gran exactitud en mediciones de discriminación de elementos químicos, como en

especificación de concentración. Es una técnica que en complemento con otras técnicas de análisis es una herramienta valiosa. Se emplea en problemas físico-químicos, como electrólisis, análisis químico elemental, potenciales de ionización, cinética de reacciones electródicas, cálculo del coeficiente de transferencia electródica, reversibilidad e irreversibilidad de procesos, cinética de las reacciones químicas, reconocimiento de componentes químicos de sustancias acuosas, naturaleza de iones complejos, fenómenos de adsorción en el electrodo, entre otros. [40] Para preparar la muestra, tomar un crisol de 50 ml y colocar 10 ml de la muestra de aceite.

Identificar el crisol y la muestra, anotar los datos para evitar confusiones.

Figura 4.39: Crisoles

Preparar todas las muestras.

Colocar los crisoles en el interior del horno para que las muestras sean incineradas, manipular con cuidado los crisoles. Cerrar el horno.

[40] http://clasesusanita.blogspot.com/2010/01/polarografia.html Acceso 22 de Mayo 2012

Figura 4.40: Horno con muestras a incinerar

Accionar los controles del horno, y calibrar la temperatura de la mufla a lo largo de un tiempo determinado, pulsar “T1”, colocar 800°C y presionar “T1” dos veces para confirmar, luego pulsar “T2”, colocar 800°C y presionar “T2” dos veces para confirmar.

Figura 4.41: Horno

Ajustar el tiempo de incremento de la temperatura, presionar “time 1” e ingresar 240 min, presionar “time 1”para confirmar, este paso nos asegura un incremento progresivo de la temperatura, luego presionar “time 2” e ingresar 60 min, presionar “time 2” para confirmar, este paso es para mantener constante la temperatura durante el tiempo establecido.

Figura 4.42: Ingreso de valores

Para iniciar la incineración presionar “start/enter”.

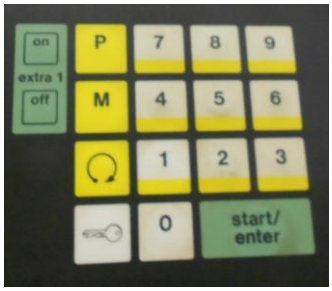



Figura 4.43: Botón start/enter

Concluido el proceso de incineración esperar a que se enfríen las muestras para poder retirarlas del horno.

Figura 4.44: Muestras incineradas

Una vez retiradas las muestras del horno usar una solución de ácido clorhídrico al 10%, para diluir las cenizas.

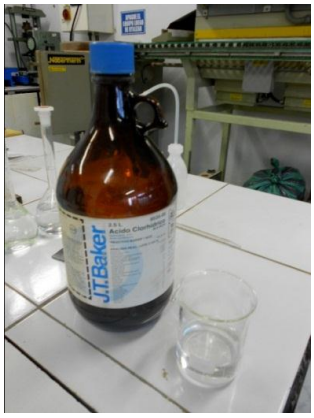



Figura 4.45: Ácido clorhídrico

Figura 4.46: Muestra: cenizas con 10% de ácido clorhídrico

Colocar en un embudo papel filtro, asegurar a un soporte, calibrar la altura y colocar un balón volumétrico de 100 ml en la parte inferior del mismo. Filtrar la dilución de las cenizas.

Figura 4.47: Filtrado de la dilución de las cenizas

Aforar con agua destilada el balón volumétrico y etiquetarlo.

Figura 4.48: Aforado de balón volumétrico

Las muestras fueron analizadas mediante polarografía strippining.

Figura 4.49: Muestras a analizar por el polígrafo

## 4.3 Análisis e interpretación de los resultados

### 4.3.1 Preparación y suavización de datos

Después de haber realizado las distintas pruebas, se procederá a preparar los datos obtenidos y suavizar las curvas resultantes para su posterior análisis.

#### 4.3.1.1 Datos de la viscosidad

Primero calcular la densidad del aceite.

| Cálculo de la densidad | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Muestra** | **Peso 1 (gr)** | **Peso 2 (gr)** | **Peso 3 (gr)** | **Promedio (gr)** | **Volumen (ml)** | **δ= m/V (gr/ml)** |
| **Aceite Usado** | 89,1 | 89,1 | 89,2 | 89,13 | 100 | 0,8913 |
| **Aceite Centrifugado** | 89,1 | 88,9 | 89,0 | 89,00 | 100 | 0,8900 |

Tabla 4.1: Datos de la densidad del aceite

Para el cálculo de la viscosidad utilizar la densidad promedio del aceite.

δ = δ aceite usado + δ aceite centrifugado /2

δ = 0.8913 + 0.8900 / 2 = 0.8906 gr/ml

Calcular el tiempo promedio que le tomo a cada muestra caer 15 ml.

| Datos de tiempos | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Muestra** | **Tiempo 1** (s) | **Tiempo 2** (s) | **Tiempo 3** (s) | **Tiempo 4** (s) | **Tiempo 5** (s) | **Promedio** (s) |
| **Aceite referencia** | 139,86 | 125,85 | 128,31 | 128,25 | 134,89 | 131,43 |
| **Aceite usado** | 78,19 | 77,74 | 75,11 | 77,47 | 75,98 | 76,90 |
| **Aceite centrifugado 1** | 82,30 | 83,75 | 84,21 | 84,54 | 84,92 | 83,94 |
| **Aceite centrifugado 2** | 89,09 | 90,03 | 88,81 | 90,56 | 90,32 | 89,76 |
| **Aceite centrifugado 3** | 97,46 | 98,94 | 97,88 | 95,73 | 96,41 | 97,28 |
| **Aceite centrifugado 4** | 100,31 | 100,77 | 101,74 | 101,88 | 100,77 | 101,09 |
| **Agua** | 4,74 | 4,97 | 4,77 | 4,66 | 5,19 | 4,87 |

Tabla 4.2: Tiempo de caída 15 ml de las muestras

Para calcular la viscosidad de las distintas muestras utilizamos la siguiente fórmula:

$$\eta aceite = \left(\frac{\delta\ aceite * t\ aceite}{\delta\ agua * t\ agua}\right) * \eta\ agua$$

Dónde:

Viscosidad del agua a 20 °C $\eta$ agua =0.0089 Poise

Densidad del agua $\delta$ agua = 1 gr/ml

Tiempo del agua t agua = 4.87 s

Densidad del aceite $\delta$ aceite = 0.8906 gr/ml

| **Cálculo de la viscosidad** | | |
|---|---|---|
| **Muestra** | **Tiempo (s)** | **Viscosidad (poise)** |
| **Aceite referencia** | 131,43 | 0,213914 |
| **Aceite usado** | 76,90 | 0,125161 |
| **Aceite centrifugado 1** | 83,94 | 0,136620 |
| **Aceite centrifugado 2** | 89,76 | 0,146092 |
| **Aceite centrifugado 3** | 97,28 | 0,158331 |
| **Aceite centrifugado 4** | 101,09 | 0,164533 |

Tabla 4.3: Datos de viscosidad

Una vez calculadas las diferentes viscosidades analizar las mismas en Excel insertando una hoja de cálculo con su respectivo nombre y abrir el programa xlstat.

Figura 4.50: Programa xlstat

En la pantalla ingresar en “Modelación de datos” y luego en “Regresión lineal”, en la ventana que se abre a continuación seleccionar las variables a analizar, en el rango de datos X (variables explicativas) seleccionar el número de centrifugación de la muestra y en el rango de datos Y (variables dependientes) las viscosidades correspondientes a cada centrifugación y aceptar.

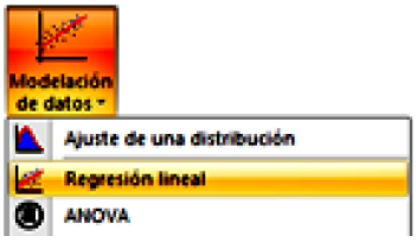



Figura 4.51: Modelación de datos

Se creará una serie de tablas y datos.

### 4.3.1.2 Datos de la espectroscopia infrarroja

Las curvas del análisis de espectroscopia infrarroja serán suavizadas utilizando el programa omnic32.exe, la suavización de estas curvas nos permiten un mejor análisis de las mismas, debido a que eliminamos picos y obtenemos una curva más continua y mejorada.

Para suavizar la curva en primer lugar ejecutar el programa omnic32.exe, abrir la curva, para ello ingresar en “File” y luego en “Open”, en la pantalla que se visualiza a continuación señalamos la curva y aceptamos.

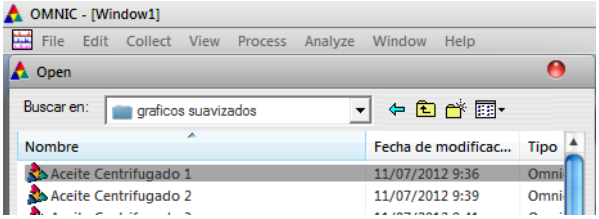



Figura 4.52: Insertar curvas

Definir los límites de la curva, para ello en la pantalla ingresar en “View” y luego en “Display Limits”, modificar el ” X-Axis limits” en la ventana “End”, colocar 1200.

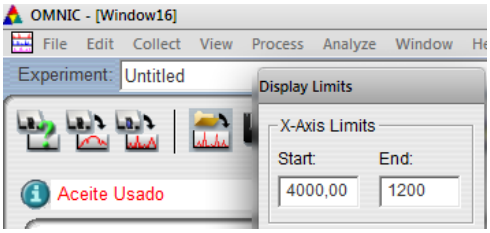



Figura 4.53: Límites de la curva

Para realizar la primera suavización de la curva, ingresar en “Process” y presionar “Automatic Smooth”, observar que se genera una nueva curva.

Señalar la curva inicial y borrarla, para ello en la pantalla ingresar en “Edit” y presionar “Clear”.

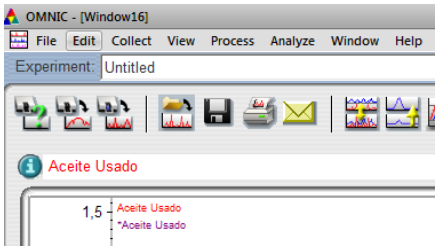



Figura 4.54: Eliminación curva

Para la siguiente suavización, en la pantalla ingresar en “Process” y presionar “Automatic Baseline Correct”, se generará una nueva curva.

Señalar la anterior curva y borrarla, para ello en la pantalla ingresar en “Edit” y presionar “Clear”.

Guardar los cambios en las curvas.

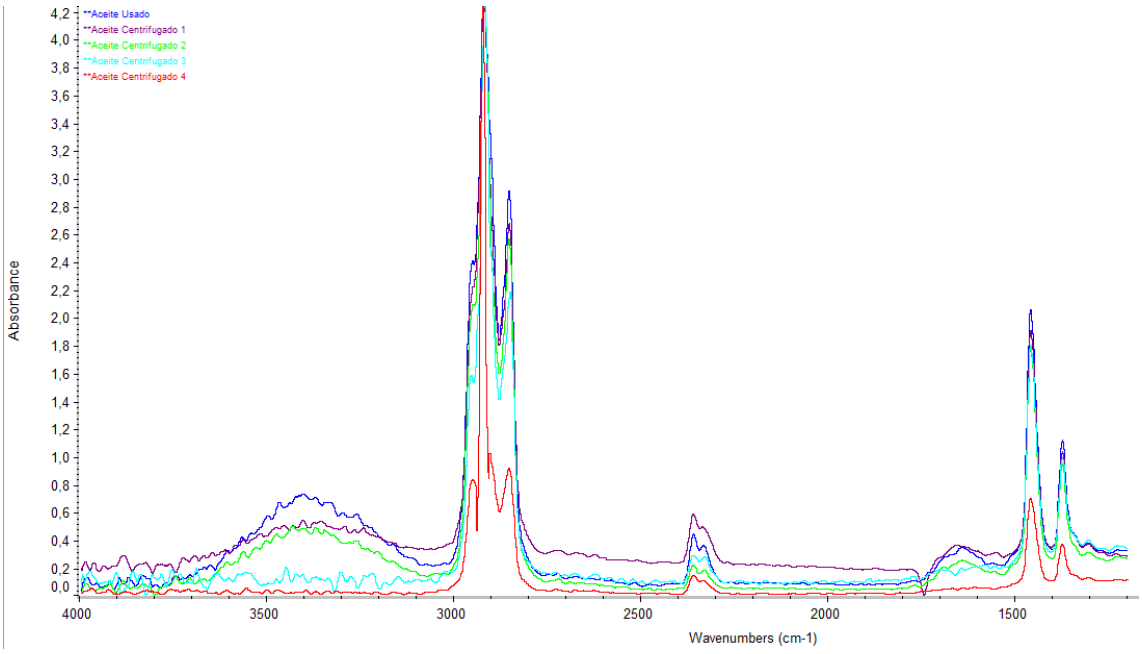



Figura 4.55: Curvas de diferentes muestras de aceite

### 4.3.1.3 Datos de la espectrofotometría ultravioleta visible

Primero obtener el peso real de la muestra de aceite usado que se empleó para la prueba.

| Peso real de la muestra | | | |
|---|---|---|---|
| | **Peso 1** | **Peso 2** | **Peso Real** |
| **Muestra** | **(gr)** | **(gr)** | **(gr)** |
| **Aceite usado** | 37,7352 | 38,8197 | 1,0845 |
| **Aceite centrifugado 1** | 37,0128 | 37,9526 | 0,9398 |
| **Aceite centrifugado 2** | 12,3882 | 13,4297 | 1,0415 |
| **Aceite centrifugado 3** | 37,3819 | 38,3585 | 0,9766 |

Tabla 4.4: Peso de las muestras de aceite usado

Determinar el valor de landa (λ) en las gráficas a una longitud de onda de 450nm.

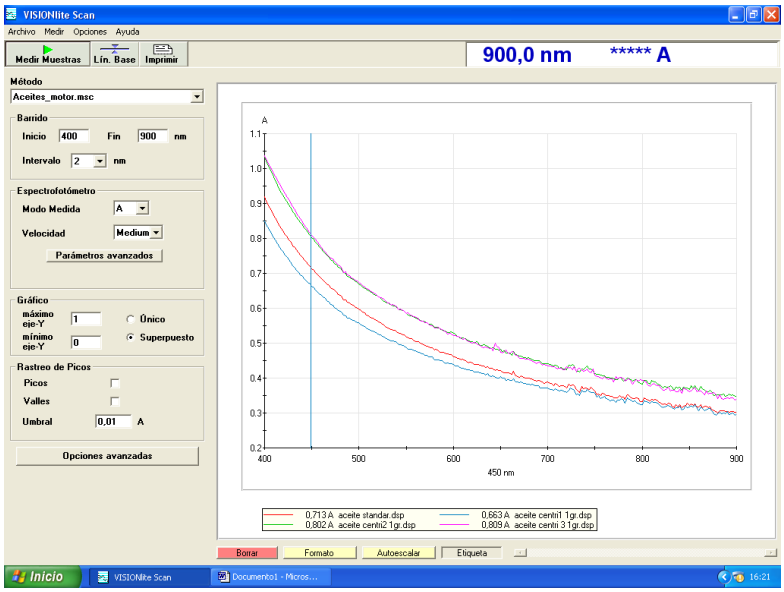



Figura 4.56: Valor de landa (λ)

Los valores de landa se presentan a continuación, los mismos que posteriormente serán analizados.

| Valores de Landa | |
|---|---|
| **Muestra** | (λ) |
| **Aceite usado** | 0,713 |
| **Aceite centrifugado 1** | 0,663 |
| **Aceite centrifugado 2** | 0,802 |
| **Aceite centrifugado 3** | 0,809 |

Tabla 4.5: Valores de landa (λ)

#### 4.3.1.4 Datos de la polarografía stripping

Los datos obtenidos luego de realizar el análisis de la muestra por polarografía strripping son los siguientes:

| Presencia de metales pesados | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Muestra** | **Cadmio** | **Plomo** | **Cobre** | **Zinc** |
| | **ppb** | **ppb** | **ppb** | **ppm** |
| **Aceite usado** | 188,4 | 221,2 | 1132,6 | 37,4 |
| **Aceite centrifugado** | 198,4 | 289,4 | 892,6 | 35,5 |

Tabla 4.6: Resultado del análisis de metales pesados en el aceite usado automotriz

Obtener la diferencia de ppb o ppm que existe entre cada muestra.

| **Metales** | **Aceite usado** | **Aceite centrifugado** | **Diferencia** |
|---|---|---|---|
| **Cadmio** | 188,4 | 198,4 | 10 |
| **Plomo** | 221,2 | 289,4 | 68,2 |
| **Cobre** | 1132,6 | 892,6 | 240 |
| **Zinc** | 37,4 | 35,5 | 1,9 |

Tabla 4.7: Diferencia de los valores obtenidos

### 4.3.2 Análisis de los datos

#### 4.3.2.1 Análisis de los datos de viscosidad

Para analizar las viscosidades colocamos una tabla de los datos obtenidos.

| Viscosidad | |
|---|---|
| **Muestra** | **(poise)** |
| **Aceite usado 0** | 0,1252 |
| **Aceite centrifugado 1** | 0,1366 |
| **Aceite centrifugado 2** | 0,1461 |
| **Aceite centrifugado 3** | 0,1583 |
| **Aceite centrifugado 4** | 0,1645 |

Tabla 4.8: Valores de la viscosidad de las muestras de aceite

Podemos observar que la viscosidad del aceite usado se incrementa con el número de centrifugaciones que se realiza, mejorando de esta manera la calidad del aceite usado automotriz.

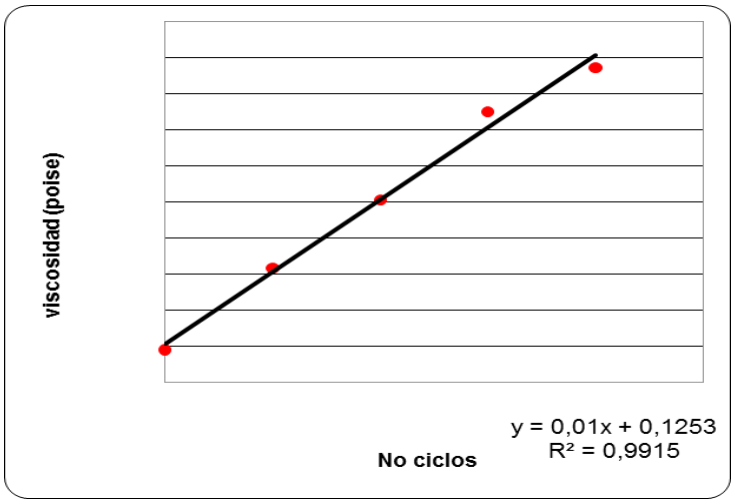



Figura 4.57: Gráfica del incremento de la viscosidad

Del ajuste de la curva que realizamos con los datos de la viscosidad y el número de centrifugaciones, observamos que los puntos llevan relación al trazado de la curva,

su ecuación es y = 0.01x + 0.125 y el coeficiente de determinación $R^2$=0.991, lo que nos indica que tenemos un muy buen modelo generado por estos datos.

Como parte del análisis podemos comparar la viscosidad de cada una de las muestras contra un aceite referencia (Havoline SAE 30).

| **Viscosidad** | | |
|---|---|---|
| **Muestra** | **(poise)** | **%** |
| **Aceite referencia** | 0,2139 | 100 |
| **Aceite usado 0** | 0,1252 | 58,509962 |
| **Aceite centrifugado 1** | 0,1366 | 63,866788 |
| **Aceite centrifugado 2** | 0,1461 | 68,294735 |
| **Aceite centrifugado 3** | 0,1583 | 74,016193 |
| **Aceite centrifugado 4** | 0,1645 | 76,915489 |

Tabla 4.9: Comparación de viscosidad con un aceite de referencia

Observamos que la viscosidad de la muestra (aceite centrifugado 4), se ha incrementado un 18% en relación con la muestra (aceite usado 0), pero aun así no se ha llegado a un 100 % de la viscosidad con respecto al de referencia, esto se debe a que la muestra de aceite usado automotriz es la mezcla de muchos aceites de distintas composiciones y características, que afectan en la viscosidad de la muestra.

También existen otros tipos de contaminantes (combustibles) y procesos (nitración y oxidación) que degradan al aceite al ser usado en el interior de un motor y que afectan en la viscosidad del mismo.

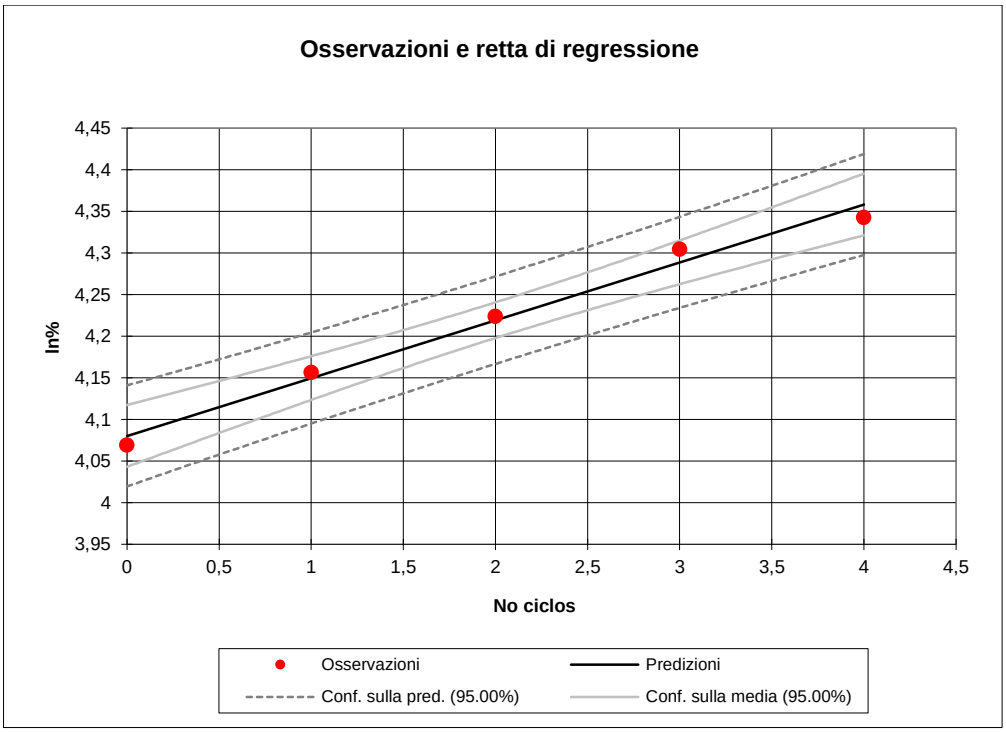



Figura 4.58: Curva de los datos de la viscosidad

Podemos también analizar la curva que generan los datos de la viscosidad y su porcentaje, tenemos que es un proceso que tiende a estabilizarse y que los resultados están dentro de los parámetros permitidos, este ajuste de curva nos permite calcular datos no conocidos confiables debido al modelo generado.

### 4.3.2.2 Análisis de los datos de la espectroscopia infrarroja

Por medio de la espectroscopia infrarroja podemos estudiar la presencia de contaminantes y averiguar su nivel mediante el análisis de sus frecuencias, vamos a analizar la presencia de etilenglicol y agua, los mismos que llegan al aceite por su uso dentro del motor o por su manipulación una vez que ha dejado al mismo.

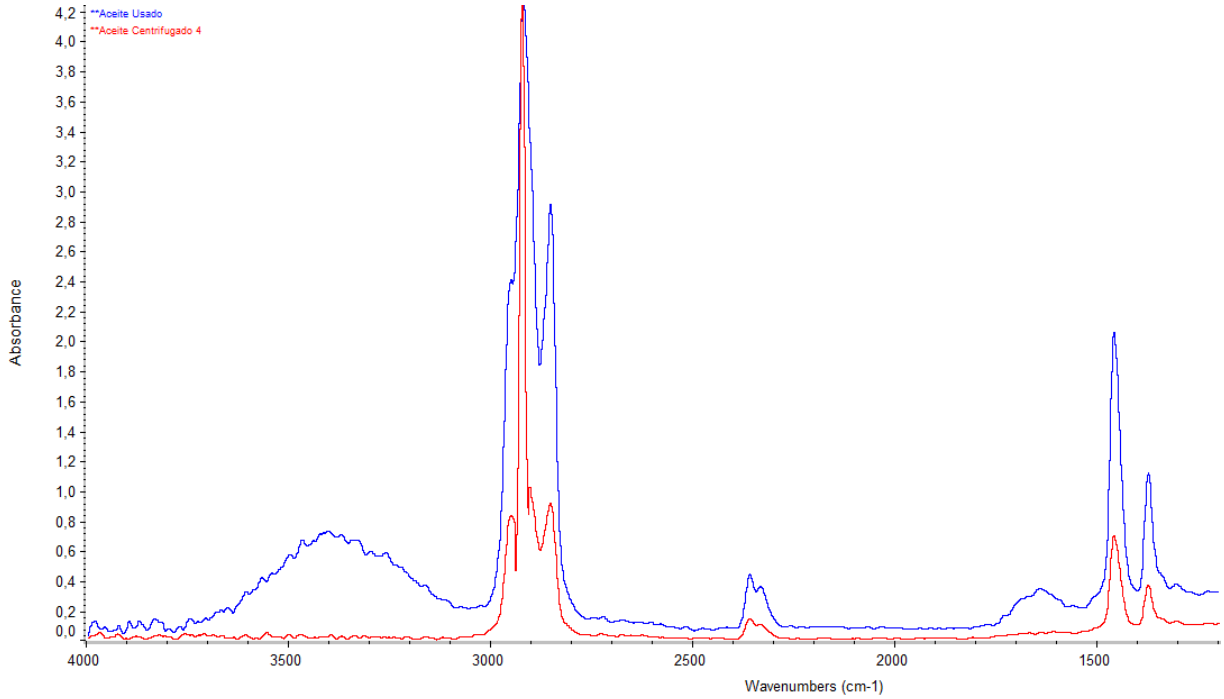



Figura 4.59: Curvas de las muestras aceite usado y centrifugado

La presencia de etilenglicol en el aceite usado se debe a la contaminación por grupos hidroxilo (-O-C) que están presentes en los anticongelantes utilizados en el sistema de refrigeración de los vehículos, para observar la presencia de etilenglicol analizar las muestras (aceite usado y aceite centrifugado 4) en una la longitud de onda de 3370 $cm^{-1}$, para ello modificamos la escala para tener una mejor apreciación de los resultados.

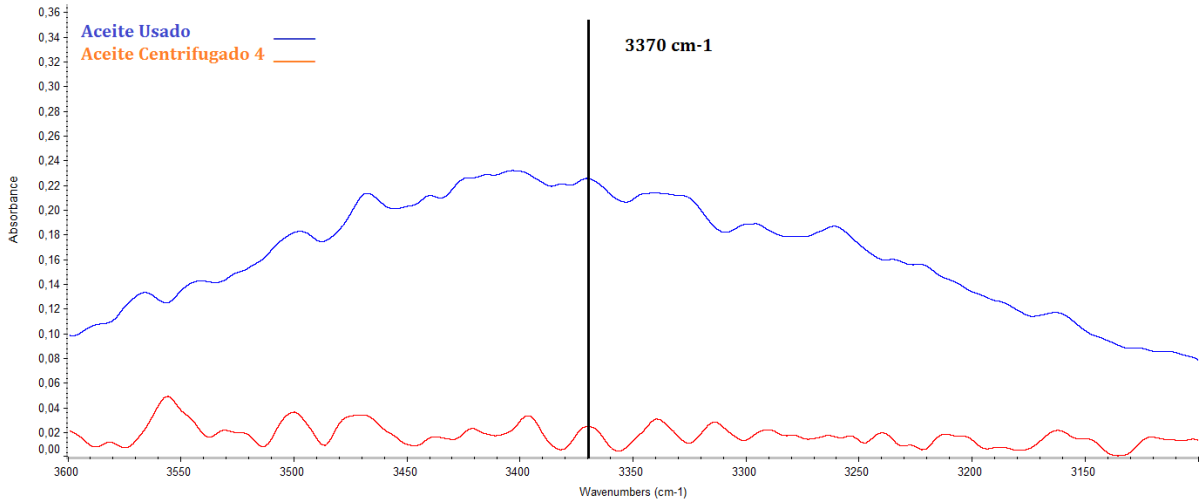



Figura 4.60: Presencia de etilenglicol en las muestras de aceite usado y centrifugado

Podemos observar en la Figura 4.60 que existe un descenso en el nivel de etilenglicol en la muestra de aceite centrifugado con respecto a la del aceite usado, el aceite contaminado con etilenglicol, pierde su característica de fluidez lo que produce atascamiento de rines y taponamiento de filtros, por lo que al disminuir la presencia del mismo logramos mejorar las características del aceite usado automotriz.

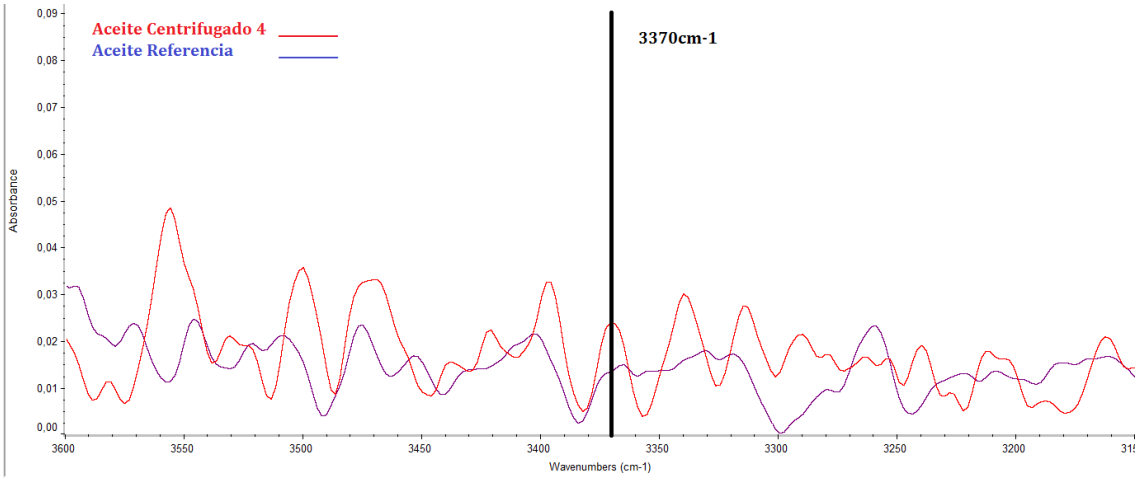



Figura 4.61: Presencia de etilenglicol en aceite usado y de referencia

La figura 4.61 compara la presencia de etilenglicol en el aceite centrifugado 4 contra un aceite de referencia (aceite Havoline SAE 30 sin uso), se puede observar que la presencia del contaminante ya es mínima con respecto al aceite de referencia.

La presencia de agua en el aceite se caracteriza por vibraciones del enlace (-O-H) a una longitud de onda de 1600 $cm^{-1}$ y con la utilización de espectroscopia podemos detectar agua a concentraciones bajas; para observar el agua presente en las muestras (aceite usado y aceite centrifugado 4), modificamos la escala de las mismas a dicha frecuencia para apreciar los resultamos.

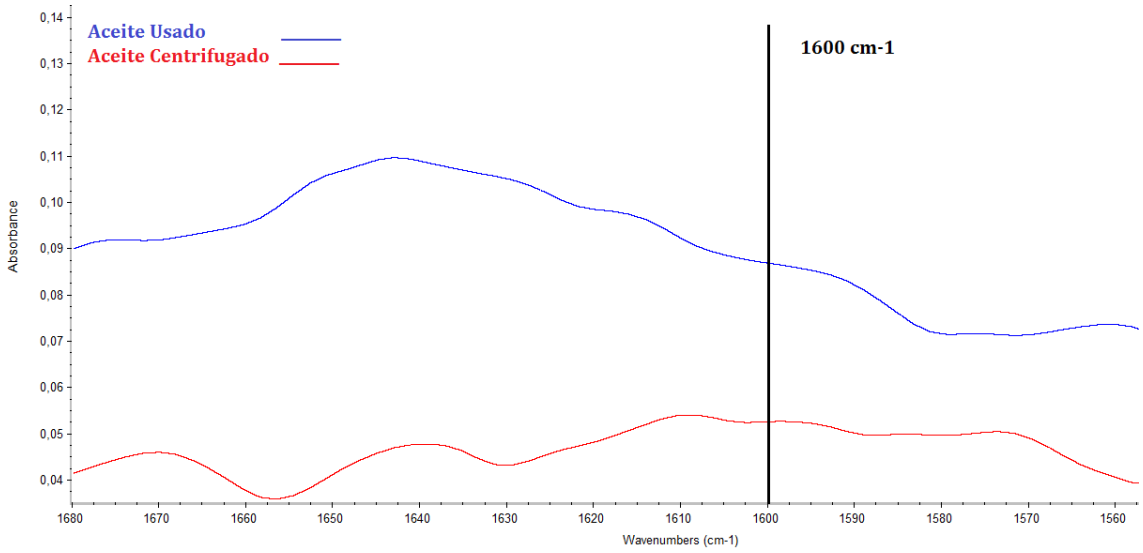



Figura 4.62: Presencia de agua en las muestras de aceite usado y centrifugado

Podemos observar en la Figura 4.62 que la presencia de agua en la muestra (aceite centrifugado 4), ha disminuido con relación a la muestra (aceite Usado), esto favorece a mejorar la viscosidad del aceite automotriz usado como mejorar sus características debido a que la presencia de agua en el aceite produce una emulsión que ocasiona ácidos peligrosos que corroen las piezas de metal y pueden tapar los filtros.

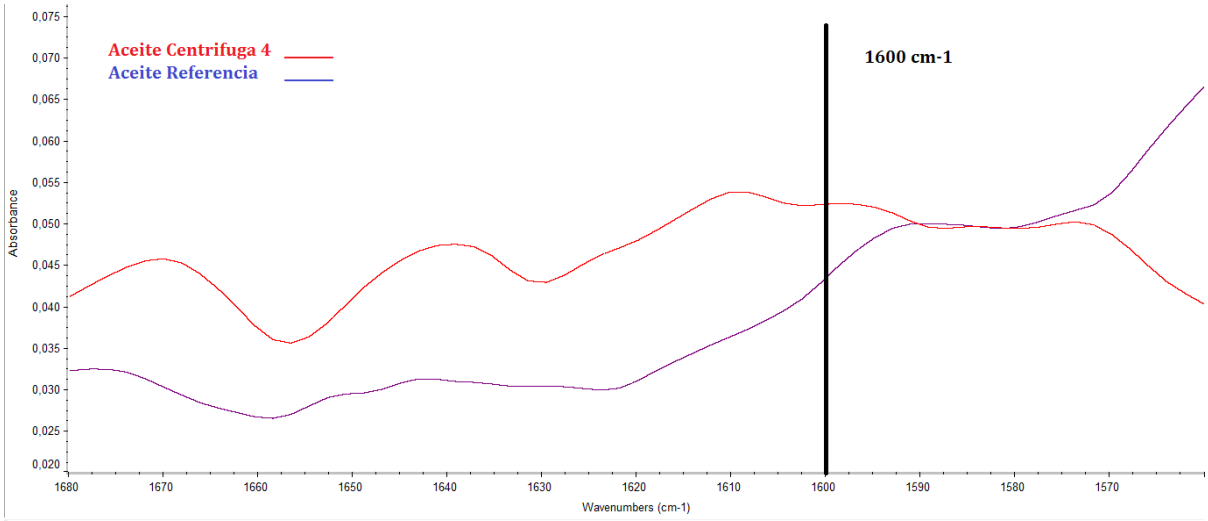



Figura 4.63: Presencia de agua del aceite centrifugado y de referencia

La figura 4.63 nos muestra la presencia de agua del aceite centrifugado 4 contra un aceite de referencia, de igual manera podemos observar que la presencia de agua es

mínima comparada contra la muestra de aceite usado original, esto confirma que el proceso de centrifugado del aceite usado mejora las características del mismo.

Nota: Se tomó como aceite de referencia un aceite Havoline SAE 30.

#### 4.3.2.3 Análisis de los datos de la espectrofotometría ultravioleta visible

Para analizar los datos de la espectrofotometría ultravioleta visible realizamos una relación, se divide el valor de landa obtenido de la gráfica para el peso real de la muestra.

Esta relación nos sirve para analizar la turbiedad de cada muestra y tomando como patrón de referencia la muestra de aceite usado (100 % de turbiedad), calculamos el porcentaje de cada muestra.

| **Porcentaje de turbiedad** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Muestra** | **Landa** | **Peso** | **Relación** | **Porcentaje (%)** |
| **Aceite usado** | 0,713 | 1,0845 | 0,65744583 | 100 |
| **Aceite centrifugado 1** | 0,663 | 0,9398 | 0,70546925 | 107,3045487 |
| **Aceite centrifugado 2** | 0,802 | 1,0415 | 0,77004321 | 117,1264927 |
| **Aceite centrifugado 3** | 0,809 | 0,9766 | 0,82838419 | 126,0003775 |

Tabla 4.10: Valores del porcentaje de turbiedad de las diferentes muestras de aceite

Podemos apreciar que los valores de turbiedad se elevan mientras más centrifugaciones tiene la muestra, esto nos indica que las operaciones que realizamos para bajar el porcentaje de partículas suspendidas en el aceite usado no da los resultados esperados, esto se debe a que en el proceso de decantado y centrifugado no se logra la total eliminación del elemento (harina de diatomeas) añadido al aceite para ayudar la precipitación del material particulado, sino que este contribuye a elevar el porcentaje, deberíamos analizar el uso de otra alternativa que ayude a disminuir el mismo, como la utilización de un filtro prensa.

#### 4.3.2.4 Análisis de los datos de la polarografía stripping

Con el análisis de los datos de la polarografia stripping, podemos cuantificar las partículas por millón (ppm) o partículas por billón (ppb) de metales pesados que existen en las muestras y las posibles causas del por qué dichos metales se encuentran en éstas, los datos obtenidos son:

| Metales | Aceite usado | Aceite centrifugado | Diferencia |
|---|---|---|---|
| **Cadmio (ppb)** | 188,4 | 198,4 | 10 |
| **Plomo(ppb)** | 221,2 | 289,4 | 68,2 |
| **Cobre(ppb)** | 1132,6 | 892,6 | 240 |
| **Zinc(ppm)** | 37,4 | 35,5 | 1,9 |

Tabla 4.11: Valores de la cuantificación de los metales pesados

Podemos observar que no hay mayor diferencia de ppb o ppm de las muestras, esto representa que ninguna de las operaciones mecánicas de separación que realizamos al aceite usado, nos ayuda a reducir de una manera eficiente la presencia de estos metales, una alternativa para disminuir estos porcentajes es realizar una destilación química al aceite usado.

Además podemos acotar que la presencia de metales como el Cadmio, Plomo y Cobre se encuentra en una muy baja concentración debido a que están en un orden de partes por billón.

La presencia de este tipo de metales en el aceite usado automotriz se debe al desgaste de las piezas de los motores en los cuales fue utilizado el aceite, como por ejemplo la presencia de cobre (Cu), cadmio (Cd) y plomo (Pb) nos indica un desgaste entre apoyos como los cojinetes de biela y bancada, y la presencia de zinc (Zn) no puede ser evaluada como un síntoma de desgaste, este elemento está presente debido a que se lo utiliza dentro de los aditivos que se añaden al aceite en su formulación.

## 4.4.Conclusiones

El capítulo describe el proceso para la toma de las muestras, las técnicas aplicadas para su análisis en el laboratorio así como la interpretación de los resultados.

Dentro del proceso efectuado para la toma de las muestras se ha descrito como se procedió a recolectar cada una de las mismas, a más de describir el procedimiento realizado.

Cabe indicar que la toma de muestras sufrió retrasos debido a la restricción de potencia que tenemos con el equipo fabricado, como tiempo promedio se requirió de tres horas de centrifugado para obtener una muestra de 100 ml de aceite.

Con respecto a las técnicas aplicadas para el análisis del aceite, se describe cada una de ellas, así como el procedimiento para el uso adecuado del equipo y el tratamiento que se le debe dar a la muestra a ser analizada, el apego a los procedimientos y la práctica de normas de seguridad en laboratorio son necesarios para obtener resultados confiables debido a la fragilidad de los materiales de laboratorio.

En un análisis en laboratorio no existe la precisión absoluta debido a fallas humanas o baja precisión de los elementos, hay que tener los cuidados respectivos y seguir la normativa de las pruebas con el fin de no acrecentar este grado de error.

En su parte final presenta la tabulación y análisis de los resultados obtenidos, podemos resaltar que la viscosidad de la muestra final aumentó un 18 % con respecto al valor de la inicial, dato que es corroborado por las gráficas de la espectroscopia infrarroja, que visualiza un descenso en el nivel de agua y etilenglicol en el aceite automotriz usado.

En lo que concierne al análisis de espectrofotometría ultravioleta visible no se obtuvo un resultado satisfactorio en nuestro intento de disminuir el nivel de material particulado suspendido del aceite usado, lo que da a conocer que el proceso que utilizamos no es el adecuado para lograr este objetivo.

Un análisis complementario constituyó el de metales pesados el cual fue realizado con el fin de conocer el contenido de cadmio, cobre, zinc y plomo de la muestra, valores que no tuvieron un relativo cambio debido a que ninguna de las acciones realizadas al aceite automotriz usado fueron encaminadas a cumplir esta labor, estos datos son simplemente informativos pero de mucha ayuda al conocer el contenido de plomo (Pb), elemento muy dañino para la salud humana.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a lo expuesto en este trabajo podemos concluir que es posible desarrollar un sistema de recuperación de aceite usado automotriz en nuestro medio a pesar de las limitaciones que se tienen, el diseño aquí presentado constituye un modelo para el desarrollo de proyectos similares a gran escala con los concernientes beneficios que implicaría esto para nuestra ciudad.

El sistema dio buenos resultados al mejorar la viscosidad del aceite automotriz usado disminuyendo los niveles de agua y etilenglicol por medio de una centrifugación a un costo relativamente bajo al compararlo con otros sistemas de recuperación.

Con respecto, al nivel de material particulado suspendido en el aceite automotriz usado, no se obtuvo buenos resultados para disminuir el mismo al realizar una decantación y centrifugación, concluyendo que este proceso no es adecuado para este objetivo y se debería optar por otras operaciones como el uso de un filtro prensa.

La muestra inicial puede variar debido a que constituye una mezcla de todos las aceites usados de la ciudad de Cuenca, su composición depende del manejo que le den al aceite una vez que ha sido retirado del motor hasta que llegue al tanque de almacenamiento, el conocer los porcentajes de contaminantes que contiene el lubricante es una oportunidad para desarrollar un proyecto complementario al programa de recolección, con el objetivo de ampliar las posibilidades de reciclaje del aceite usado.

Como recomendaciones podemos citar, que la utilización de un filtro prensa para disminuir el nivel de material particulado suspendido, es una investigación que complementa el presente trabajo.

Que el desarrollo de un programa anexo al de recolección del aceite automotriz usado, que sea enfocado a las lubricadoras y talleres automotrices para una correcta separación y almacenaje del lubricante facilita el reciclaje del aceite.

Para fabricar los componentes del equipo, usar la vestimenta adecuada como respetar las normas de seguridad en el uso de las máquinas – herramientas.

El uso del grilon dentro de la fabricación de piezas torneadas es un producto económico y que posee buenas propiedades mecánicas para la elaboración de elementos que no sean en serie.

Al usar y manipular las muestras como los equipos de laboratorio, usar la vestimenta adecuada, seguir los procedimientos de uso y tener el cuidado respectivo.

# BIBLIOGRAFÍA

## Referencias bibliográficas

ALBARRACIN Aguillon, Pedro. Ingenieros de Lubricación. Tribología y lubricación Industrial y automotriz. Medellín. 2006 T.I.2ª ed. 976p.

ASA Barnes, Fred. JACKSON, W.M. Ingeniería Mecánica. Enciclopedia práctica Jackson: Conjunto de conocimientos para la formación autodidáctica. Tomo 9. W.M. Jackson. New York. 2004. 10ª ed. 460p.

Aserpetrol.Asociación Empresas Refinadoras de Petróleo. España.

BENLLOCH María, Jose. Lubricantes y lubricación aplicada. Barcelona. Ediciones Ceac. 2005. 2ª ed. 359p.

Caterpillar, Folleto de El aceite lubricante y su motor. Pág.11.

CONCHA Arcil Fernando. Manual de Filtración y Separación, Universidad de Concepción, Chile. Pag. 418

E. Mundi Crespo. Los lubricantes y sus aplicaciones. 2ª ed. 2001

GRANGER Brown Geoge. Operaciones básicas de la Ingeniería Química, España, Editorial Marín, S.A., 2002 Pg. 586

MOBIL. Descripción de productos / (s.e). Bogotá.3ª ed. 103p.

PERRY, Robert H., ED. GREEN, Don W., ED. MALONEY, James O., ED. Perry manual del ingeniero químico. McGraw-Hill. México. 2005. 6ª ed. T. I; 3-340p.

TORMOS, B. Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España, Editorial Reverté, 2003. Pág.100

VALIENTE Barderas, Antonio. Diccionario de ingeniería química. Addison Wesley Longman. México. 2007. 237p.

VALBUENA Rodriguez, Oscar. Manual de mantenimiento y reparación de vehículos/ T.3. Alfaomega. Bogotá. 2008. 2ª ed. 213p.

VIDAL, R. Benito. Lubricantes: características y contratipos. EDINFORM. Barcelona. 2004. 2ª ed. 436p.

**Referencias electrónicas:**

Consulta: Viscosidades en aceites para motor, clasificación API para motores nafteros, clasificación API para motores diesel.
Fecha de acceso: 12 de febrero 2011
http://www.cal.org.ar/system/contenido.php?id_cat=8

Consulta: Polarografía
Fecha de acceso: 22 de mayo 2012
http://clasesusanita.blogspot.com/2010/01/polarografia.html

Consulta: Características del acero inoxidable
Fecha de acceso: 12 de junio de 2011
http://www.elinox.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid=103&lang=es

Consulta: Imagen tanquero de Etapa
Fecha de acceso: 4 de febrero de 2012
http://www.etapa.net.ec/DGA/_layouts/IMAGES/ETAPA/internet/DGA/gestionambiental/aceites/imagenes/tanquero2.jpg

Consulta: Centrifuga de discos o platos.
Fecha de acceso: 07 de julio de 2011
http://www.monografias.com/trabajos7/centri/centri.shtml

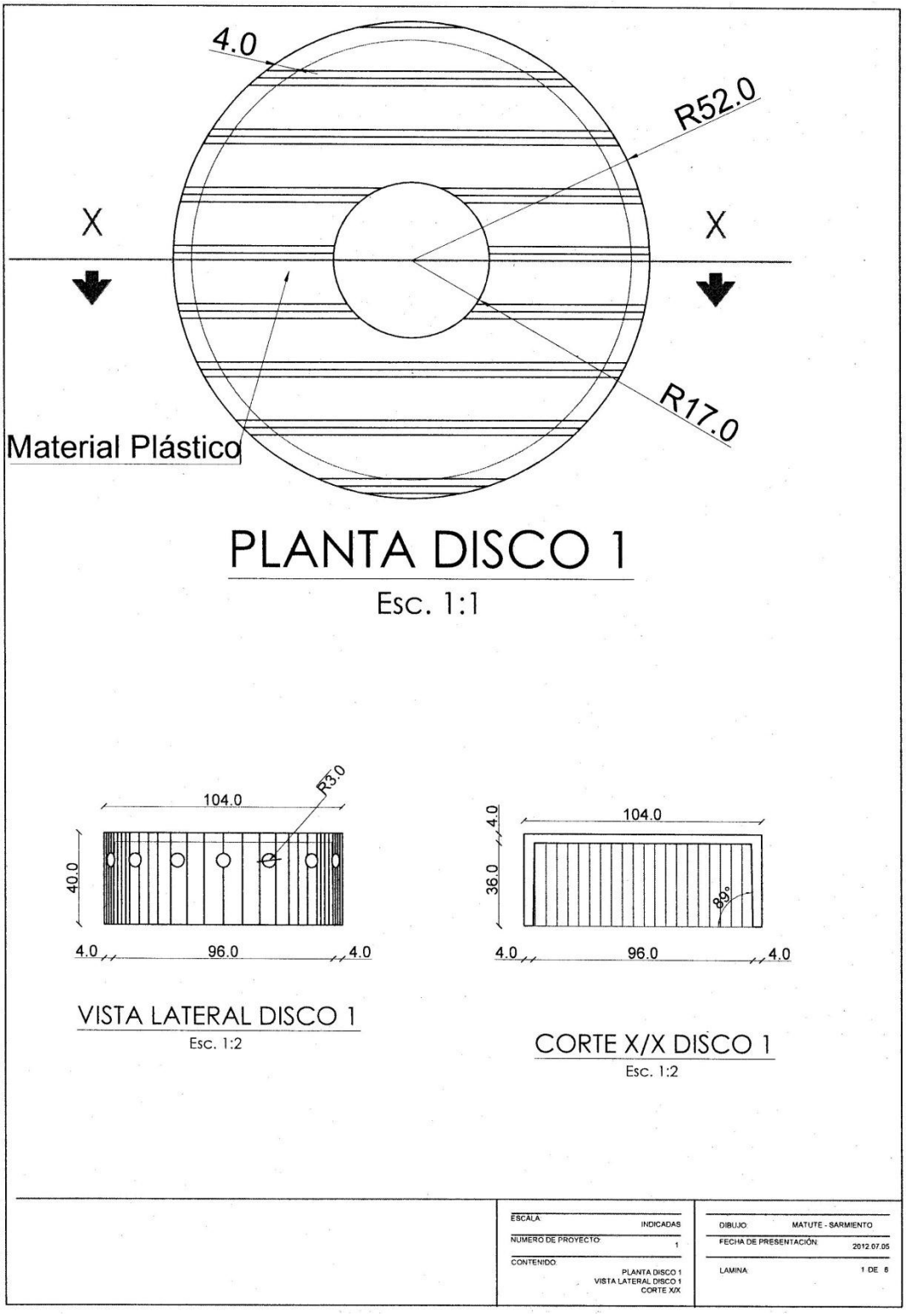
Consulta: Harina de diatomeas
Fecha de acceso: 04 de febrero de 2012
http://es.scribd.com/doc/75117860/KIESELGUR-Metodos-de-Ensayo-y-Propiedades-Filtrantes-El-Kieselgur-Espanol-y- su-Activación

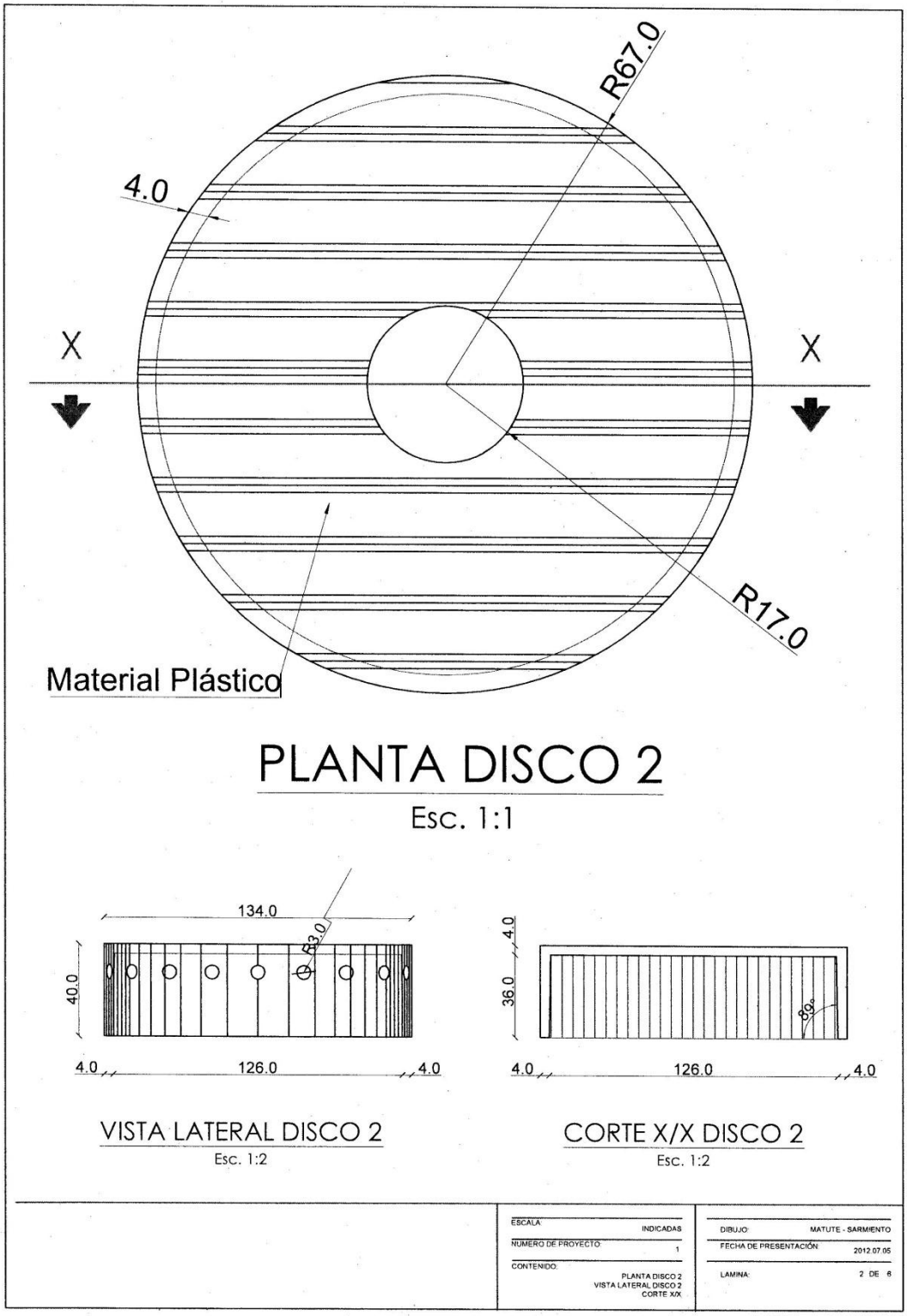
Consulta: Grillon
Fecha de acceso: 12 de junio de 2011
www.syar.com.uy

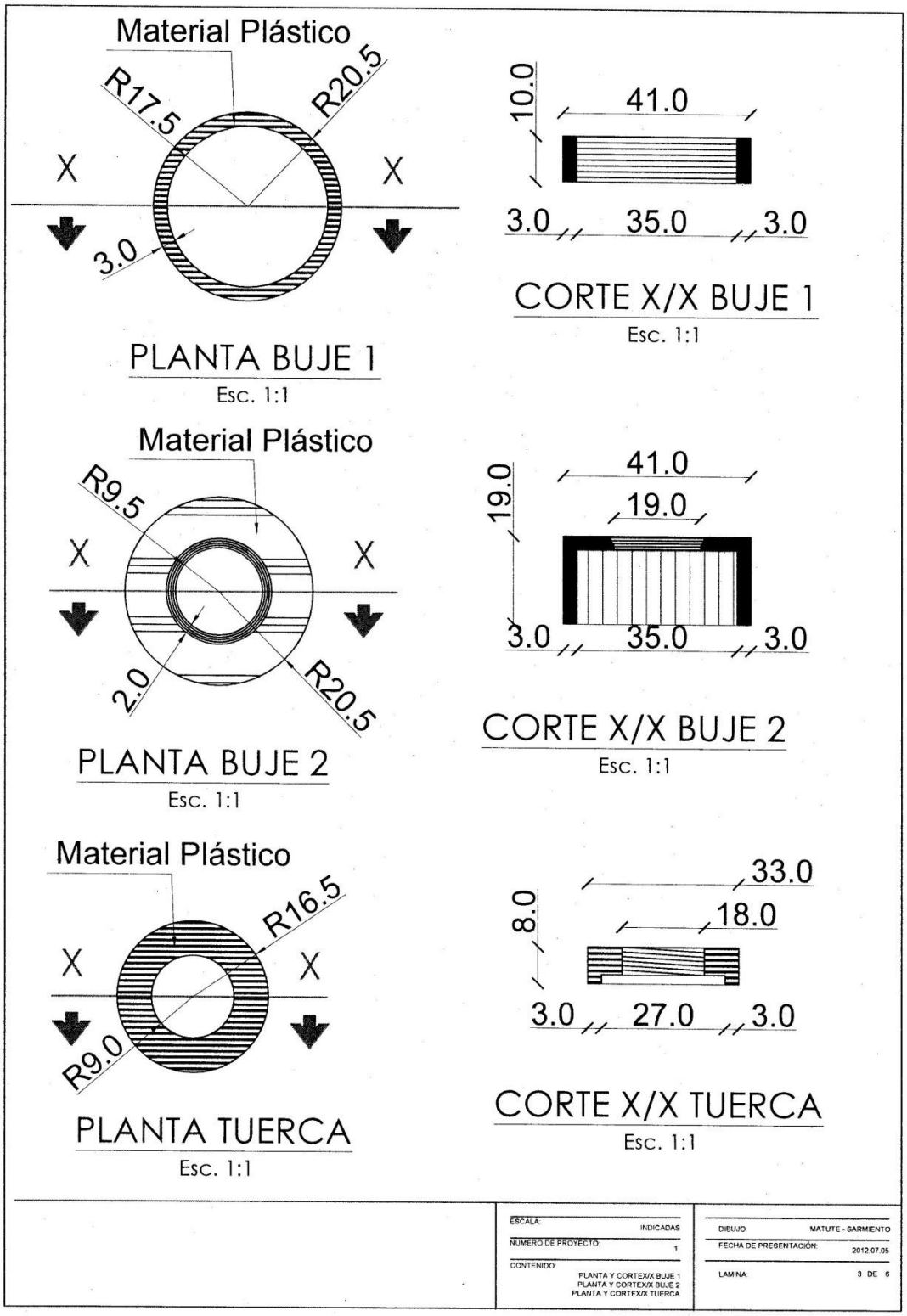
Consulta: Acero inoxidable
Fecha de acceso: 12 de junio de 2011
http://es.wikipedia.org/wiki/Acero_inoxidable

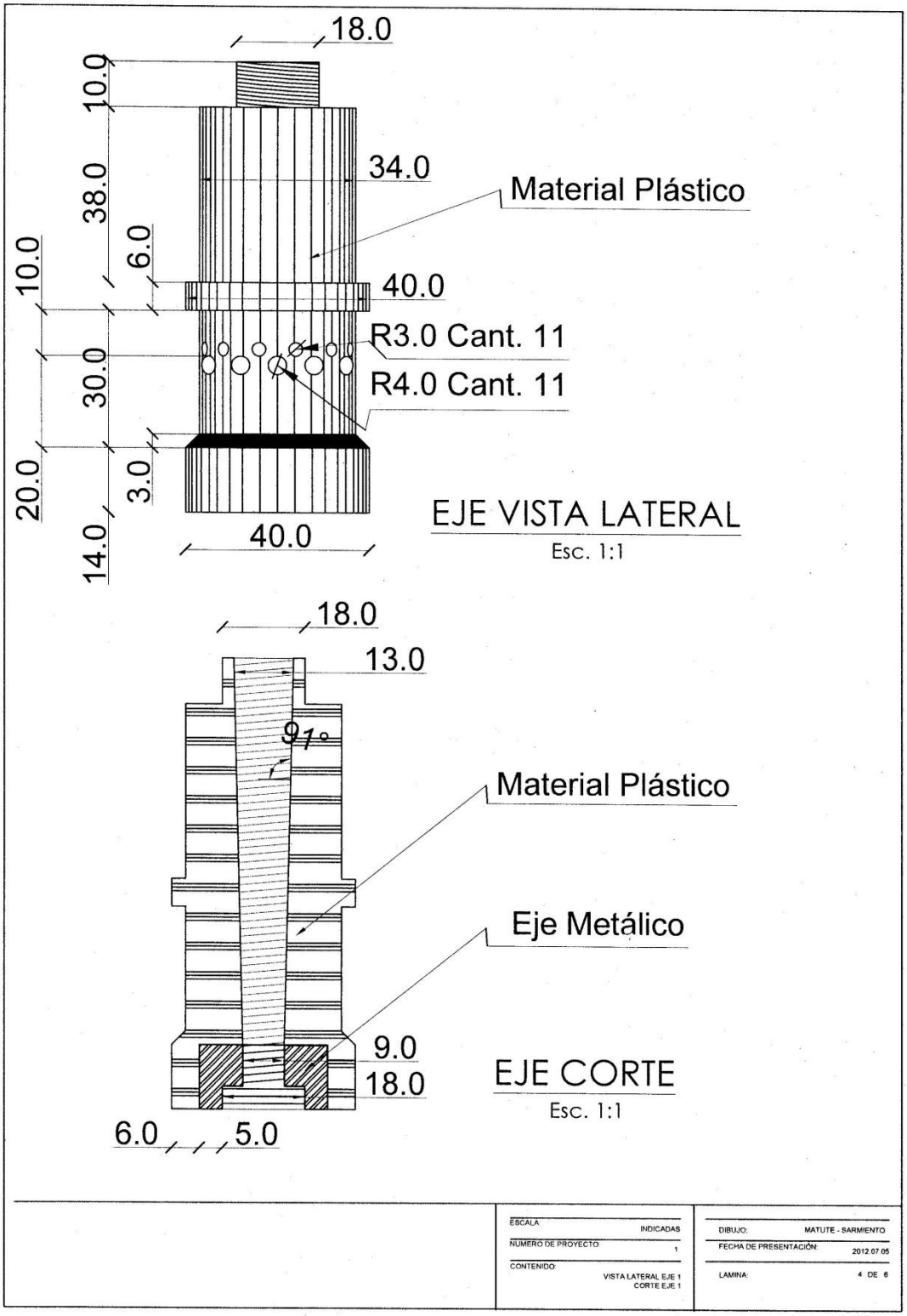
# ANEXOS

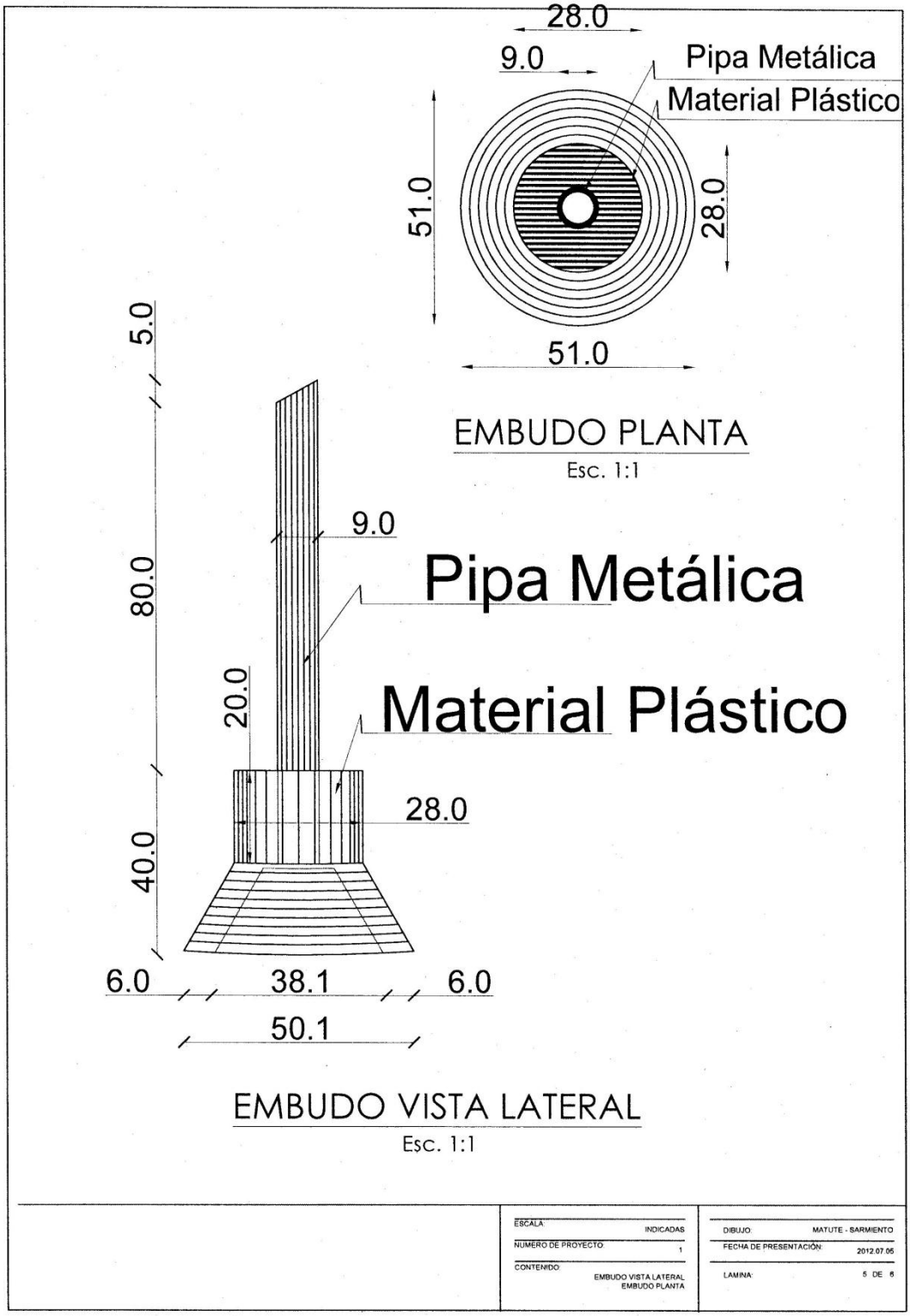
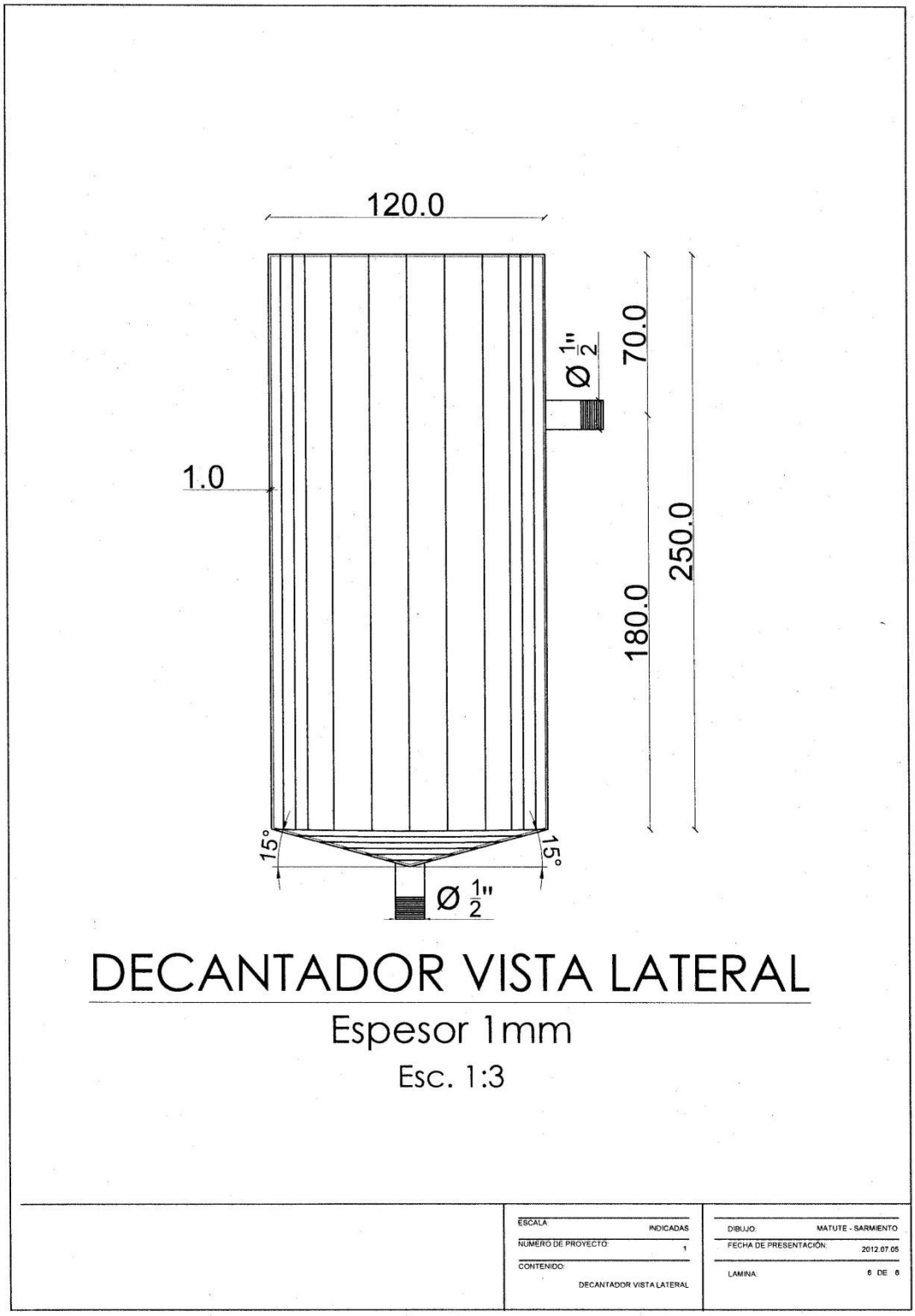
## Especificaciones de las partes móviles de la centrífuga




R67.0
4.0
X
X
R17.0
Material Plástico
PLANTA DISCO 2
Esc. 1:1
134.0
R3.0
40.0
4.0
126.0
4.0
VISTA LATERAL DISCO 2
Esc. 1:2
4.0
36.0
80°
4.0
126.0
4.0
CORTE X/X DISCO 2
Esc. 1:2
ESCALA: INDICADAS
NUMERO DE PROYECTO: 1
CONTENIDO: PLANTA DISCO 2
VISTA LATERAL DISCO 2
CORTE X/X
DIBUJO: MATUTE - SARMIENTO
FECHA DE PRESENTACIÓN: 2012.07.05
LAMINA: 2 DE 6


Material Plástico
R17.5
R20.5
X
X
3.0
PLANTA BUJE 1
Esc. 1:1
10.0
41.0
3.0
35.0
3.0
CORTE X/X BUJE 1
Esc. 1:1
Material Plástico
R9.5
X
X
2.0
R20.5
PLANTA BUJE 2
Esc. 1:1
19.0
41.0
19.0
3.0
35.0
3.0
CORTE X/X BUJE 2
Esc. 1:1
Material Plástico
R16.5
X
X
R9.0
PLANTA TUERCA
Esc. 1:1
8.0
33.0
18.0
3.0
27.0
3.0
CORTE X/X TUERCA
Esc. 1:1
ESCALA: INDICADAS
NUMERO DE PROYECTO: 1
CONTENIDO: PLANTA Y CORTEX/X BUJE 1
PLANTA Y CORTEX/X BUJE 2
PLANTA Y CORTEX/X TUERCA
DIBUJO: MATUTE - SARMIENTO
FECHA DE PRESENTACIÓN: 2012.07.05
LAMINA: 3 DE 6


18.0
10.0
38.0
34.0
Material Plástico
6.0
10.0
40.0
R3.0 Cant. 11
30.0
R4.0 Cant. 11
20.0
3.0
14.0
40.0
EJE VISTA LATERAL
Esc. 1:1
18.0
13.0
91°
Material Plástico
Eje Metálico
9.0
18.0
EJE CORTE
Esc. 1:1
6.0
5.0
ESCALA: INDICADAS
NUMERO DE PROYECTO: 1
CONTENIDO: VISTA LATERAL EJE 1 CORTE EJE 1
DIBUJO: MATUTE - SARMIENTO
FECHA DE PRESENTACIÓN: 2012.07.05
LAMINA: 4 DE 6


28.0
9.0
Pipa Metálica
Material Plástico
51.0
28.0
51.0
EMBUDO PLANTA
Esc. 1:1
5.0
9.0
80.0
Pipa Metálica
20.0
Material Plástico
28.0
40.0
6.0
38.1
6.0
50.1
EMBUDO VISTA LATERAL
Esc. 1:1
ESCALA: INDICADAS
NUMERO DE PROYECTO: 1
CONTENIDO: EMBUDO VISTA LATERAL EMBUDO PLANTA
DIBUJO: MATUTE - SARMIENTO
FECHA DE PRESENTACIÓN: 2012.07.05
LAMINA: 5 DE 6

**Especificaciones del decantador**