



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**DISEÑO DE CONFIGURACIÓN DE UN SEPARADOR MECÁNICO DE  
LÍQUIDOS CON PARTÍCULAS SÓLIDAS**

**T É S I S**

**PARA PRESENTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**P R E S E N T A :**

**MARCO TULIO OLVERA BADILLO**

**DIRECTOR DE TESIS: ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO**



**CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, D.F., FEBRERO DE 2011**

## ÍNDICE

<b><i>Dedicatorias.</i></b>	i
<b><i>Prólogo.</i></b>	ii
<b><i>Introducción.</i></b>	
• Necesidad de separación y recuperación del aceite.	iii
• Efectos del vertido incontrolado en los sistemas de alcantarillado.	iii
• La importancia del aceite reciclado.	iv
• Descripción de contenido.	v
<b><i>Objetivo.</i></b>	vii
<b><i>Antecedentes.</i></b>	viii
• Características mismas del aceite usado.	ix
• Hipótesis.	ix
• Definición de una mezcla.	ix
• Métodos de separación de mezclas.	x
• Separadores mecánicos de mezclas.	xi
• Comparación de los procesos.	xx
<b>Capítulo 1. Diseño conceptual.</b>	
1.1 La importancia del un adecuado procedimiento.	2
1.2 Métodos seleccionados para separar líquidos con partículas suspendidas.	2
1.3 Propuestas de métodos a utilizar.	3
<b>Capítulo 2 Proceso experimental</b>	
2.1 Justificación para diseñar y fabricar el prototipo centrífugo de velocidad variable.	6
2.2 Pruebas preliminares del dispositivo centrífugo.	8
2.3 Aceite para experimentación y sus características.	9
2.4 Marco de referencia y caracterización de aceite a utilizar.	10
2.5 Proceso de decantado por gravedad.	18
2.6 Métodos centrífugos propuestos para la separación de partículas.	19
2.7 Procedimiento de destilación.	22
2.8 Observaciones en la centrifugación.	23
2.9 Resultados de la experimentación.	23
<b>Capítulo 3. Diseño de configuración</b>	
3.1 Propuesta de métodos a utilizar	26
3.2 Propuesta de método de llenado automatizado y separadora de partículas.	27
3.3 Configuración de dispositivos centrífugos por decantado	28
3.4 Propuesta de diseño, configuración y distribución de maquinaria.	30
<b>Conclusiones</b>	34

**Anexos**

Anexo.1 Propiedades de los materiales utilizados

37

Anexo.2 Vista y planos del prototipo

41

**Bibliografía.**

43

## **Prólogo.**

Presento a consideración de la comunidad académica, la siguiente investigación de la tesis de licenciatura titulada:

**Diseño de configuración de un separador mecánico de líquidos con partículas sólidas.** La propuesta del trabajo de investigación se realizó en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. La investigación se realizó con el objetivo de encontrar una solución a la reutilización del aceite utilizado en la industria de la comida frita ya sea de origen animal, vegetal, y además funciona para separar aceite mineral de automóviles y maquinaria en general. En los métodos investigados también se encontró que es posible realizar la separación de cualquier otro líquido con partículas suspendidas.

El problema de la contaminación por el vertido de aceite en el sistema de alcantarillado provoca un gran problema ecológico, debido a que el aceite se mezcla con las aguas residuales y por lo general el agua de las grandes ciudades termina en los mares y ríos lo que es un grave problema ecológico. La manera de combatir este desperdicio es aprovechando el aceite para utilizarlo en algún producto industrial y obtener un beneficio económico. Los residuos de aceites de la industria alimentaria pueden ser reutilizados de manera que el desperdicio de una empresa se convierta en la materia prima de otra, pero para realizar dicho proceso se requiere de la separación de la mezcla de aceite de sus partículas suspendidas así como de grasas de diferente densidad contenidas en la mezcla, teniendo la posibilidad de convertirse mediante un proceso industrial en un combustible de origen vegetal como lo es el biodiesel de gran valor económico.

La tecnología de separación del aceite es un proceso donde esencialmente una porción de aceite o grasa de diferente densidad es separada de una porción de aceite reutilizable. El proceso es físico, y se basa en la diferencia de densidad entre la grasa, partículas y aceites y en algunas circunstancias agua, todo depende de la fuente del material. Si el aceite lo dejamos decantar por gravedad, observamos que el aceite de menor densidad se posiciona por encima del de mayor densidad formando fases donde se puede encontrar nuestra materia prima de alto valor económico.

En esta investigación se investigaron métodos existentes para la separación de partículas y de líquidos de diferentes densidades para poder realizar un proceso de separación del aceite de cocina usado de manera continua. Para poder aplicar los métodos existentes a estos casos, fue necesario realizar una investigación en los métodos de separación para encontrar un equilibrio en la inducción de energía y la velocidad del proceso.



# **INTRODUCCIÓN**

## **Necesidad de separación y recuperación del aceite**

Existe literalmente un sin número de razones del por qué negocios, industrias y entidades gubernamentales necesitan un sistema de separación de líquidos. Pero en general la mayoría necesita enfocarse hacia los siguientes usos:

- Remoción de partículas y separación de líquidos con diferente densidad en una mezcla.
- Tener un proceso eficiente de separación.
- Preocupación por el medio ambiente.

En empresas de reciclado de aceite, el agua y las partículas sólidas con frecuencia son el enemigo del proceso de purificación del producto, debido al método de recolección y almacenaje ya que en ciertas circunstancias se puede depositar humedad así como otras partículas suspendas por un almacenaje inadecuado.

De este modo nace la necesidad de aplicar un proceso en el cual se pueda realizar una separación de elementos dependiendo de su densidad relativa del material a separar. En el caso específico del aceite con partículas suspendas se puede realizar esta separación por medio de decantado, es decir se deja reposar el líquido de tal modo que las partículas con mayor densidad se depositen en el fondo del contenedor y por éste medio se pueden remover las partículas pesadas en el fondo del recipiente, pero debido a la densidad del aceite existen elementos que no se pueden depositar en el fondo, debido a que son muy ligeros para desplazarse hacia el fondo y por tal motivo pueden quedar suspendas en diferentes fases del líquido. La visualización de las partículas suspendas entre las fases del aceite se puede observar en la página 9 figura e.9 en el apartado de experimentación.

Actualmente se ha hecho un gran énfasis en la necesidad del reciclaje, y en especial en el reciclaje del aceite tomando en cuenta que: 1 gota de aceite de cocina contamina hasta 1 litro de agua<sup>1</sup>. De aquí nace la inminente necesidad del reciclaje de aceite usado debido a que al verterlo en las coladeras genera un grave problema de contaminación de aguas residuales que en ocasiones es de agua de lluvia el medio de transporte hacia el sistema de alcantarillado, que supuestamente lleva un ciclo de retorno a ríos, lagos y mares, pero en las grandes ciudades dicha agua es contaminada con aceite casero y vertida en los océanos del mundo provocando un grave problema de contaminación, lo cual es consecuencia directa de su vertido incontrolado.

La dinámica general del uso del aceite en domicilios particulares es que una vez utilizado, los residuos se vierten directamente en las coladeras de las cocinas (Fig. i.1) y los locales pequeños de comida los vierten en los sistemas de alcantarillado, generando atascos y malos olores en las ciudades y pueblos, debido a que no existen sistemas gubernamentales de colecta de residuos, lo que claramente es una pérdida de material reutilizable.



Figura i.1 Muestra promedio de desechos recolectados por 5 días que son arrojados al drenaje.

<sup>1</sup> Instituto sinaloense de la juventud [http://www.isju.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=243](http://www.isju.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=243)

## **Efectos del vertido incontrolado en los sistemas de alcantarillado**

- Importante agresión al medio ambiente.
- Aumento de la dificultad en la depuración de aguas residuales.
- Limitación en la reutilización de aguas residuales.
- Alto costo de mantenimiento para los sistemas de alcantarillado.
- Alto costo en estaciones de depuradoras.

Algunas soluciones planteadas a este grave problema consisten en el reciclaje de aceite doméstico como fórmula para minimizar el impacto al medioambiente, así como implementar un sistema de reciclaje de aceite doméstico por medio de la recolección y gestión de los residuos generados. Es importante el reciclaje de aceite doméstico, debido a que es un residuo altamente contaminante que pone en compromiso el desarrollo humano y por tanto el bienestar social, impidiendo la mejora de calidad de vida. Los beneficios ambientales del reciclaje del aceite doméstico son la eliminación de partículas y sustancias altamente contaminantes en nuestros ríos, lagos y mares para utilizar esa agua para consumo humano y evitar la contaminación en los mares del mundo y utilizar ese aceite en algún producto de consumo humano, como podrían ser combustibles con un alto valor económico. De tal forma podemos utilizar el proceso adecuado para la reutilización del aceite y evitar los estancamientos, la reducción en la degradación y obstrucción de los sistemas de saneamiento, así como disminución de la probabilidad y proliferación de microorganismos dañinos para la salud y lo que es verdaderamente de importancia para este estudio la reutilización del aceite para producir otros productos de consumo como lo serían jabones, glicerinas y combustibles, entre otros.

## **La importancia del aceite reciclado**

Los aceites son fundamentales para los procesos y actividad humana, tanto ambientales, como sociales e indispensable para el surgimiento y desarrollo de la vida moderna. De aquí que existe una gran importancia en la actualidad en el manejo y administración de los aceites usados sean de uso doméstico, industrial o de vehículos automotores que son muy contaminantes y difíciles de separar en las plantas de tratamientos de aguas residuales.

Si el aceite es reciclado puede tener muchos nuevos usos en una cadena sin fin, lo que no solo ahorra dinero y energía sino que evita la contaminación. Al reciclar el aceite entre los usos más conocidos de este reciclaje son: para hacer jabón, barniz para madera, lubricante, ceras, pinturas e inclusive como biocombustible para vehículos automotores y maquinas con motor de combustión interna, inclusive algunos aceite se utilizan en la industria de la construcción para facilitar el desmolde del concreto, entre otras aplicaciones industriales.

Para reutilizar los aceites usados se puede utiliza un pre-tratamiento del aceite, esto puede implica el retirar cualquier contenido de humedad dentro del aceite así como partículas suspendidas. En este proceso es conocido como decantación. Una forma sencilla de hacer esto es colocándolo en un tanque y dejarlos reposar, para que se separe el aceite del agua por la diferencia de densidad entre los dos componentes contenidos, por lo que el menos denso se logre ubicar en la parte superior del tanque que los contiene pero todo esto depende de la fuente del aceite a procesar. De esta forma, es posible vaciar el contenido de agua por la parte inferior del envase y transferirlo a un nuevo envase o filtro en el caso de necesitarlo. De esta manera el proceso permite la separación de las mezclas heterogéneas, es decir, las mezclas que no se unen.

## **Descripción de contenido**

En el capítulo de antecedentes, se observa una amplia gama de recursos y técnicas. Lo importante es conocer y estudiar el método idóneo para la realización de éste proceso. De tal manera, se enlista y describen los procesos existentes de separación haciendo un hincapié en los separadores mecánicos, que para éste estudio son aparentemente los más idóneos.

En la sección de diseño conceptual, se muestra los métodos de selección de procesos. Dichos procesos se determinan tomando en cuenta dos puntos de vista, uno técnico funcional y el otro económico. En la mayoría de los casos habrá una discordancia entre estos dos puntos de vista, pero se tiene como objetivo llegar a un punto de equilibrio para obtener un producto que satisfaga los requerimientos funcionales y que el costo se encuentre dentro de los márgenes de ganancia. El proceso o procesos a seleccionar, deberá satisfacer necesidades y condiciones para proporcionar un volumen y la velocidad requerida para producción. Es conveniente que el proceso a utilizar sea eficiente para reducir el desperdicio, por lo que se debe elegir la configuración adecuada.

En el apartado de experimentación se pone de manifiesto la selección de procesos y las pruebas pertinentes a cada método seleccionado, además del comportamiento de la mezcla en diferentes situaciones. Para realizar una separación exitosa y con la mayor eficiencia energía-velocidad, es necesario la elección de los procesos y la fabricación de un prototipo funcional, además de la adecuación de los métodos en el prototipo para realizar los procesos a experimentar. Es importante que el prototipo sea lo suficientemente flexible para absorber cambios en el diseño de ingeniería, además de establecer la seguridad de los posibles operadores en el caso de que se ubique en una fábrica por lo que tiene sentido en el aspecto económico y seguridad de los operarios.

En el capítulo de diseño de configuración se atiende la necesidad de un punto de vista técnico y funcional, de tal manera que la investigación de procesos seleccionados con base en los requerimientos funcionales sea establecido en el uso adecuado de la maquinaria, para que quede establecido el proceso definitivo y se proceda a utilizar una receta de tal manera que la mezclas sea homogénea para que siempre se obtengan los mismos resultados. La configuración definitiva de los dispositivos a utilizar para realizar la separación de líquido del sedimento, queda de manifiesto en el apartado experimental mostrando cuales son los métodos más eficientes, pero no necesariamente los más rápidos por lo que es importante adecuar dichos métodos o procedimientos para que se obtenga éxito y principalmente rapidez en el procedimiento de separación de la mezcla. El diseño de configuración permite la adecuación de los resultados experimentales, modificándolos de tal manera que la configuración de los dispositivos a utilizar sea eliminando o modificando elementos de los métodos que se sometieron a experimentación, debido a que algunos métodos no fueron adecuados o incompatibles con el proceso y una vez realizada la configuración propuesta, concluimos cual es la serie de métodos idóneos para realizar una separación exitosa por los métodos propuestos.





## *Objetivo*

### **O.1 Objetivo general.**

- El objetivo general es investigar una metodología de separación de líquidos con partículas suspendidas y una vez realizada la separación, diseñar una configuración para realizar el proceso de manera continua.
- La meta es seleccionar de una serie de métodos existentes, una metodología para poder realizar una separación exitosa de líquidos de diferentes densidades con partículas sólidas suspendidas, por lo que se realizarán experimentos de los métodos seleccionados para poder proponer una configuración adecuada y de esta manera obtener un proceso de separación continua.

### **O.2 Objetivos específicos.**

- Mostrar algunas técnicas de separación de los componentes de una mezcla de líquidos y adquirir los criterios necesarios para seleccionar una técnica específica con base en las propiedades físicas que exhiban los componentes de la mezcla.
- Probar los métodos existentes en las muestras obtenidas de diferentes fuentes para aceptar o descartar los métodos aplicados.
- Fabricar un prototipo y someterlo a los criterios necesarios por este trabajo de investigación.
- Realizar una comparación de los métodos sometidos a experimentación y realizar la configuración adecuada para determinar cuál es el mejor método o métodos para la sedimentación de precipitados y componentes líquidos de diferente densidad.
- Proponer una configuración para realizar la separación de manera continua.



**Antecedentes**

### **Características mismas del aceite usado.**

El aceite para freír usado puede contener un sin número de partículas y grasas de diferente origen todo depende de donde haya sido recolectado, por lo que es muy importante realizar una prueba a una muestra para determinar, qué es lo que se requiere remover. La solución radica en realizar un pre examen a todo el cargamento antes de ser colocado en el dispositivo para su separación. El aceite usado tiene una relación muy estrecha con la eficiencia de la separación. Cabe señalar que cualquiera sean las condiciones que prevalecen en la separación, la velocidad de las partículas para sedimentarse depende de su tamaño y peso debido a que puede contener partículas muy pequeñas lo que dificulta su traslado al fondo del recipiente, lo que podría llevar a una eficiencia de separación reducida debido al arrastre que presentaría la partícula al atravesar el fluido y dirigirse hacia el fondo del recipiente debido a que la velocidad de sedimentación depende de la densidad del fluido por el peso de la partícula en un proceso de sedimentación por decantado por gravedad.

### **Hipótesis.**

El proceso mediante el cual se pretende realizar la separación mecánica hace referencia a tres métodos de separación propuestos. El primer método pretende utilizar la fuerza centrífuga en conjunto con una malla de separación de grandes partículas y para éste caso específico se va a utilizar una maya de .254 mm debido a que fue la maya de menor diámetro que se pudo conseguir para realizar la eliminación de partículas de gran tamaño. Para eliminar partículas solidas de un diámetro mayor a .254 mm se haciendo pasar al fluido por un filtro de maya rotativo, de esta manera se acelera la acción del filtrado de partículas de tal manera que contenga menos masa pesada a procesar lo que conlleva un ahorro de energía.

El siguiente método también se basa en la fuerza centrífuga es un separador centrífugo para separar partículas y un primer líquido, a partir de un segundo o tercer líquido en función de sus respectivas densidades. El primer líquido tiene una fuerza descensional más grande que el segundo líquido y el tercer líquido tiene una fuerza descensional mayor al segundo y así sucesivamente, y las partículas suspendidas entre líquidos suelen ser más pesadas por lo que se depositaran al fondo del recipiente por acción de la fuerza de gravedad. De esta forma en el recipiente donde se encuentran los líquidos se abrirá una compuerta con un tiempo determinado para separar los componentes de la mezcla y depositarlos en sus respectivos recipientes.

Por último para hacer la separación y refinado final de la materia prima que es la que nos interesa se podría hacer un proceso de destilación para remover la humedad del aceite en el caso de que exista. Se tiene que calentar la mezcla hasta el punto de ebullición del agua que es menor que la del aceite y de esta manera por la evaporación del agua nos quedaría como resultado el aceite limpio y libre de impurezas para tratamientos posteriores para que sea convertido en otro producto como jabón, glicerina, pinturas, entre otros. Dichas hipótesis se probaran y se verificaran para determinar si entran o no en los pasos del procedimiento a seguir para obtener la separación.

### **Definición de una mezcla.**

Las mezclas, son dos o más sustancias que forman un sistema en el cual no hay enlaces químicos entre las sustancia que lo integran. Por ejemplo el aire es una mezcla gaseosa compuesta principalmente por nitrógeno, oxígeno, argón, dióxido de carbono, vapor de agua, entre otras sustancias y partículas suspendidas. En éste tipo de mezcla no es posible distinguir límites visibles de separación, entre una sustancia y otra.

Las mezclas se clasifican en homogéneas y heterogéneas, las mezclas homogéneas están formadas por una sola fase, es decir, no se pueden distinguir las partes, ni aún con la ayuda de un microscopio eléctrico. Las mezclas heterogéneas están formadas por más de una fase, por ejemplo el aceite y el agua forman una mezcla en la que el aceite se localiza en la parte superior y el agua, en la parte inferior, debido a que la densidad de ésta última es mayor que la del aceite, se pueden distinguir claramente las fases.

### **Métodos de separación de mezclas.**

Existen una gran variedad de métodos de separación pero en este trabajo de investigación se ilustrarán algunos métodos para realizar la separación. Existe una gran cantidad de sustancias químicas que para identificarlas, se separan en sistemas homogéneos sencillos pero para conocer su composición, se utilizan procesos que reciben el nombre de Análisis Químicos.

A continuación se mencionan algunos métodos para separar los componentes de una mezcla:

#### **Filtración.**

Es un método para separar un sólido insoluble de un líquido se emplea una maya porosa que en este caso es una maya de papel filtro en un embudo de separación (fig. a.1). La separación se hace por medios poroso que retienen las partículas sólidas y dejan pasar el líquido se puede utilizar papel de filtro, fieltro, porcelana porosa Algodón, lana de vidrio, arena carbón entre otros, según la mezcla a filtrar. Las aplicaciones a través de materiales porosos como el papel filtro, algodón o arena se separan el sólido que se encuentra suspendido en un líquido. De esta manera estos materiales son quienes permiten que solamente pase el líquido, reteniendo al sólido que en algunas ocasiones es recuperable y en otras no. Por ejemplo cuando se filtra con una maya de acero muy fina se quedan las partículas retenidas en él, pero si se filtra por arena se mezclan el filtro y las partículas por lo que en este caso no se recupera las partículas.

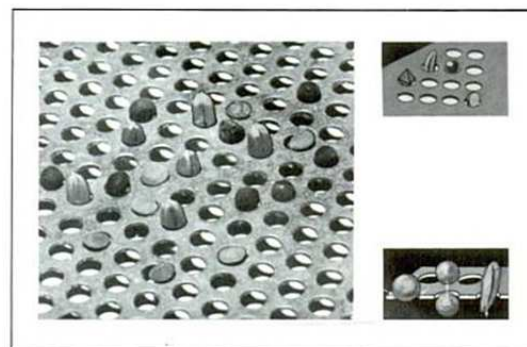


Figura a.1 papel filtro #4 tipo canasta de uso común.

#### **Tamizado.**

El tamizado también es considerado una clasificación de filtrado. El tamizado es un procedimiento mecánico empleado para separar mezclas de sólidos, cuyas partículas tienen distintos tamaños. Un tamiz, es un dispositivo que consta de tres partes: el cedazo, el recipiente y la tapa; los tamices se clasifican por el número de mayas (Figura a.2) que lleve el cedazo por centímetro cuadrado. Al agitar el tamiz las partículas van atravesando, según su tamaño, los orificios del cedazo. Es un método de separación de los más sencillos, consiste en hacer pasar una mezcla de cualquier tipo de sólidos, de distinto tamaño, a través del tamiz.

Los granos más pequeños atraviesan el tamiz y los más grandes son retenidos en esa primera maya, de esta manera se pueden separar los materiales en dos o más sólidos de diferentes dimensiones, dependiendo tanto de dichos sólidos como del tamizador a utilizar.



**Figura a.2** Tamizado por rejilla vibratoria. Como se puede observar los granos o partículas de mayor tamaño a la rejilla son retenidos por la maya de separación.

### Decantación.

La decantación, se aplica para separar una mezcla de 2 o más líquidos o un sólido insoluble de un líquido (figura a.3). En el caso de un sólido se deja depositado por sedimentación en el fondo del recipiente y luego el líquido es retirado lentamente hacia otro recipiente quedando el sólido depositado en el fondo del recipiente, ahora bien cuando los líquidos no son miscibles, al mezclarse estos líquidos tienen la propiedad de ir separándose en el recipiente, al comienzo quedan como un sistema homogéneo pero luego al separarse se puede sacar al líquido que quede en la parte superior por medio de su diferencia de densidades.

Se usa para separar mezclas formadas por sólidos y líquidos o por más de dos o más líquidos no miscibles (no solubles). El método consiste en dejar reposar el líquido que contiene partículas sólidas en suspensión.

Después se puede separar la solución en un embudo de separación. Esta técnica se utiliza también con líquidos no miscibles, como el agua y el aceite.



Figura a.3, decantado en tubo de ensayo

### Destilación.

Las soluciones (sistemas homogéneos) o mezclas de líquidos miscibles pueden separarse por cambios de estado “Congelación, Evaporación y Condensación” para separar los componentes de una solución se emplea con frecuencia la destilación; también se usa para purificar las sustancias líquidas. El agua se destila (figura a.4), con el fin de eliminar las sales, pero en nuestro caso nos funciona para retirar la humedad del aceite. La destilación se basa en la diferencia de los puntos de ebullición de sus componentes. Se calienta la solución y se concentran los vapores, la sustancia que tiene menor punto de ebullición (más volátil se convierte en vapor antes que la otra, ésta primera sustancia se hace pasar al condensador para llevarla a estado líquido. Se trabaja en dos etapas: estas son la transformación del líquido en vapor y condensación del vapor en el caso de que se requiera recuperar el agua evaporada.



Figura a.4 Destilación de agua por medio de un tubo refrigerante de vidrio enfriado por agua.

### Cristalización.

La cristalización es un proceso en el que realiza un cambio de fase, pasando el sistema de un estado de desequilibrio a un estado de equilibrio. En este sistema se llega a un estado de orden, es decir de una disolución a un cristal. Para cristalizar una mezcla líquida, sólida o gaseosa se puede enfriar o calentar la mezcla de tal modo que se precipiten o solidifiquen las partículas deseadas, de esto depende cual sería el método o métodos a utilizar para alcanzar éste fin. En la figura a.5 se realiza una cristalización de sales disueltas en un líquido. El procedimiento consiste en calentar un líquido y de esta manera se evaporará la fase líquida precipitándose los sólidos en forma de cristales. También existen métodos en los cuales se enfría una mezcla y por diferencias en sus puntos de congelamiento un elemento de la mezcla se precipita o flota en forma de cristales.

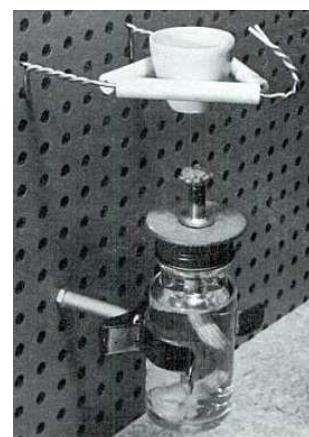


Figura a.5 Cristalización por evaporación con mechero de alcohol y crisol cerámico.

### **Magnetismo.**

Se vale de las propiedades magnéticas de algunos materiales. Se emplea para separar mezclas en donde uno de sus componentes es magnético, por ejemplo, para separar el hierro del mineral llamado magnetita ( $Fe_3O_4$ ).

### **Evaporación.**

Aquí un sólido soluble y un líquido por medio de temperatura de ebullición la cual evaporara completamente y luego por condensación se recuperara el líquido mientras que el sólido quedara a modo de cristales pegado en las paredes del recipiente de donde podría ser recuperado.

### **Sublimación.**

La sublimación es cambio de una sustancia del estado sólido al vapor sin pasar por el estado líquido por lo que el equilibrio que tiene lugar cuando la velocidad de sublimación y la de condensación son iguales se caracteriza por una presión de vapor que depende de la naturaleza del sólido y de la temperatura proceso. El proceso de sublimación va acompañado necesariamente de una absorción de energía térmica. La cantidad de energía térmica que se necesita para sublimar a temperatura constante un kilogramo de sustancia en estado sólido se conoce como energía o calor latente de sublimación. El calor latente de sublimación de una sustancia es igual a la suma del calor latente de fusión más el calor latente de vaporización para separar una mezcla de dos sólidos con una condición uno de ellos podría sublimarse, a esta mezcla se aplica una cantidad determinada de calor determinada produciendo los gases correspondientes a los elementos, estos vuelven a recuperarse en forma de sólidos al chocar sobre una superficie fría como una porcelana que contenga agua fría, de este modo los gases al condensarse se depositan en la base de la pieza de porcelana en forma de cristales.



Figura a.6 El método utilizado para la separación del alcanfor, es la separación de sólidos por sublimación, consistente en que un sólido se calienta y se convierte en vapor sin pasar por el estado líquido, y el vapor se vuelve a solidificar en contacto con una superficie fría

### **Cromatografía.**

Los componentes de una mezcla pueden presentar una diferente tendencia a permanecer en cualquiera de las fases involucradas (Figura a.7). Mientras más veces los componentes viajen de una fase a la otra se obtendrá una mejor separación. La cromatografía es un proceso similar a los que ocurren en la destilación fraccionada o en la extracción secuencial por solvente. En la destilación las mezclas de líquidos son separadas por una serie de pasos que involucran la evaporación y la subsiguiente condensación Cada paso implica un equilibrio entre vapor enriquecido en el componente más volátil y un condensado líquido de la misma composición.

También puede ser denominada como método físico de separación para la caracterización de mezclas complejas, la cual tiene aplicación en todas las ramas de la ciencia y la física. Es un

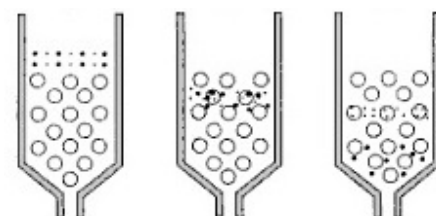


Figura a.7 Cromatografía por exclusión de tamaño. Las partículas solubles pequeñas (o) penetran los poros de gel (.) con un desplazamiento lentificado (•) son excluidas de la matriz del gel.

conjunto de técnicas basadas en el principio de retención selectiva, cuyo objetivo es separar los distintos componentes de una mezcla, permitiendo identificar y determinar las cantidades de dichos componentes.

### **Método centrífugo.**

El método centrífugo es un proceso mecánico de separación de líquidos no miscibles, o de sólidos y líquidos por la aplicación de una fuerza centrífuga. Esta fuerza puede ser muy grande. Las separaciones que se llevan a cabo lentamente por gravedad pueden acelerarse en gran medida con el empleo de equipo centrífugo. El método de centrifugación es un sistema para acelerar su sedimentación, se aplica una fuerza centrífuga la cual acelera dicha sedimentación, por medio de un movimiento acelerado de rotación, provocar la sedimentación de los componentes de una mezcla con diferente densidad. Para ello se usa una máquina especial llamada centrífuga. Ejemplo: se pueden separar las grasas mezcladas en los líquidos, como la leche, o bien los paquetes celulares de la sangre, separándolos del suero sanguíneo.



Figura a.9 Es una maquina que utiliza el efecto de la fuerza centrífuga para separar o sedimentar sus componentes o fases de un líquido.

Una centrífuga (Figura a.9), es un aparato que aplica una fuerza centrífuga sostenida (esto es, una fuerza producida por rotación) para impeler la materia hacia afuera del centro de rotación. Este principio se utiliza para separar partículas en un medio líquido por sedimentación.

La fuerza centrífuga se genera dentro del equipo estacionario mediante la introducción de un fluido con alta velocidad tangencial a una cámara cilíndrica cónica, formando un vórtice de considerable intensidad. Los ciclones que se basan en este principio extraen gotas de los gases que son sometidos a esta acción obteniendo partículas de hasta 1 a 2  $\mu\text{m}$ . Para obtener unidades más pequeñas se utilizan los llamados ciclones líquidos, los cuales separan las partículas sólidas de los líquidos.

La alta velocidad que requiere un líquido a la entrada de estos se obtiene con bombas estándar. En los equipos giratorios se genera una fuerza centrífuga mucho mayor que en los equipos estacionarios (tazones o canastas operados en forma mecánica, normalmente de metal, giran en el interior de una carcasa estacionaria). Al rotar un cilindro a alta velocidad, se induce un esfuerzo de tensión considerable en la pared del mismo. Esto limita la fuerza centrífuga, que puede generarse en una unidad de tamaño y material de construcción dados. Por lo tanto, solamente pueden desarrollarse fuerzas muy intensas en centrífugas pequeñas.

La base física de la separación es la acción de la fuerza centrífuga sobre las partículas en rotación, que aumenta con el radio del campo rotacional y con la velocidad de rotación. La velocidad de sedimentación se determina por la densidad de las partículas. Las partículas densas sedimentan primero, seguida de las partículas más ligeras. En función de las condiciones existentes, las partículas muy ligeras pueden incluso permanecer en suspensión.



La fuerza gravitacional ascendente ( $F_u$ ) del aceite está dada por la siguiente ecuación:

$$F_u = 4 \pi r^3 g (\rho_s - \rho_f) / 3 \dots\dots(1)$$

$r$  = radio promedio de la partícula (Grasa o partícula solida).

$g$  = aceleración debida a la gravedad

donde

$\rho_s$  = densidad del aceite

$\rho_f$  = densidad del glóbulo graso

### **Separadores mecánicos de mezclas.**

Los separadores son utilizado para remover partículas o líquidos de diferentes densidades, En el caso específico de las partículas su separación es por medio de mayas o filtros para dividir las partículas según su tamaño utilizando sistemas por vibración o cambios bruscos de dirección. Para los separadores de líquidos se utilizan trampas, cámaras o métodos mecánicos como el uso de la fuerza de gravedad como los condensadores.

Tabla T.1 Métodos de separación según el estado del material

Materiales separados	Tipo de separadores
Líquido de líquido	Tanques de placas corrugadas, método ciclones líquidos, decantadores centrífugos, Tanques de Decantación y sedimentación
Gas de líquido	Tanques condensadores, tanques de separación vertical, rompedores de espumas.
Líquido de gas	Cámaras de sedimentación, ciclones, por precipitados electrostáticos, separadores de choque.
Sólido de líquido	Filtros, filtros centrífugos, clarificadores, centrífugas de sedimentación, ciclones líquidos, criba húmeda, separadores magnéticos.
Líquido de sólido	Prensas, extractores centrífugos mallas, filtros.
Sólido de gas	Cámaras de sedimentación, filtros de aire, filtros de bolsa, ciclones.
Sólidos de sólidos	Cribas, tamiz, clasificadores centrífugos electrostáticos.

Dada la información de la tabla T.1 se desprende una serie de métodos para la separación del material según su estado, por lo que continuación se presenta una clasificación de separadores que existen actualmente en la industria para realizar separación de sus componentes.

### Separadores verticales.

Son los separadores de 2 o más etapas (Figura a.10), y son utilizados para separar partículas de polvos de finas dimensiones y líquidos de diferentes densidades. Los separadores horizontales tienen como misión la retención de partículas libres existentes en el líquido de vertido, una de sus aplicaciones es en talleres mecánicos de vehículos automotores y en cualquier industria donde exista la posibilidad de verter agua contaminada con partículas nocivas y aceite. Existen de 2 o 3 cámaras dependiente del tipo de materiales que se manejen en el área.

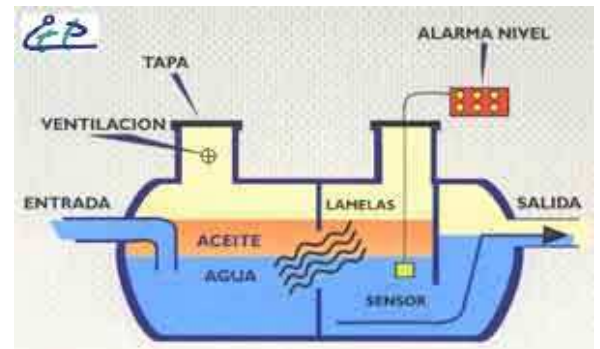


Figura a.10 Separador de aceites por diferencia de densidades Intertramp

### Separadores por filtrado.

Este es un método que actualmente tiene poco uso debido a que se requiere de gran energía para hacer pasar el fluido por los filtros debido a que se necesita hacer presión sobre el líquido a filtrar por medio a circular a través de un medio poroso con un gran número de aperturas minúsculas, en las cuales el agua y las partículas en suspensión o impurezas mecánicas quedan atrapadas. Tal medio puede ser un filtro especial de papel, cartón prensado, tela entre otros. En este caso específico consiste en un conjunto de cuadros o marcos de acero fundido y placas con filtros de papel colocados entre sí. Los marcos y placas se arreglan en forma alterna y el conjunto completa con los filtros de papel se fija, por medio de atornillado entre dos placas robustas por medio de tornillos a presión. Son utilizados para filtrar partículas muy finas. Por ejemplo se puede utilizar filtros de tipo prensa.

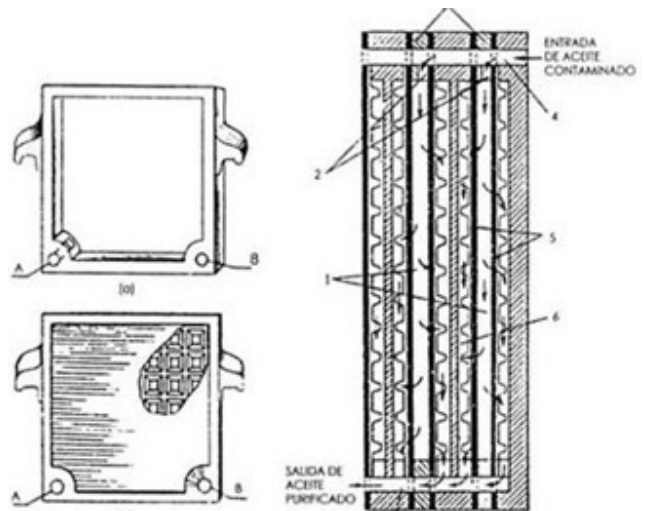


Figura a.11 Filtro tipo prensa. Estos filtros tienen una placa y papel filtro, en las esquinas inferiores tiene un ducto para ingresar el aceite contaminado con partículas (A) y la salida es (B) por donde sale el aceite libre de partículas sólidas.

Su desventaja es que éste tipo de separación se realiza por medio de filtros que posteriormente se tiene que detener el proceso para limpiar o cambiar los filtros, además no separa líquidos de diferentes densidades.

### Separador por tamizado.

La separación de materiales sólidos por su tamaño es importante para la producción de diferentes procesos. Se puede utilizar para el análisis granulométrico de los productos en los molinos para observar la eficiencia de éstos y para control de molienda de diversos productos o materias primas.

El tamiz consiste de una superficie con perforaciones o mayas uniformes por donde pasará parte del material y el resto será retenido por él. Para llevar a cabo el tamizado es requisito que exista vibración para permitir que el material más fino traspase el tamiz.

Tamices Vibratorios (Figura a.12) son los que vibran rápidamente con pequeñas amplitudes dependiendo del material a separar, las vibraciones pueden ser generadas mecánicamente o eléctricamente. El rango de vibraciones es aproximadamente 1800 a 3600 vibraciones por minuto y su principal uso es en harinas y granos.

En este ejemplo se realizó la separación de arena para sandblast y por medio de un colador de maya de un tamaño de orificio de 1mm se observa basura remanente del proceso de limpieza de lámina.



Figura a.12 esquema de movimiento de un tamiz.

### Separadores centrífugos.

Un factor para aumentar la velocidad de sedimentación es la fuerza centrífuga actuando sobre un líquido con partículas suspendidas o con líquidos de diferente densidad. Ésta efecto puede ser alcanzado a través del uso de la fuerza centrífuga en un recipiente que gire a ciertas revoluciones.

La sedimentación puede ser incrementada substancialmente por el aumento en la velocidad centrífuga ó temperatura del aceite, pero el tamaño de los glóbulos grasos es un factor crítico, los pequeños glóbulos grasos siguen teniendo una velocidad limitada incluso a altas velocidades de rotación y altas temperaturas.

Gustav de Laval desarrolló el primer separador centrífugo de líquidos para leche (Figura a.13), el principio del cual la leche entera era alimentada por arriba del bowl hacia un distribuidor en la base, el cual llevaba a la leche rápidamente hasta la velocidad de rotación.

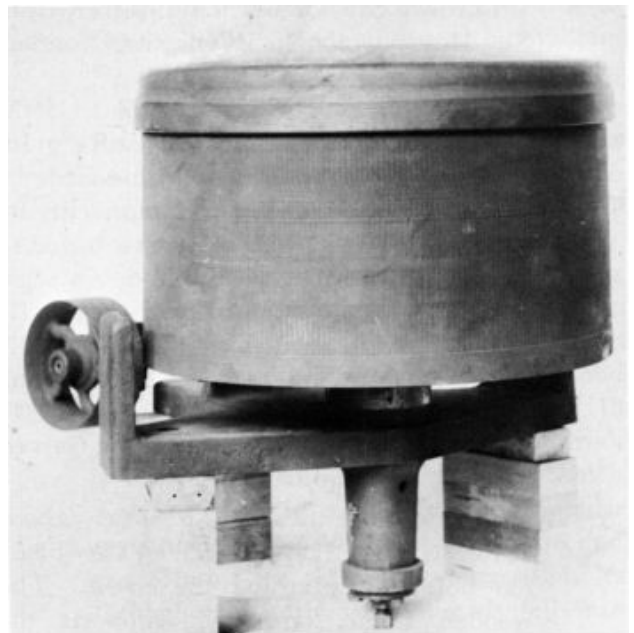


Figura a.13 Separador de Leche de Gustav de Laval 1879

Los glóbulos de grasa se movían hacia el eje de rotación para formar una capa de crema, mientras la fase más densa compuesta por la leche descremada fluía hacia la parte más alejada del eje, y era canalizada hacia la salida. La crema era retirada del bowl por desborde y la separación era controlada con el ingreso de la leche cruda.

Los separadores actuales tienen una capacidad limitada, debido a la gran distancia de los tubos contenedores las partículas tienen una distancia bastante larga que recorrer antes de alcanzar el fondo Si se tuvieran caudales mas grandes esos equipos tenían una separación ineficiente, y los glóbulos grasos se escapaban junto con el aceite procesado.

Actualmente existen unas separadoras centrífugas de discos que resuelven este problema con la provisión de un número de zonas de separación llamadas "pila de discos". Estos discos, de forma cónica y con un

ángulo de unos  $60^\circ$ , tenían agujeros donde se canaliza el aceite. Una pila de discos, uno sobre otro, con espaciadores entre ellos, proveían un salto entre dos discos adyacentes.

### **Separadores centrífugos por tubos ciclónicos.**

Son dispositivos que remueven sólidos y líquidos, usando fuerzas centrífugas (figura a.14) a través de tubos ciclónicos. Mediante este método, se limpia el aceite de agua e impurezas mecánicas o partículas, haciendo las girar a alta velocidad con un aparato llamado *separador centrífugo de aceite o purificador*.

En este esquema se muestra una vista externa de un purificador centrífugo de aceite. La remoción de partículas por la fuerza centrífuga está basada en su densidad relativa y es por eso que no hay restricción en relación al tamaño de contaminantes. Los Factores que afectan la separación en maquinas ciclónicas según el tipo de aceite son:

- Temperatura,
- Velocidad del Bowl,
- Flujo de liquido
- Características mismas del aceite usado

#### **1) Temperatura.**

Un incremento o decremento en la temperatura del fluido provoca un incremento en la diferencia de densidad entre el aceite y las partículas dispersas, y además reduce o aumenta la densidad del aceite, por lo tanto, en teoría, un incremento en la temperatura nos llevaría a un incremento en la eficiencia de la separación

#### **2) Velocidad del Bowl.**

La velocidad de los glóbulos grasos y partículas es proporcional al cuadrado de la velocidad de rotación del bowl, al incrementar ésta, se tendrá un mayor efecto en la eficiencia de la separación. Pero un incremento en la velocidad del bowl, sin embargo, requiere un incremento en el gasto de energía y un diseño más robusto para resistir mayores esfuerzos en la periferia del mismo. El separador generará también mayor ruido y la razón de la velocidad por lo que se debe manejar una velocidad moderada para evitar fatiga en el material del separador. Lo que sí es importante es mantener la velocidad constante durante la operación, por eso algunos equipos están equipados con tacómetros para asegurar una velocidad de rotación consistente. Las desaceleraciones momentáneas que toman lugar durante la operación de deslodado se relativizan en un período de tiempo mínimo. Si no la eficiencia de la separación se afectará. Esto es de nivel académico, ya que los glóbulos más pequeños tienden a permanecer dispersos a través de las corrientes térmicas y por el movimiento browniano, mientras que los glóbulos más grandes tienden a coalescer lo que lleva a una separación más rápida.

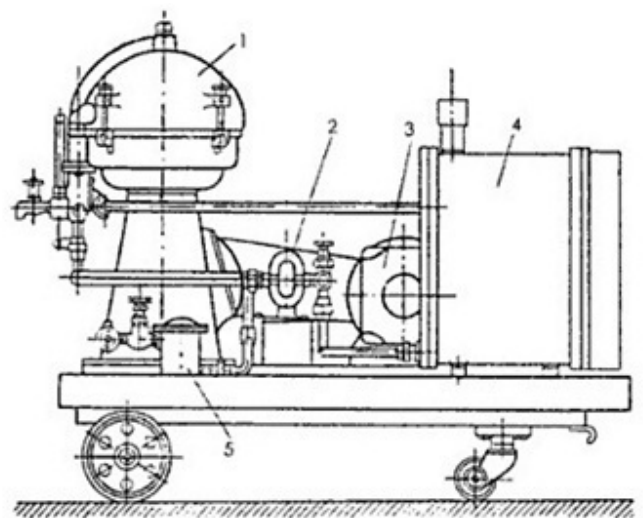


Figura a.14 Purificador centrífugo de aceite

1. Tambor separador
2. Bombas
3. Motor eléctrico
4. Calentador eléctrico
5. Filtro

### 3) Flujo de líquido.

El flujo de aceite entrante, por un lado, y el flujo del lodo salientes, por el otro, deben ser factores cuidadosamente controlados en orden para alcanzar una buena eficiencia de separación, con un adecuado rendimiento.

Una gran eficiencia de separación se alcanzaría con bajos niveles de flujo entrante, porque el aceite tendría más tiempo dentro del separador centrífugo. Sin embargo, en este caso entraría aire (si el flujo es bajo) que llenaría los espacios vacíos del bowl, y la eficiencia de separación sería afectada negativamente.

En la práctica, se apunta a que el caudal sea el máximo posible, principalmente por ahorros de tiempo del proceso. Pero siempre cuidando que la eficiencia de separación no sea comprometida. En casos extremos, si el caudal es muy alto, se inundará el equipo y no separará las fases. Cómo decíamos al principio, por balance de masa, el caudal de entrada del aceite, tendrá que ser igual a la suma del aceite procesado y el lodo.

A continuación se muestran dispositivos y maquinas de marcas existentes en el mercado y sus características del fabricante para ejemplificar algunos de los procesos mostrados:

#### **Filtro para partículas de aceite en flujo parcial.**

Las centrífugas MANN+HUMMEL (figura a.15) limpian el aceite generando una fuerza centrífuga 2.000 veces mayor que la gravedad. Es esta fuerza la que separa los contaminantes sólidos del aceite. Ha sido comprobado que esta tecnología remueve contaminantes hasta el nivel de sub-micrón, lo que es beneficioso tanto para los fabricantes de motores como para los usuarios. Prueba de durabilidad de motor – los resultados del análisis de aceite demuestran el aumento de contaminantes sobre las horas de operación del motor. Cilindrada del motor 8 litros, diesel industrial de 250 Kw. El resultado indica que la centrífuga MANN+HUMMEL ha mantenido los niveles de contaminación total del aceite lubricante por debajo de los límites prescritos por el fabricante del motor por más del doble del intervalo estándar de cambio de aceite.



Figura a.15 Filtro centrífugo de flujo parcial marca MANN+HUMMEL

Características:

- Apto para flujos de 15 a 90 litros.
- Capacidad de almacenamiento de contaminantes 0.9 litros
- Capacidad de aceite en el rotor 1.125 litros
- Diámetro interno mínimo de la manguera de entrada del aceite 9.5 mm
- Diámetro mínimo de la manguera de salida del aceite 38 mm
- El peso neto de la centrífuga FM090 es 3.5 kg

### **Separador de partículas por tamizado.**

El separador circular MR distribuido por Vibrowest (Figura a.16) fabricado en acero inoxidable AISI-304 y AISI-316 separa sólidos de líquidos, o clasifica materiales secos en diversos tamaños de partículas, desde 51 mm. a 0,033 mm. (Malla 400).

Las mallas pueden cambiarse de manera fácil y rápida, obteniendo un equipamiento con diversos dispositivos de limpieza como bolas, aros, cepillos, CIP y un innovador sistema de limpieza por ultrasonidos.

Las vibraciones de la máquina se desarrollan en los planos horizontal y vertical, pudiendo ser regladas en ambas direcciones. La vibración se consigue mediante contrapesos instalados a ambos extremos del eje del motor (en posición vertical) que genera el movimiento. El desplazamiento del contrapeso superior crea la vibración en el plano horizontal, permitiendo el movimiento del material desde el centro a la periferia del separador. El contrapeso inferior es el causante de la vibración en los planos vertical y tangencial.

Para el ajuste del material que se va a separar utiliza una serie de contrapesos que permite modificar la vibración y encontrar el punto óptimo para cribar el producto. Incrementa la eficiencia de la separación, tanto en líquidos como en sólidos. Cuenta con certificación ATEX (atmósferas potencialmente explosivas).

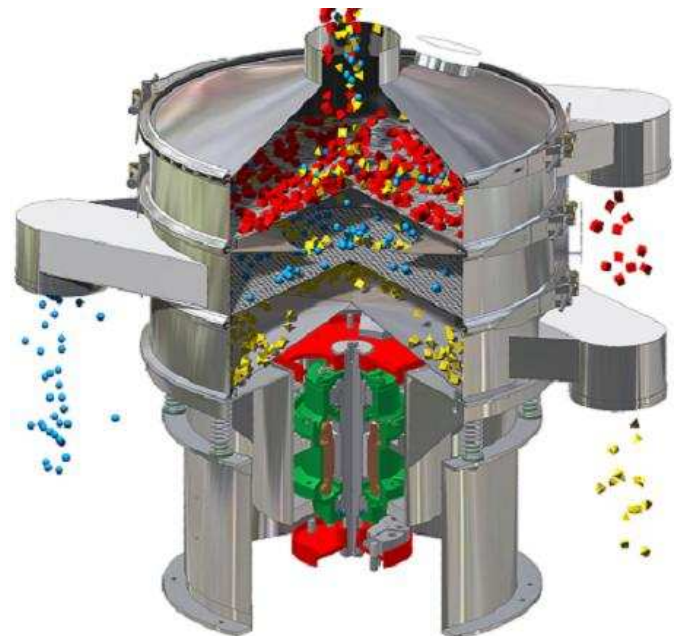


Figura a.16 Separador Vibrowest Puede separar partículas de 1 a 5 fracciones con el uso de 4 pisos separadores incorporados a un único.

### **Centrífugas decaners modelo tricanter.**

La parte esencial de un decanter / tricanter (figura a.17) es el rotor, el cual consiste en un tambor cilíndrico –cónico, con tornillo sinfín transportador incorporado, que gira con una velocidad diferencial. El rotor está accionado por un motor eléctrico. Ambos se unen a través de poleas y correas. El producto entra al rotor a través de un tubo de alimentación central. Gracias a las toberas situadas en el cuerpo del sinfín, el producto pasa al tambor, donde tiene lugar la separación por fuerza centrífuga. Con el sistema decanter el producto se separa en una fase líquida (aceite) y una fase sólida. Con el sistema tricanter el producto se separará en una fase líquida ligera (aceite), una fase líquida pesada (agua de vegetación) y la fase sólida (pulpa). En ambos casos la descarga del aceite se realiza por gravedad. Sin embargo, en el tricanter la fase acuosa se descarga mediante una palanca excéntrica con presión ó por gravedad. Finalmente, el tornillo sinfín transporta los sólidos a la parte cónica para su descarga. El decanter – separación en dos fases Los decaners son utilizados para la separación continua de sólidos suspendidos en líquidos, clarificación de líquidos, extracción de aceite, etc.

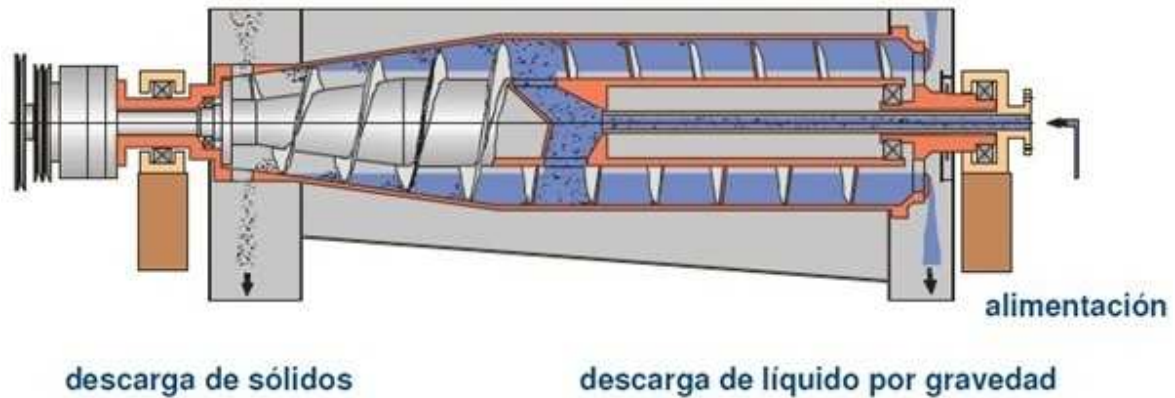


Figura a.17 Separador sólido líquido por gravedad

### **Separador Centrífugo de Canasto.**

La forman, una pared perforada (Figura a.18) y un rotor tubular cilíndrico. En la mayoría de los casos para pared externa la centrífuga consiste en una fina malla metálica o una serie de mallas soportadas por una malla gruesa, la cual a su vez es soportada por un plato.

El líquido pasa a través de la malla, y las partículas muy largas se depositan en esta. Estas centrífugas son empleadas en el secado de ropa en lavadoras caseras y en el lavado y secado de diferentes tipos de materiales fibrosos.



Figura a.18 separador tipo canasta.

### **Centrífugas Tubulares.**

Las centrífugas tubulares son usadas mayormente para la separación continua de líquidos de otros líquidos o de partículas muy finas de líquidos y cuando se requieren altos requerimientos de centrifugación. El rotor giratorio de una centrífuga tubular consiste en un tubo hueco. Para la separación continua, el material a centrifugar es introducido en el extremo cerca del eje. En muchos casos la separación no es completa y se debe pasar el material varias veces por la máquina. La Centrífuga tubular (Figura a.19), que cuenta con un motor de altas revoluciones lo que provoca que la sedimentación se forma como un fluido que fluye desde un extremo del tubo al otro. Las centrífugas tubulares se usan en muchas aplicaciones, como ser: purificación de aceites de lubricación e industriales; combustibles clarificación y purificación de productos alimenticios tales como aceites, separación de líquidos que no pueden ser separados por gravedad.



Figura a.19 Centrífuga tubular modelo AS16 Súper Sharples

### **Centrífugas a Disco.**

Está formada por 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 (figura a.20) por lo general es para trabajo continuo y son usadas para separación de líquidos en los cuales el sólido no mezclable que está en bajas concentraciones.

Las centrifugas de disco por lo general se utilizan para separar leche y han sido diseñadas para proporcionar una separación de un líquido en fase densa de otro líquido en fase más ligera. Puede obtenerse un rendimiento de hasta 125 litros por hora, dependiendo del grado de separación. En ésta centrífuga de discos el depósito de alimentación tiene capacidad para 10 litros, y puede rellenarse según sea necesario. El recipiente de la separadora contiene 19 discos. El motor tiene doce velocidades entre 8.500 y 10.000 rpm, seleccionables por interruptor en la carcasa de control del motor. El tacómetro tiene una pantalla de 5 dígitos y un intervalo de medición de 60 a 19.999 rpm. Resolución 1 rpm. Dos cubetas de vidrio graduadas para la recogida de producto, de 1,0 litro y 0,4 litros. Un cronómetro, esfera de 100mm, movimiento de muelle de 30 horas con botones de inicio/parada y puesta a cero.



Figura a.20 Centrífuga de discos separadora de leche

### **Comparación de los procesos.**

De las maquinas antes mencionadas es muy importante señalar que para la separación del aceite, hay que tomar en cuenta que es lo que se va a separar, o mejor dicho qué es lo que queremos separar, debido a que se está tomando en cuenta que el aceite proviene de la misma fuente, por lo que va a contener una cantidad similar de elementos a separar.

Una vez tomada esta consideración se tomaran en cuenta los siguientes parámetros:

Los parámetros para valorar los procesos son:

- Forma de operación, es decir, continua, semi-continua o en cargas
- Nivel de costo de inversión
- Costo y intensidad de obras de mantenimiento
- Rendimiento en aceite
- Consumo de agua, vapor y electricidad

La valoración en el caso concreto depende mucho de las circunstancias individuales.



En este proyecto se propone homogenizar dichos procesos en una serie de etapas continuas para dar cabida a la separación de manera eficiente.

Dada la gran cantidad de dispositivos separadores existentes en el mercado actual nace la necesidad de probar con diferentes métodos para lograr el objetivo señalado.

En el apartado de diseño conceptual se probara cual es el método idóneo para éste trabajo de investigación. También hay que tomar en cuenta los siguientes criterios probados en la industria como lo son:

- La concentración de partículas para producir otros productos de consumo.
- Métodos de clasificación para inversión de fases y separación del suero acuoso (agua en caso de existir)
- Sistemas de remoción de partículas sólidas para remover simplemente material sólido desde aceite usado.
- Sistemas de inyección de material y eyección continua de producto terminado.
- Sistemas separadores autodeslodantes, para la auto limpieza de la maquinaria.



***Capítulo 1***  
***Diseño Conceptual***

### 1.1 La importancia de un adecuado procedimiento.

Desde una perspectiva técnica, un proceso físico de transformación requiere de una serie de pasos constantes en todo el proceso por lo que es importante observar que el material a procesar cuente con unas muestras antes de ser trasladado a los tanques de almacenamiento para ser procesado posteriormente y para contar con una referencia inicial del material a sedimentar. También hay que realizar una serie de protocolos para observar en la muestra del material a sedimentar y regular los tiempos en los dispositivos y de ésta manera garantizar el éxito del proceso. Esto es producto de elementos extraños o ajenos al proceso del material a procesar. Es importante seguir con una determinada línea tecnológica, de una serie de elementos, recursos o factores en conjunto específico de productos terminados. Cada actividad productiva tiene que efectuarse siguiendo unas determinadas fórmulas o recetas, según sea la técnica de producción determinada.

### 1.2 Métodos seleccionados para separar líquidos con partículas suspendidas.

De los métodos mencionados en el apartado de antecedentes, es muy importante realizar un proceso selectivo para obtener un procedimiento adecuado. La propuesta que presenta esta investigación es la utilizar una serie de procedimientos que combinan algunos de estos métodos antes mencionados a continuación se presenta una tabla de selección de métodos la cual nos muestra la ventaja y desventaja de cada método, los cuales como se observan a continuación:

Tabla T.2 Selección de métodos

	Ventajas	Desventajas
Filtrado	Puede llegar a filtrar partículas muy pequeñas	Puede tomar mucho tiempo o alto gasto energético
Tamizado	Nos puede hacer una separación de partículas por tamaño	No separa líquidos y funciona mejor con partículas secas y de gran tamaño
Decantación	Separa sólidos y líquidos de diferentes densidades	Toma mucho tiempo y requiere de gran espacio de almacenaje
Destilación	Separa 2 o más líquidos de las mezclas	Requiere de una gran cantidad de energía
Cristalización	se para los sólidos sublimando los líquidos	Requiere gran cantidad de energía, evapora los líquidos y en ocasiones modifica las propiedades del líquido por las altas temperaturas
Magnetismo	Gran método para remover partículas metálicas	En nuestro proceso no tenemos partículas ferro magnéticas suspendidas
Evaporación	Separa líquidos de diferentes densidades	Requiere de grandes cantidades de energía y para recuperar el líquido se requiere del proceso de condensación
Centrifugado	Es capaz de separar 3 o más fases líquidas y sólidas alta velocidad de proceso	Se requiere de una infraestructura más compleja que los otros métodos

### 1.3 Propuestas de métodos a utilizar

La matriz de selección nos da como resultado cuales son los métodos idóneos para realizar una separación exitosa como lo demuestra la siguiente tabla.

Tabla T.3 Matriz de selección.

Muestra de 50ml	Tiempo de proceso(TP) [Minutos]	% de separación (S)	Energía electrica para realizar el trabajo (EET) [Watts]	Gasto de energia (GE) [watts/min]	$\Sigma(TP,S,GE)$
Filtrado	56	80	0	0	136
Tamizado	10	5	200	2000	2015
Decantación	220	90	0	0	310
Destilación	30	100	750	22500	22630
Cristalización	260	100	750	195000	195360
Magnetismo	0	0	0	0	0
Evaporación	90	60	750	67500	67650
Centrifugado	5	90	200	1000	1095

Como se observa en la figura g.1 nos es muy importante realizar el proceso en el menor tiempo posible así como utilizar la menor cantidad de energía, debido a que el tiempo y la energía se refleja directamente en utilidades. Por consiguiente hay que realizar una mezcla de métodos para optimizar el proceso.

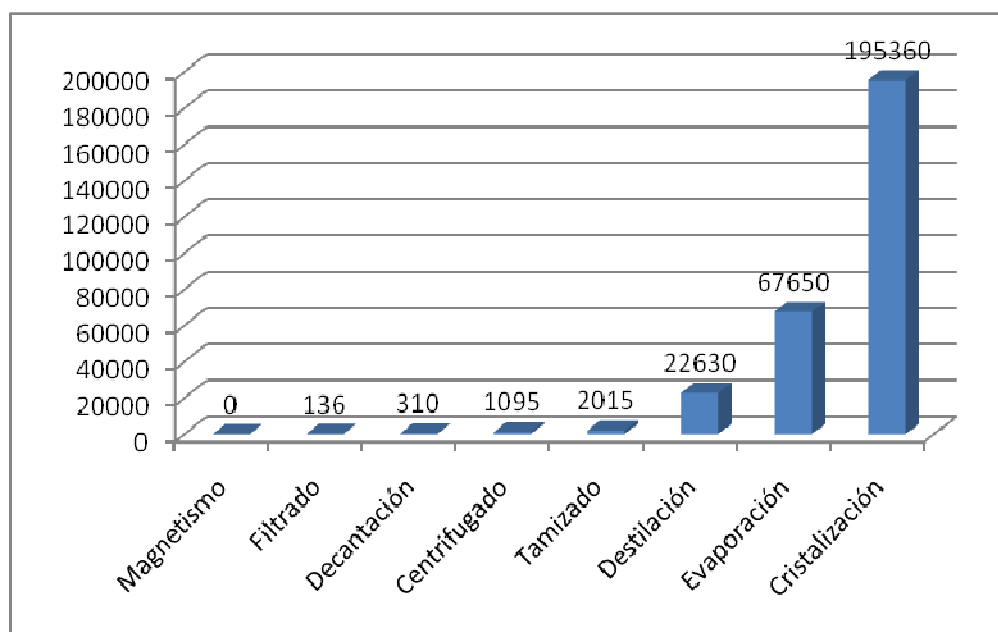


Figura g.1 Gráfica de  $\Sigma(TP,S,GE)$  que nos representa que método tiene mayor porcentaje de material recuperado así como el gasto energético y el tiempo para obtenerlo.

Por medio de la matriz de selección se observó que los métodos de selección no radica directamente en uno sino en la mezcla de dos o varios métodos. Se recomienda que se utilice un método mixto de filtrado y fuerza centrífuga para eliminar partículas grandes como se propone a continuación:

- **Filtración del aceite por el método de canasto**

Método mediante el cual se retiran sólidos presentes en el material a procesar por medio de la acción de la fuerza centrífuga al verter el líquido en una maya o rejilla giratoria para remover las partículas sólidas contenidas en el líquido.

- **Separación de mezcla por decantado acelerado por fuerza centrífuga.**

Por medio de éste método se pretende sedimentar y posteriormente remover las partículas de tamaño menor a la malla del canasto obteniendo además es posible que se pueda dividir las fases existentes en el material a procesar.

Los métodos a utilizar para la separación de componentes y la velocidad necesaria para realizar el proceso, van a ser puesta a prueba en el aparatado de experimentación y una vez realizada la separación se investigará la configuración adecuada para procesarlo de manera continua pero dichos proceso serán desarrollados en la sección de diseño de configuración.



*Capítulo 2*  
**Proceso Experimental**

## 2.1 Justificación para diseñar y fabricar el prototipo centrífugo de velocidad variable.

Para poder realizar un protocolo inicial para la separación del aceite, es necesario seleccionar 3 muestras de aceite para someterlo a pruebas de tal manera que se determine que tan viable es cada método por lo que se diseñó una serie de experimentos, pero para poder realizarlos nace la necesidad de fabricar un dispositivo centrífugo, debido a que en el mercado buscar una maquina con éstas características, es muy costosa y además no se encontró un dispositivo que además de realizar un centrifugado, calentara las muestras al mismo tiempo, por lo que se espera que con la fabricación de un dispositivo centrífugo de bajas velocidad cumpla los requerimientos para realizar la separación de la mezcla y tener la oportunidad de experimentar con diversas temperaturas.

Para poder obtener la separación de los elementos de la mezcla es necesario la fabricación de un dispositivo para que de manera experimental de realice una separación primaria de los elementos no deseados.

El primer paso es ubicar un contenedor cerrado para evitar accidentes por el desprendimiento de algún elemento, debido a que es un dispositivo que va a girar a altas revoluciones y la mejor manera de evitar un desprendimiento de algún elemento de la maquina que podría salir proyectado es tenerlo contenido en un recipiente metálico.

En la fabricación del dispositivo para la experimentación se procede a realizar las pruebas pertinentes para determinar la velocidad necesaria para realizar una separación exitosa de la mezcla, debido a que no se conocen los parámetros de separación por lo que se adapta un motor de una batidora de mano de 200 watts (figura e.1) debido a que ese fue el motor que se encontró para realizar los experimentos pertinentes.



Figura e.1 Motor de batidora de mano de 120 volts 60 hertz y 200 watts modelo hc55 30.

Para poder determinar la velocidad necesaria se va a determinar un dimmer (Figura e.2) que es un dispositivos usados para regular la intensidad lumínica en una o varias lámparas pero en éste caso lo vamos a utilizar para poder regular la velocidad del motor.



Figura e.2 Dimmer de 120 VCA y 60Hz marca Leviton utilizado para el control de velocidad en el motor de corriente alterna seleccionado



Figura e.3 Olla de aluminio utilizada como contenedor con sus respectivos rodamientos en el centro.

En el caso del contenedor (figura e.3) se va a utilizar un recipiente metálico de aluminio que en éste caso lo que se encontró fue una olla de aluminio de 4 litros y se va a realizar una serie de perforaciones en el centro para colocarle rodamientos, de tal manera que reducir la fricción de la flecha y el recipiente. Dichos rodamientos también van a ser utilizados para que posteriormente se le adicione una trampa de grasa para que no tenga filtraciones de agua y evite el contacto del rodamiento con el agua.

Posteriormente para la construcción de la flecha se requiere de un tubo macizo de acero con recubrimiento de cromo debido a que cumple con la tenacidad necesaria para soportar los esfuerzos por torsión en comparación con materiales, además que va a existir fricción y altas temperaturas. La flecha de acero se va a utilizar además para la sujeción del conjunto de la canasta y porta vasos de ensayo removible para que se puedan intercambiar los elementos con una sola máquina. Para la sujeción del motor al recipiente se utilizara una pieza de aluminio y posteriormente se va a requerir de una mesa que servirá de base para todo el conjunto y 2 resistencias eléctricas para calentar agua contenida en el recipiente para conocer si es conveniente calentar la mezcla para disminuir su densidad y el trabajo se realice más rápido. Otros de los elementos de la maquina son 2 tubos de ensayo para colocar el aceite a probar así como 2 sujetadores de tubos y 2 goteros de plástico para otras pruebas. Los planos y despiece del dispositivo separador se encuentran ubicados en la sección de anexos.

La configuración propuesta para la construcción del dispositivo centrífugo ubica al motor en la sección posterior de la olla de aluminio, debido a que de esta manera se puede abrir la tapa y se puede observar la rotación de los vasos de ensayo. La idea inicial era la de ubicar al motor en la tapa pero ocasionaba problema para el llenado de los tubos por eso se decidió a la ubicación abajo del contenedor. Una vez construido el dispositivo (Figura e.4) se procede a realizar las pruebas preliminares para determinar cuál es la velocidad para realizar el proceso así como determinar la velocidad máxima que soportan los tubos de ensayo, (en la sección de anexos se puede observar otras imágenes del prototipo).



Figura e.4 Dispositivo centrífugo para pruebas preliminares



## 2.2 Pruebas preliminares del dispositivo centrífugo.

Las primeras pruebas nos arrojan que los tubos de ensayo no soportan una velocidad mayor a 2000 rpm debido a que ese momento fallan por el esfuerzo aplicado a la base del tubo, también se determina cual es la energía necesaria para alcanzar dichas revoluciones, debido a que el motor cuando gira de manera libre alcanza una velocidad de giro de 22,000 rpm, por lo que se va a optar por utilizar entre 1000 y 1400 rpm que es más que suficiente para lograr la meta de separación de mezcla.

En el momento de la construcción del prototipo se observo la necesidad de que los tubos de ensayo se ubicaran a una altura de entre 5 a 7 centímetros debido a que el sujetador de los tubos de ensayo es ajustable y de esa manera se puede observar cual es la mejor altura para el llenado de los recipientes.

Como parte de las pruebas iniciales, se observó que los tubos en el momento de que se desprenden se estrellaron en las paredes del recipiente por lo que se comprueba que el recipiente de aluminio funciona como parte del sistema de seguridad debido a que el vidrio o aceite no salen despedidos fuera del recipiente. Como parte de la experimentación era observar si a mayor temperatura se realizaba la decantación por gravedad de manera más rápida realizaron pruebas por lo que se pudo calentar aceite a 40° C y se puso a decantar en vasos de ensayo y lo que se logra observar es que a mayor temperatura del aceite la decantación se realiza en un menor tiempo, por lo que se le instala un par de resistencias eléctricas en la olla de aluminio de tal modo que eleve su temperatura mientras gira, pero se observo que las muestras no conservaban el calor debido a que por las velocidades de rotación y la fricción con el aire se enfriaban las muestras y se comprobó que dicho dispositivo no era necesario (Figura e.5).



Figura e.5 Adición de resistencias electricas para calentar agua.

Para realizar la primera parte de la separación se va a utilizar un filtro de canasto, lo que radica en hacer girar el dispositivo entre 1000 y 1100 rpm y cubrir la canasta para evitar la fuga de aceite sin filtrar (Figura e.6). En la figura e.7.1 se puede observar cual es la apariencia del aceite antes de ser procesado y en la figura e.7.2 se observa la misma muestra de aceite una vez procesada.



Figura e.6 Se observa cómo se utilizan 2 filtros tipo canasta para liberar el aceite de partículas de gran tamaño. Ésta canasta bloquea partículas de hasta .254mm.



Figura e.7.1 (izq.)  
Aceite usado de cocina  
antes de ser filtrado  
por el canasto



Figura e.7.2 Aceite de cocina  
después de ser filtrado por el  
canasto (der.)

Una vez que el aceite se encuentre filtrado se procede a utilizar el concepto básico de decantado acelerado por la fuerza centrífuga (figura e.8) para conocer si va a ser posible utilizar la máquina para centrifugar el material y pueda ser probada la hipótesis estipulada en este trabajo de investigación o si no proveedor a aplicar el concepto antes de hacer un análisis más detallado y comprobar que metodología es mejor.

La prueba inicial muestra que es posible utilizar el dispositivo para realizar las pruebas correspondientes al decantado acelerado por fuerza centrífuga.

### 2.3 Aceite para experimentación y sus características.

El aceite de cocina usado, es un concentrado de aceites, grasas y partículas sólidas. Los aceites y grasas están contenidas en glóbulos grasos de diferente densidad como tal, éste aceite puede tener una variedad de composiciones. El contenido de grasa y aceites puede variar dependiendo de en que se haya utilizado.

Las propiedades físico-químicas del aceite son muy influenciadas por el estado de la dispersión de los glóbulos grasos y las respectivas partículas suspendidas. Diremos que los glóbulos grasos no son de tamaño uniforme y pueden variar desde  $0,5\mu\text{m}$  hasta unos  $100\mu\text{m}$  de diámetro Como se ilustra en la figura e.9. Como se observa en la figura e.9 la distribución de tamaños de los glóbulos grasos suspendidos muestran una distribución aleatoria y de diferente diámetro, esto se debe a que la concentración de glóbulos grasos es alterado por la temperatura y condiciones de uso como lo son los sólidos no grasos que también juegan un rol importante en las muertas obtenidas.

El contenido de las muestras de aceite contiene entre otras cosas aditivos como sales, grasas, emulsificadores, así como vinagre, entre otros elementos como se observa en la figura e.10 utilizados para preparar comida rápida. Las propiedades de los aceites son también afectadas por el manejo físico tales como el bombeo que produce micro burbujas de aire formadas por mecanismos de altas revoluciones, esto depende del tipo de bomba, ya sea por sistema de succión o por bomba centrífuga. es muy importante considerar el sistema de bombeo debido a que estos procesos físicos pueden afectar la desintegración y aglomeración de los glóbulos grasos.

Para poder determinar la cantidad necesaria de aceite de cocina a procesar, es necesario realizar un experimento controlado para obtener una muestra ideal que en éste caso es la muestra 1 (pág. 11 fig. e.15). Se va a proceder a freír papas fritas como en cualquier establecimiento de comida rápida, por lo que se va a requerir de utilizar la cantidad de 400ml de aceite para freír 200

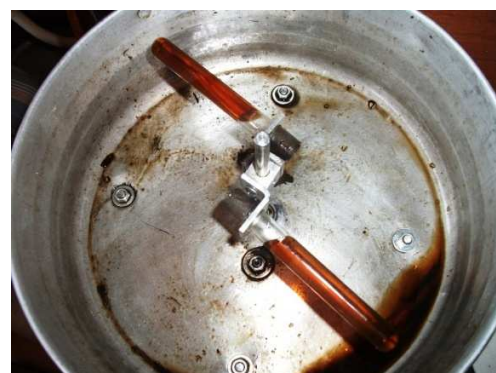


Figura e.8 Muestra colocada en la máquina centrífuga a 1100 rpm.



Figura e.9. Muestra de aceite tomada a 80X en un microscopio óptico, como se puede observar existen partículas suspendidas en una fase intermedia de aceite.



Figura e.10 Muestra obtenida de un establecimiento de comida rápida.

gr de papa cruda a una temperatura de  $96^{\circ}$  y una presión atm de 585 mm de Hg para obtener muestras a examinar. De igual forma se realizó la toma de muestras de 2 establecimientos comercial de venta de frituras para tomar en cuenta el uso del aceite en condiciones comerciales. Cabe señalar que dichos establecimientos cambian el aceite aproximadamente cada 3 semanas, por lo que el aceite sufre una serie de cambios debido a que el aceite se enfría y se calienta a intervalos irregulares de tiempo esto es debido a que se calienta el aceite cuando hay comensales por lo que el aceite sufre una serie de cambios importantes así, como una mayor concentración de partículas y humedad en el mismo. Por otra parte en establecimientos de comida rápida de alta demanda y gran afluencia de clientes como lo es McDonald's® y Burger King® el aceite es vertido en freidoras eléctricas que calientan el aceite a aproximadamente  $100^{\circ}$  manteniendo la temperatura todo el día, por lo que el aceite es cambiado cada doce horas aproximadamente, solo manteniendo el mismo volumen de aceite en la freidora. Dándole al operador un colador para quitar el mayor número de partículas de manera manual y discontinua. Dicho aceite se utiliza para freír principalmente papas fritas por lo que la concentración de partículas de gran tamaño se mantiene más o menos homogénea.

#### **2.4 Marco de referencia y caracterización del aceite a utilizar.**

Antes de comenzar con el procesamiento del aceite, es necesario observar una muestra de aceite nuevo como se observa en la imagen e.11 y e.12 realiza un experimento controlado para poder conocer cómo es que utiliza el aceite en condiciones de uso normal, ya sea por el uso casero o por proceso industriales en los que se encuentra el aceite utilizado.

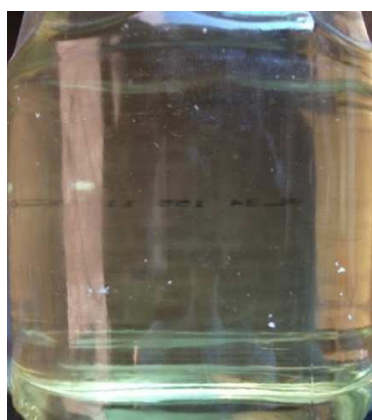


Figura e.11 Muestra de aceite nuevo.

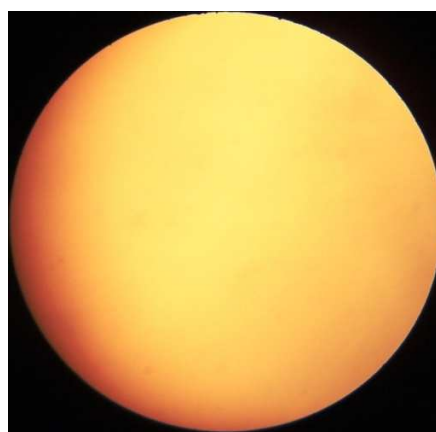


Figura e.12 Como se observa el aceite nuevo no presenta ninguna partícula suspendida. Esta imagen fue tomada en un microscopio óptico a 200 x antes de ser utilizado.



Figura e.13 Aceite nuevo calentado a  $96^{\circ}$  C en un sartén de acero inoxidable calentado con gas butano.

Para realizar el experimento controlado se procede a medir la cantidad de aceite a utilizar Figura e.13, en este caso se utilizó 400ml de aceite para freír 200 gr de papa cruda a una temperatura de  $96^{\circ}$  y una presión atmosférico de 585 mm de Hg

Como se puede observar en la figura e.14 la medición de la temperatura de cocción del aceite es de  $96^{\circ}$  que es la temperatura alcanzada con una estufa convencional de gas butano para realizar el experimento de cocción en condiciones normales de uso.



Figura e.14 Toma de temperatura con un termómetro bimetálico marca Metron con un rango de exactitud de  $\pm 1^{\circ}$

En la figura e.15 se observa un asentamiento de partículas después de haber freído papas por 25 minutos y es muy claro que en el fondo del recipiente se depositan partículas de gran tamaño, pero hay que aclarar que dicho proceso se llevó a cabo una sola vez a temperatura constante. En la figura e.16, se observa la muestra tomada de un microscopio por lo que se pueden vislumbrar una serie de partículas suspendidas en el aceite de lo que nace la necesidad de realizar una prueba de filtrado para retener la mayor cantidad de partículas posibles, por lo que se va a realizar un experimento con filtrado con papel para determinar tiempo de filtrado por gravedad.



Figura e.15 Se observar un asentamiento de partículas depositadas en el fondo del recipiente después del proceso de cocción.

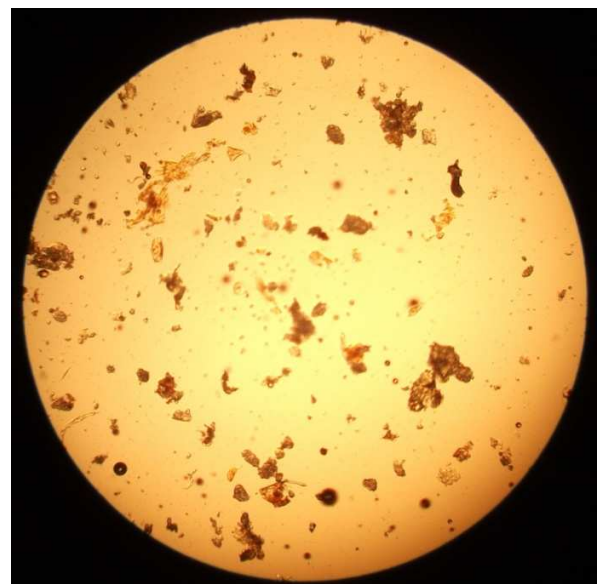


Figura e.16 Foto de microscopio óptico a 200x de una muestra de aceite después de cocinar por 25 minutos.

**Procedimiento de prueba por método de filtrado y decantado por gravedad.**

Para realizar las primeras pruebas de filtrado por gravedad se va a utilizar un filtro de papel para cafetera para determinar el tamaño de las partículas a filtrar, por lo que se tomaron muestras del papel filtro y se observaron en microscopio para determinar las aberturas del poro como lo muestran las figuras e.17 y e.18.

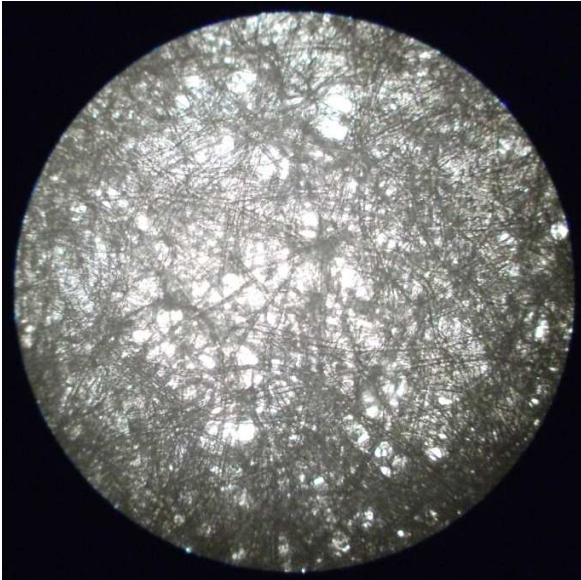


Figura e.17 Filtro de papel para cafetera observado a 80x

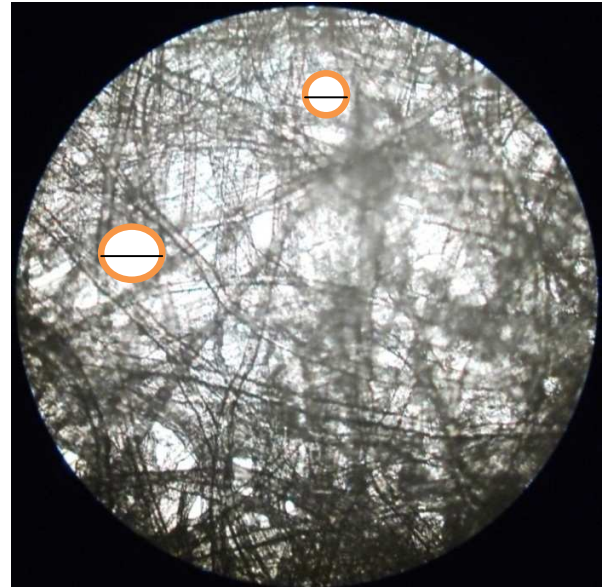


Figura e.18 Filtro de papel para cafetera observado a 200x. Los círculos nos el tamaño promedio del poro del papel filtro.

En las figuras e.19 y e.20 se muestra la escala en milímetros utilizada para medir el poro del papel filtro. Como se puede observar el diámetro del poro del filtro es de aproximadamente  $1/8$ ,  $1/16$  y  $1/32$  de milímetro. De esta manera observamos la cantidad de partículas que pueden ser retenidas por el filtro.

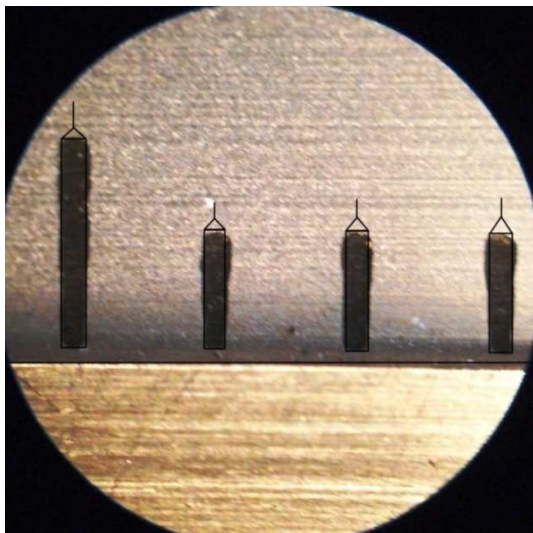


Figura e.19 Escala en milímetros Imagen tomada a 80x

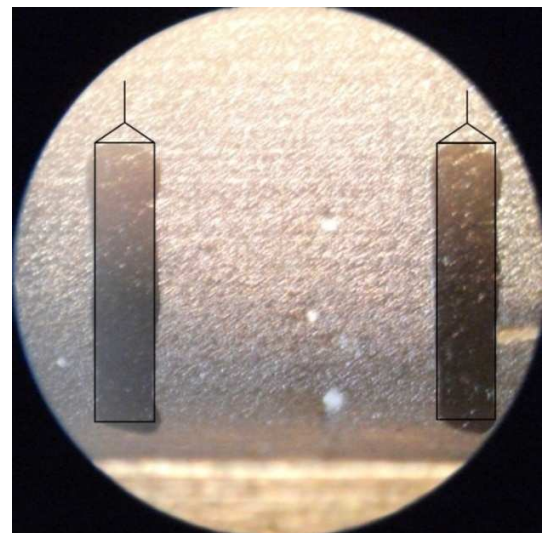


Figura e.20 Escala en milímetros tomada 200x

**Proceso de filtrado.**

A continuación se realiza la toma de 3 muestras de aceite provenientes de diferentes fuentes, la muestra 1 (figura e.21) es recolectada de del experimento controlado (pág. 11 fig. e.15). La muestra 2 (figura e.22) es tomada de otro proceso de cocción que involucra que se haya freído tanto papas a la francesa como pollo frito estilo Luisiana por lo que fue tomada poco tiempo después de haber realizad el proceso de cocción. La tercera muestra (Figura e.23) fue tomada de un establecimiento de comida rápida común en la ciudad de México, dicha muestra fue sometida a varios ciclos de cocción que incluye calentarlo y enfriarlo a tiempos irregulares, debido a que dicho aceite solo se calienta en cuanto llega un comensal y tiene un uso aproximado de 3 semana pero las partículas de gran tamaño han sido removidas por un colador, debido a que todos los días se filtraba con una maya.

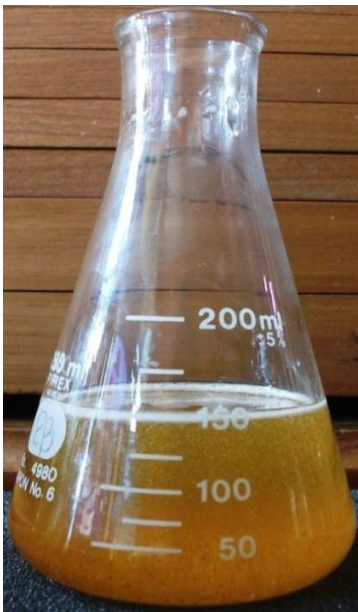


Figura e.21 Muestra 1 de aceite utilizado en condiciones ideales. Aceite utilizado una sola vez.



Figura e.22 Muestra 2 de aceite utilizado para freír 2 tipos de alimentos que son papas y pollo y utilizado una sola vez, por lo que debe d contener más elementos a filtrar.

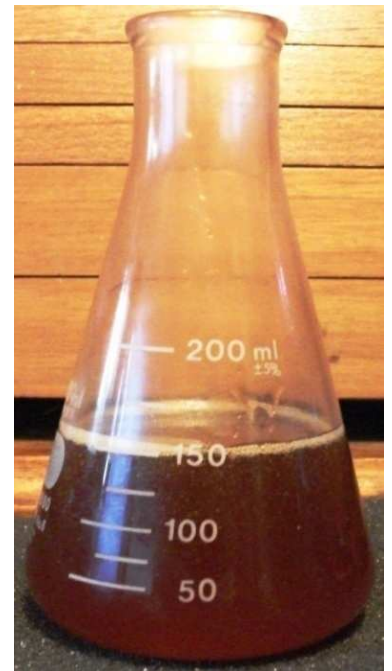


Figura e.23 Muestra 3 de aceite, es claro que debido al tiempo de uso de 3 semanas se oscurece el aceite.



Figura e.24 Embudo de Büchner

Las 3 muestras fueron de 150 ml fueron puesta a prueba por los mismos métodos por lo que se toma una muestra de 50ml para decantar por gravedad y 100 ml para filtrar para mostrar cual es el tiempo de filtrado y el peso de su sedimento. En la figura e.24 se ilustra el embudo de Büchner donde se colocará el papel filtro para probar las primeras muestras.

En la figura e.25 se muestran los vasos de Erlenmeyer que se van a utilizar para realizar la filtración por gravedad.



Figura e.25 Vaso Erlenmeyer de 200ml y canastas de papel filtro.

En las 2 primeras pruebas se realizan utilizando las muestras 1 y 2 (Figuras e.26 y e.27) para observar la velocidad de decantado y la velocidad de filtración. Para esto se les toma el tiempo y se separan las muestras en 100ml para filtrar y 50 ml para decantar por gravedad.



Figura e.26 Muestras colocadas en embudos para contener el papel filtro y a su vez montados en probetas graduadas de 100ml para conocer el porcentaje de filtrado.



Figure e.27 Vista superior del proceso de filtrado y del acomodo de los filtros en los embudos.

Después de 2 horas y 19 minutos, se puede observar (figura e.27) como el aceite de la muestra 1 ya se ha filtrado casi por completo, teniendo una pérdida por sedimentos de aproximadamente del 10% y la muestra 2 apenas lleva 45ml filtrados, debido a la alta concentración de partículas y otras grasas.

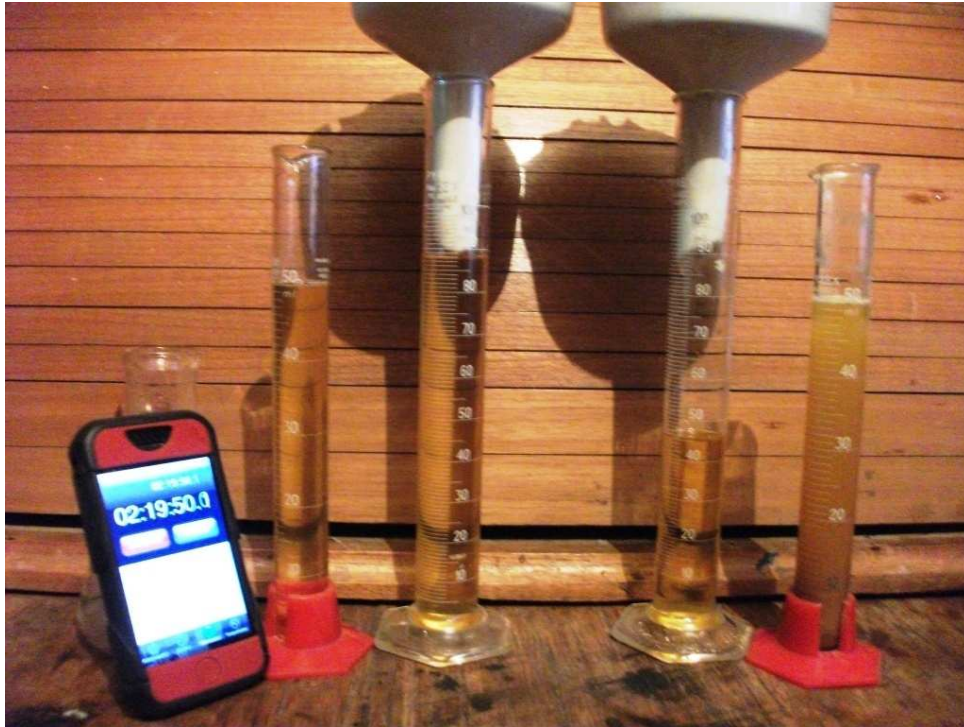


Figura e.27 Como se puede observar la muestra 1 (izq.) es la que ha casi ha terminado la filtración debido a que contiene menos partículas



Figura e.28 Después de 14 horas se realizó el filtrado de la muestra 2 (figura e.28). Teniendo una pérdida por sedimentos del 26 % de partículas solidas.

Como se puede observar (figura e.28) en las probetas de 50 ml también se ha realizado la decantación. Para la muestra 1 la decantación se llevo a cabo en aproximadamente 30 minutos y la muestra 2 en aproximadamente 10 horas



Para la muestra 3 se observa un color más oscuro (Figura e.29), la razón es el tiempo de uso de ésta muestra que aproximadamente es de una tres semanas.

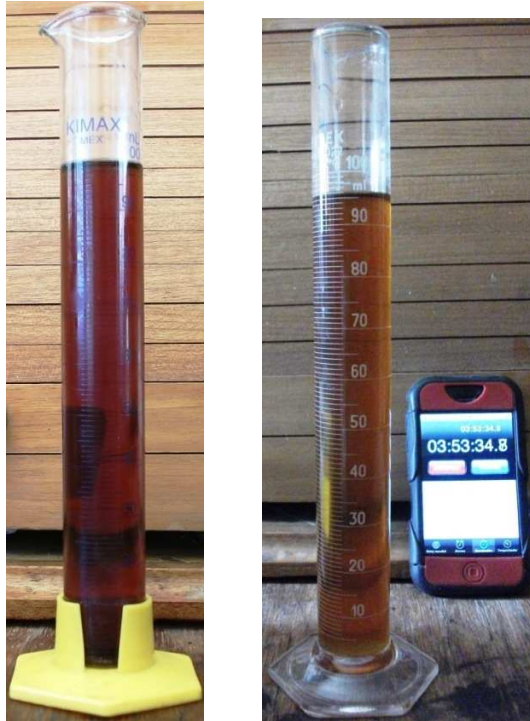


Figura e.29 Se observa la muestra 3 de aceite, antes de filtrar (imagen Izquierda) y después de filtrar así como 1 tiempo transcurrido para su filtración (imagen derecha).

En la siguiente muestra3 se observa el tiempo de filtrado (Figura e.29) que es de 3 horas con 53 minutos, lo que demuestra que dicho aceite no necesariamente tiene más partículas, lo que le ha sucedido es que el aceite esta mas quemado pero como se observa su pérdida es de 10% en partículas dispersas en el liquido y debido a que dicho aceite lleva tanto tiempo cada vez que se deposita en la freidora en el embase de almacenaje se queda siempre una fracción de sedimento que ha producido una decantación de las partículas más pesadas y las partículas más pequeñas quedan suspendidas en el aceite como se muestra en la siguiente (figura e.20 )con un aumento de 200X.

Las primeras conclusiones que se pueden observar en la figura e.20, es que dependiendo de lo que se haya cocinado en el es la saturación de partículas suspendidas en el. En las muestras 1 y 3 se puede observar casi la misma cantidad de aceite filtrado, eso es debido a que se utilizó para un solo propósito y la muestra 2 ha sido utilizada en freír más de 2 artículos, pero debido a que la muestra 3 contiene más partículas su filtrado lleva más tiempo lo que nos demuestra que entre más tiempo de uso más tiempo se tardará su filtración.

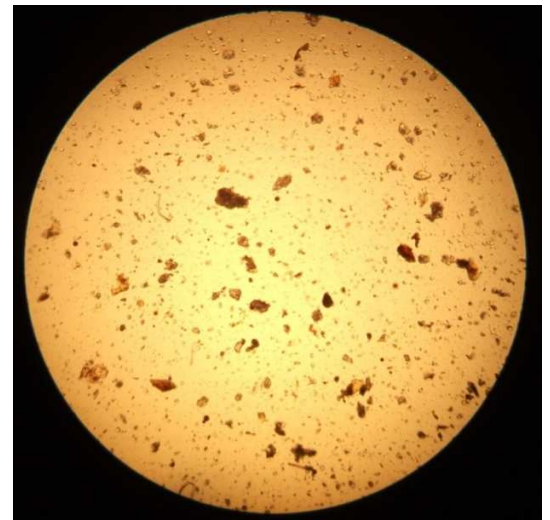


Figura e.20 Muestra 3 vista en microscopio a 200 X, se observan partículas solidas y glóbulos grasos suspendidos en el aceite.

Una vez que se tiene en cuenta la separación del aceite es necesario medir el contenido retenido por el filtro de partículas así como la masa del aceite utilizado.

Antes de realizar la medición de la masa de las partículas, retenidas por el filtro es importante tomar como referencia una muestra de papel nuevo (Figura e.21) y de ahí como referencia se descontara la masa tara y se obtendrá la masa total de cada muestra como lo ilustran las figuras e.22 e.23 y e.24.



Figura e.21  
Toma de muestra de referencia y su masa es de 5gr que va a ser descontada en cada muestra.



Figura e.22 Muestra 1 su masa es de 3 gr.



Figura e.23 Muestra 2, su masa es de 17gr.



Figura e.24 Muestra 3 su masa es de 5gr

A continuación se muestran las figuras e.25 e.26 y e.27 las cuales muestran el contenido de material retenido en el filtro.



Figura e.25 La muestra 1 es la que tiene el uso adecuado del aceite de cocina por lo que se observa una cantidad moderada de partículas retenidas en el filtro.



Figura e.26 Como se puede observar en la muestra 2, se tiene una mayor concentración de partículas debido a que dicha muestra se utilizó para freír papas y pollo entre otros por lo que además de partículas retenidas se aglomeran glóbulos grasos de alta densidad en el filtro .



Figura e.27 En la muestra 3 a pesar de tener una semana de uso, no tiene tantas partículas retenidas debido a que los glóbulos grasos de alta densidad se depositaban en el fondo del recipiente y eran retirados con un colador cada vez que se reutilizaba.

**Relación peso volumen.**

Como se puede observar la relación del peso volumen es equivalente en las 3 muestras esto nos indica que el filtrado fue exitoso, de lo contrario cada muestra tendría una variación en la masa como se observa en las 3 figuras e.28, e.29 y e.30 la temperatura también fue la misma para las 3 muestras.



Figura e.28 Muestra 1 de 10 ml y su masa es de 10 gr.



Figura e.29 Muestra 2 de 20 ml y una masa de 20gr.



Figura e.30 Muestra 3 de 30 ml y una masa de 30gr.

**2.5 Proceso de decantado por gravedad**

A continuación se muestra una serie de imágenes (figura e.31) tomadas a 200x para poder observar las partículas suspendidas en las 3 muestras de aceite que se decantaron.

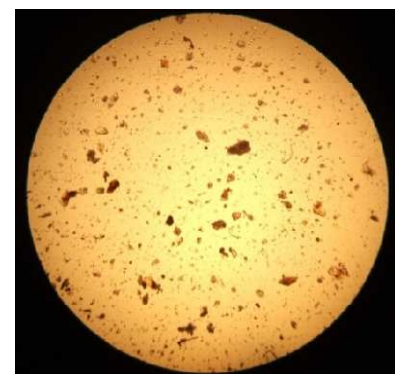
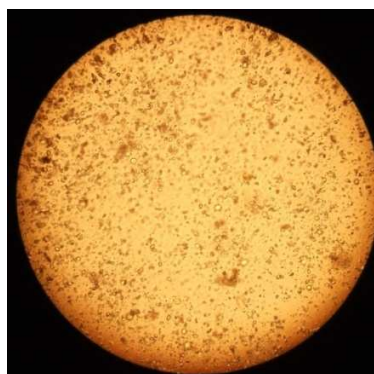
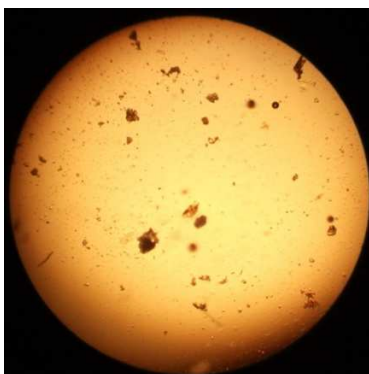


Figura e.31 Muestra 1 decantada por 36 horas

Muestra 2 decantada por 36 horas

Muestra 3 decantada por 36 horas

Se tomaron muestras de aceite de la parte media de cada recipiente para observar el nivel de decantación debido a que existen partículas suspendidas entre fases que no logran depositarse hasta el fondo, esto se debe a que en algunas ocasiones dichas partículas tiene la misma densidad que la fase líquida.

Como lo muestra la figura a.32, a.33 y a.34

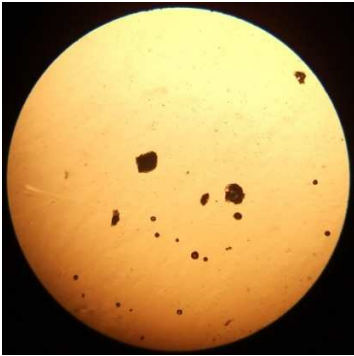


Figura a.32 Muestra 1a 200X con pocas partículas suspendidas en la fase central.

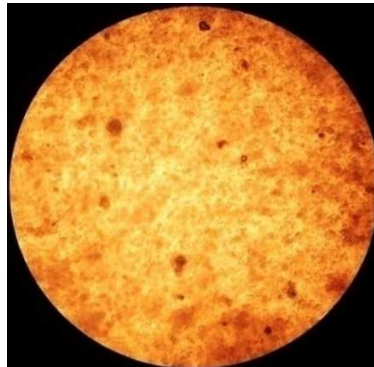


Figura a.33 En la imagen 2 a 200X se observa una mayor cantidad de glóbulos grasos que fue tomada de la parte media de la probeta.

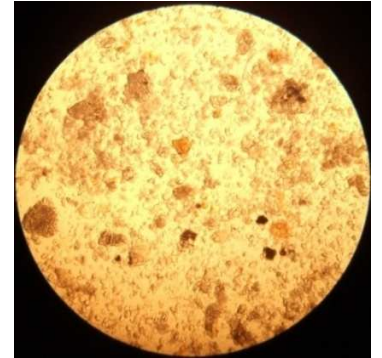


Figura a.34 Muestra 3 a 200x se observa una cantidad de glóbulos grasos no homogéneo y de diferentes coloraciones debido a los cambios de temperatura y manejo del mismo.

Una vez realizada la prueba de separación de partículas por medio de una filtración y decantación, se observó que el factor tiempo es muy elevado, lo que repercute en tiempo de almacenamiento que a la larga es traduce en capital, por lo que es evidente que nace la necesidad de acelerar el proceso por medio de realizar una inducción de energía en forma mecánica para obtener los mismos resultados pero a menor tiempo. La metodología propuesta consta de un filtrado acelerado por el procedimiento de centrifugado por canasto, seguido de una centrifugación para acelerar el tiempo de decantado e incluido en el mismo sistema el separador de fases.

## **2.6 Métodos centrífugos propuestos para la separación de partículas.**

La primera parte del procedimiento consiste en introducir la mezcla de aceite e introducirla en una tipo canasta para poder eliminar partículas mayores a .254mm. que es el filtro de canasta que se pudo encontrar para hacer la separación de de partículas grandes.

El experimento inicial con la canasta demostró que las partículas que contengan un dinamómetro mayor a .254 mm van a quedar retenidas por la rejilla por lo que queda una muestra libre de partículas de ese tamaño. Una vez que el material quede debidamente filtrado, la recuperación de dará por medio de escurrimiento del aceite por las paredes del recipiente, dicha configuración va a ser propuesta en el apartado de diseño de configuración.



Figura a.35 Revoluciones alcanzadas para filtrar la mezcla en un de filtro tipo canasto.

El procedimiento del filtrado de partículas se llevo a cabo en 2 segundos aproximadamente a 1100 rpm procesando 100ml de aceite (figura a.35)

Una vez concluida la separación de partículas de gran tamaño se procederá a decantar por el método centrifugo por lo que se va utilizar la siguiente configuración, que es la de remplazar la canasta por los sujetadores de los tubos de ensayo (figura a.36).

Antes de comenzar con el decantado por centrifugado es muy importante contar un llenado equitativo a los 2 tubos de ensayo para evitar un desbalance del prototipo, Para corregir este desbalance se procede a utilizar la mezcla como contrapeso, instalados a ambos extremos del eje del motor en posición vertical (figura a37).

Para realizar el proceso de experimentación por medio de un sistema centrífugo, lo primero que se tiene que realizar es una prueba a cada sistema centrífugo con las mismas muestras de aceite y observar los resultados. En este procedimiento se va a someter al fluido a la acción de la fuerza centrífuga de tal modo que por diferencia de densidades se realice con éxito separación del aceite.

Debido a que la muestra 2 es la que presenta la mayor cantidad de partículas suspendidas se va a realizar el centrifugado en dicha muestra. De la muestra numero 2 se obtuvieron 3 muestras del aceite tomadas de la sección superior, media y del fondo del recipiente (figura a.38) colocándolos en vasos de ensayo individuales para proceder a su separación de manera individual Dichas muestras fueron sometidas a la acción de la fuerza centrífuga para poder observar la velocidad de sedimentación que se espera poder observar de manera clara una vez procesada por este método.



Figura a.36 Sistema de sujetador de tubo de ensayo.



Figura a.37 Vista de los tubos de ensayo para su llenado.



Figura a.38 Muestra 2 dividida en 3 contenedores. Las muestras fueron obtenidas de la sección superior, media e inferior de la muestra decantada por gravedad



Figura a.39 Se observa una clara decantación en las 3 muestras.

Se tomó la decisión de centrifugar la muestra 2 debido a que por decantado por gravedad no alcanzo a realizarse una separación exitosa de cada fase por lo que al someterse a la acción de la fuerza centrífuga nos va a dar como resultado si es que se puede separara mas o no. En este proceso de separación la primera fase va a ser centrifugar a 1000 RPM por un tiempo de 60 segundos por lo que se nota una clara decantación de las muestras que fueron tomadas de la muestra 2 pero dividida en 3 contenedores independientes (figura a.39) por lo que el método funciona.

**Disposición de muestras según su concentración de sedimentos.**

De las 3 muestras originales se tomaron muestras de la sección media del vaso Erlenmeyer para visualizar la cantidad de partículas suspendidas en el aceite. Como se puede observar las muestras están dispuestas de tal manera que se observa que la separación se obtuvo de manera exitosa, lo que confirma el éxito de la separación por fuerza centrífuga. Las 3 muestras fueron sometidas a las mismas condiciones que son aproximadamente 1100 rpm temperatura ambiental de 20° C y 120 segundos en el proceso de centrifugación.



Imagen A

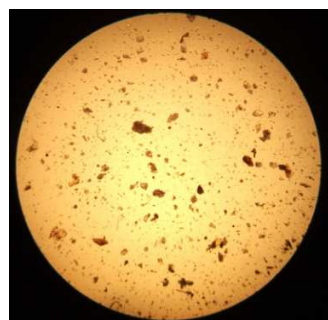


Imagen B

La Muestra 1 de líquido del vaso de Erlenmeyer (imagen A) tiene una tonalidad semi- clara antes de ser procesado. La imagen B es la imagen en microscopio tomada a 200X antes de ser procesado y se observan partículas suspendidas. La imagen B tomada a 200X muestra la misma muestra pero después de haber sido procesada. Por lo que es claro que el proceso de decantación acelerada tiene resultados visibles.



Imagen C



Imagen D

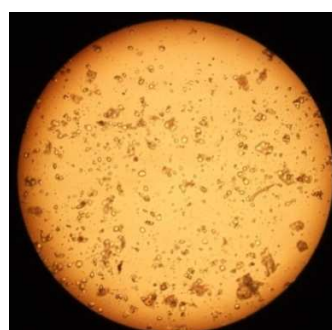


Imagen E

En la muestra 2 (Imagen D) se observa una mezcla turbia debido a la saturación de grasas y partículas suspendidas. La imagen E muestra la imagen en microscopio a 200X de partículas suspendidas y glóbulos grasos antes de ser procesada. La imagen F tomada a 200X, muestra la mezcla después de ser procesada y se observa como prácticamente no tiene partículas suspendidas.



Imagen F



Imagen G

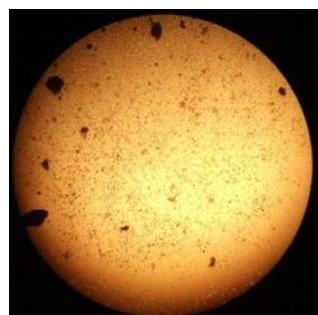


Imagen H

En la muestra 3 (imagen G) se observa una mezcla oscura debido al manejo en sitio que es un aceite sobre utilizado. En la imagen H tomada a 200X se observa una cantidad de partículas suspendidas y glóbulos grasos. La imagen I es el aceite procesado en la maquina centrífuga lo que es un claro éxito debido a que no cuenta con partículas suspendidas.



Imagen I

En las muestras 2 y 3 se observan una disminución sustentable de partículas suspendidas, dado que las 3 muestras fueron sometidas a las mismas circunstancias así como a la misma temperatura se puede observar que el método es viable para estas circunstancias específicas debido a que en la industria se tendría que realizar un estudio de las circunstancias en las que trabajaría la maquinaria debido a la situación geográfica que podría afectar la humedad o el clima, debido a que si existen temperaturas bajas la densidad del aceite se eleva.

## 2.7 Procedimiento de destilación.

Para comprobar si existía humedad en las muestras de aceite se fabricó un dispositivo para realizar un proceso de destilación para conocer la cantidad de agua existente en las muestras. El sistema de destilación consta de matraz Kitasato de 250ml (figura a.40), un tapón Corchos para matraz, 2 tramos de mangueras, un condensador en espiral, mechero bunsen, pinza para el matraz, pinza de 3 dedos, soporte para pinza de 3 dedos, bomba de agua (9watts) termómetro bimetalico y un recipiente de acero inoxidable para la contención del agua refrigerante del tubo enfriador.



Figura a.40 Matraz Kitasato de 250 ml y bureta de 15 ml. Para medir la expansión térmica del aceite.

Para el experimento se colocaron 212 ml de aceite de cocina a 24° a calentar en el sistema de destilación para calentarlo a 110° y se agregó un tubo refrigerante para separar el agua condensada, además observar cuanto es la dilatación térmica del aceite.

Al calentar el aceite por 10 min a 110° solo se pudieron obtener 3 gotas de agua a lo que asiendo a la 75µl y la expansión térmica del aceite a 110° es del 15.2%

Por lo que se concluye que la cantidad de agua existente en las muestras es despreciable y no afecta en la separación por lo que no se toma en cuenta para elemento a separar.

## 2.8 Observaciones en la centrifugación

De las maquinas y procesos mencionados cabe señalar que para la separación del aceite hay que tener en cuenta que es lo que se va a separar que tipo de partícula y sedimento, debido a que al intentar separa algún otro compuesto que contenga aceite como las latas de atún ,habría la necesidad de llevar a cabo otras medidas y controles por la razón de que los productos marinos despiden cierto aroma y si éste aceite se convirtiera en productos como jabón o glicerina habría la necesidad de incorporar algún otro proceso de filtrado y desodorizado . En las siguientes imágenes (figura r.1 y r.2) se observa cómo se intentó dicha separación.



Figura r.1 muestra de aceite de latas de atún antes de ser procesado.

En este caso específico de la figura r.2 la decantación, se realizó sin inconvenientes en la separación a condiciones de a 20°C y sujeta a la acción centrífuga por sesenta segundos pero el aroma no se pudo eliminar. Esto de debido a que dicho aceite contiene agua, material orgánico y partículas diversas, entre otros sedimentos, pero este pequeño experimento demuestra que se pueden separar diversos líquidos con partículas suspendidas.

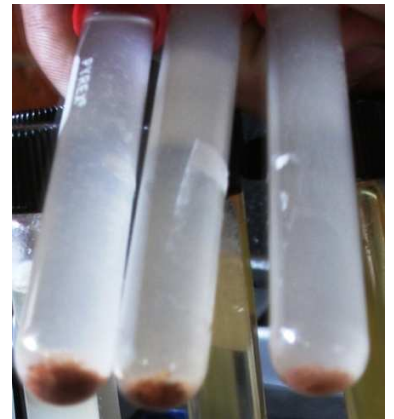


Figura r.2 como se puede observar la decantación de las partículas se puede realizar en otras mezclas

Una vez tomada esta consideración se tomaron en cuenta los siguientes parámetros para poder realizar una separación a nivel industrial:

Los parámetros para valorar los procesos fueron:

- La Forma de operación, es decir, continua, semi-continua o en cargas
- Mantenimiento y paro de equipo que en este caso solo se enfocó en la limpieza del filtro centrífugo.

La valoración en el caso concreto depende mucho de las circunstancias individuales.

En este proyecto se propuso homogenizar dichos procesos en una serie de etapas continuas para dar cabida a la separación de manera eficiente.

## 2.9 Resultados de la experimentación

Dada las soluciones seleccionadas, se puede procede a realizar la configuración del dispositivo así como la localización de los elementos de la maquina centrífuga. Es muy importante las pruebas preliminares debido a que de eso depende el método de construcción de un dispositivo final, tomando en cuenta la manera del llenado de los contenedores a centrifugar y el procedimiento de llenado continuo evitando el paro de la maquina y de cómo se va a recuperar el material ya procesado.



Cabe mencionar que durante el proceso experimental se tenía pensado que existía una gran cantidad de agua en el aceite procesar debido a que cuando se fiaren los alimentos que en muchas ocasiones se encuentran congelados y como resultado existiría una gran cantidad de agua en el aceite, pero se encontró que existía una mínima cantidad de humedad esto se debe a que el aceite es calentado a más de 90° C y por ende el agua durante el proceso de cocción se evapora por lo que la cantidad de de humedad es muy pequeña. Se demostró cuando se sometió una muestra de 212 ml de aceite al proceso de condensación y se obtuvieron aproximadamente 75 µl (Figura r.3) es decir 3 gotas de agua que fueron medidas con una micro pipeta.

Dada la gran cantidad de dispositivos separadores existentes en el mercado actual nace la necesidad de probar diferentes métodos para lograr el objetivo señalado, que en este caso específico es la solución idónea para el proceso de sedimentación por centrifugado. En el apartado de experimental se probó cual es el método idóneo para éstas circunstancias específicas para éste trabajo de investigación.

Cabe señalar que en el caso de la construcción de un planta para la separación o mejor dicho el reciclaje del aceite es recomendable revisar las condiciones de trabajo así como la ubicación geográfica para determinar la temperatura de operación, de tal manera que se pueda realizar la centrifugación de sedimentos lo más eficientemente posible teniendo un balance de inducción de energía por velocidad del proceso (figura r.4).

Dada la experiencia obtenida en la sección experimental se encontró que el mejor método para separar el sedimento del aceite útil es por medio del método centrífugo de canasto para las partículas grandes y pesadas y otra centrifuga para el sedimento, en la sección de la separación por sedimento (figura r.5) obtenido de la mezcla y extracción se llevaría a cabo por medio de una electro válvula controladas electrónicamente. De esta manera si el proceso es computarizado y automatizado vía software es alcanzarían mejores resultados. Cabe señalar que la creación del software y el sistema de contenedor serían un tema muy especializado por lo que sería tema para otro trabajo de investigación. Debido a la complejidad del sistema en sí, se podría realizar midiendo el sedimento por toma de imagen lo que requeriría de una cámara de alta velocidad para medir el sedimento y abrir la electroválvula.



Figura r.3 el tamaño de gota de aceite es de 25 µl.



Figura r.4 Es importante tener en cuenta la temperatura a la que se va a realizar el centrifugado debido a que si se trabaja en regiones polares la densidad del aceite podría aumentar por lo que se requeriría de un precalentamiento de la mezcla.



Figura r.5 vista esquemática del sedimento, color azul.



## *Capítulo 3*

### *Diseño de configuración*

### 3.1 Propuesta de métodos a utilizar.

Una vez realizada la parte experimental se observará el alcance de cada método y su posible incorporación y configuración a un proceso segmentado y continuo de tal manera que el proceso por lotes de material, puedan ser optimizados de la mejor forma posible al sistema el cual se va a configurar en éste apartado. Dada las soluciones seleccionadas se procede a realizar la configuración del dispositivo para la ubicación de los elementos para el proceso. En este caso se va a utilizar el mismo prototipo pero con configuraciones diferentes para obtener los tiempos y características entre cada etapa del proceso. El prototipo es de vital importancia para que se le pueda hacer cambios de configuración imprevistos, debido a que al encontrar pequeños errores en los métodos de construcción y por factores externos no tomados en cuenta, nace la necesidad de la fabricación de un diseño primario, esa es la razón fundamental de la fabricación de un prototipo..

#### Factores concluyentes para la fabricación del prototipo.

Dada la experiencia en la selección de materiales para la fabricación del dispositivo, se observó que el contenedor debe ser de un material ligero pero tenaz, capaz de resistir impactos dado el caso del desprendimiento de algún elemento de la maquina (figura d.1). Cabe aclarar que también hay que tomar en cuenta las condiciones a las que se va a someter el prototipo, como lo es la vibración generada por la centrifugación así como el calor de la mezcla pueden ocasionar fatiga de material o por la fragilidad del mismo.

En la fabricación del prototipo se utilizó aluminio debido a sus características de ligereza y tenacidad además de su fácil maquinabilidad y su resistencia a la corrosión debido a que al utilizar agua va a estar en presencia de un elemento corrosivo lo que un material ferroso presentaría la formación una capa de oxido y podría afectar los resultados de dicho prototipo comprometiendo la integridad del mismo.

En la fabricación de la flecha se utilizó acero por su ductilidad como se mencionó en el apartado de experimentación por lo que dicha flecha se comportó de manera adecuada durante toda la fase experimental por lo que se comprueba que es el material idóneo. En el caso de los rodamientos de la flecha existió un problema debido a la vibración existente en la flecha por lo que se corrigió utilizando un parche de lámina de acero en el rodamiento como lo indica la figura d.2.

#### Finalidad del método a utilizar.

La hipótesis a comprobar fue demostrar que el sistema de decantación acelerada es la que presenta los máximos beneficios de los procesos antes mencionados, para esto en la sección de experimentación se realizó la comprobación de la hipótesis por medio de una serie de experimentos utilizando algunos métodos mencionados.



Figura d1 en esta imagen se puede observar la olla de aluminio así como la flecha de acero.



Figura d.2 parche de acero para evitar desgaste por vibración

En la sección de experimentación se comprobó que un solo método no era suficiente por lo que la utilización mixta de métodos es la idónea debido a que cabe la posibilidad de que el método consuma más energía que otro pero debido a la velocidad con la que realiza el proceso será más factible.

Un ejemplo muy claro es lo lento de decantar por gravedad una serie de muestras, por lo que se pone de manifiesto que la velocidad del decantado es esencial para la industria por su velocidad y poco almacenaje, debido a que la recolección diaria requeriría de una gran extensión de terreno así como un mayor número de contenedores para decantar lo que sería una gran inversión inicial al momento de crear dicha empresa por los contenedores de almacenamiento y el espacio necesario para su instalación..

De este modo para la industria el tiempo es dinero por lo que la configuración de un sistema mixto de centrifugado puede ser la solución idónea para este proceso. La finalidad es procesar la mayor cantidad de material disponible en el menor tiempo posible debido también a que el almacenaje del material tiene un costo tanto de inversión inicial como de disponibilidad del espacio requerido.

### 3.2 Propuesta de método de llenado automatizado y separadora de partículas.

En el método propuesto para el llenado automático de los recipientes se va a necesitar una pieza para el llenado centrífugo de manera continua, por medio de una junta rotativa (figura d.3). La capacidad de la junta será dependiendo de la máquina a fabricar debido a que las especificaciones de cada tipo de junta es dependiendo de factores específicos, como son la velocidad del llenado las revoluciones del dispositivo, así como la orientación y tipo de cuerda del dispositivo ya que existe una amplia combinación entre ellos. Esto es requerido para que no tenga que haber un paro de la maquinaria para llenar los recipientes. Dicha válvula tiene la tarea del llenado constante según las especificaciones solicitadas mientras se encuentra en movimiento.



Figura d.3 junta rotativa transmite el fluido en un dispositivo rotatorio.

La junta rotativa que se propone utilizar es una junta conectada al eje del rotor de la llenadora de contenedores y dicha válvula se conectará a cada contenedor a girar por medio de tubería para que no se tenga que detener el proceso para llenar los contenedores y se realice de manera continua y sin interrumpir al dispositivo para una nueva recarga.

Una vez montado el dispositivo se propone que el vaciado de las partículas sedimentadas sea por medio de una electroválvula como lo indica la flecha de la imagen d.4, localizada en el extremo del contenedor a girar como lo indica la flecha en la imagen. Por éste medio se plantea llevar a cabo el vaciado del mismo con la ayuda de la fuerza centrífuga.



Figura d.4 propuesta de la ubicación de la electroválvula para el vaciado automático.

### Propuesta de máquina separadora de partículas.

El método de filtrado acelerado por filtro de canasto plantea que la manera de limpiar el filtro es por medio de la adicción de una serie de aspersores ubicados en las paredes del contenedor como indican las flechas (figura d.5) para que de esta manera por la parte central sean removidas de manera automática y rápida. Para retirar las partículas depositadas en el fondo del recipiente se puede utilizar vaciado por gravedad o succión de esta forma se haga una separación en un menor tiempo posible, lo que ahorra tiempo y dinero en el proceso de separación de mezclas y evita la acumulación de sedimento en la maquinaria.

Dada la experiencia obtenida en el método experimental se puede comprobar que las 3 muestras pueden ser sometidas al mismo proceso, solo cabe ordenar la manera en que se va a colocar de manera automatizada en los contenedores y como se va verter los aceites limpios sin que se tenga que recurrir a la interrupción del proceso.

El primer proceso por el cual se va a someter los aceites es la centrifugación por canasta en el método experimental y por tambor en el proceso industrial. En la figura e.6 se muestran el esquema del posible sistema industrial para retirar las partículas de tamaño considerable utilizando un sistema centrífugo por tambor o canasto.

El dispositivo funciona de la siguiente manera:

Se hace entrar el aceite por un tubo localizado en la parte superior del tambor, por un vertido a una velocidad constante se va ir procesando la mezcla y una vez que se considere que los filtros se encuentran saturados se detendrá el proceso para limpiar los filtros por medio de inyectores localizados en la pared externa del tambor y a base de presión eliminar las partículas por el centro del tambor. En esta sección del proceso es la única máquina que se puede detener debido a que el proceso de filtrado es muy rápido a comparación de los siguientes procesos y una vez procesado el aceite y libre de grandes partículas puede ser canalizado directamente ya sea por gravedad o bombeo al siguiente proceso de separación que se denomina sedimentado acelerado o simple mente centrifugador.

### 3.3 Configuración de dispositivos centrífugos por decantado.

La razón principal de este método es que el dispositivo no se detenga para recibir una nueva carga y la solución fue la adición de una junta rotativa lo que haría el proceso continuo. Una vez solucionada la entrada del material se prosigue a la descarga del material procesado, la solución a la que se llegó fue un sistema de vaciado por medio de una electro válvula controlada por un ordenador y una cámara de alta velocidad (figura d.7 imagen A y B) para decidir cuándo se lleva y cuando se vacía el contenido de los contenedores. De igual manera se necesita de otra electro válvula que vacíen los sedimentos. Ésta electro válvula se localizará en el extremo del contenedor como lo indican las flechas azules en la figura d.8 y la figura d.9 por lo que esta muestra la solución al sistema de la separación del aceite de su sedimento.

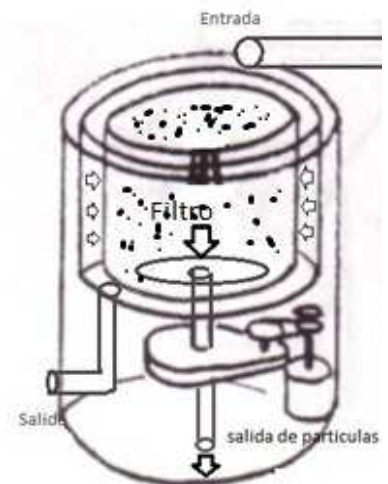


Figura d5 propuesta de filtrado por canasto o tambor.

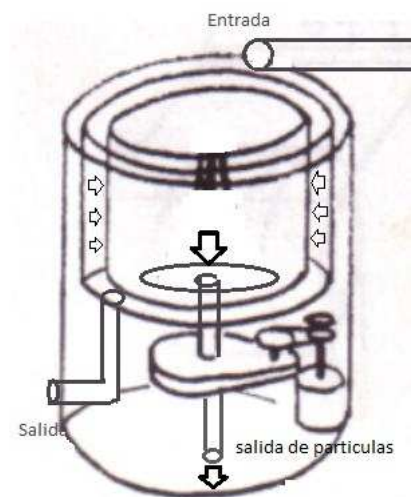


Figura d6 propuesta de filtrado del tambor por medio de inyectores colocados en las paredes de contención como lo indican las flechas horizontales.



Imagen A



Imagen B

Figura d.7 muestra como sería la toma de una fotografía de alta velocidad imagen B, para decidir el momento de la apertura de la válvula para vaciar el contenido de los recipientes

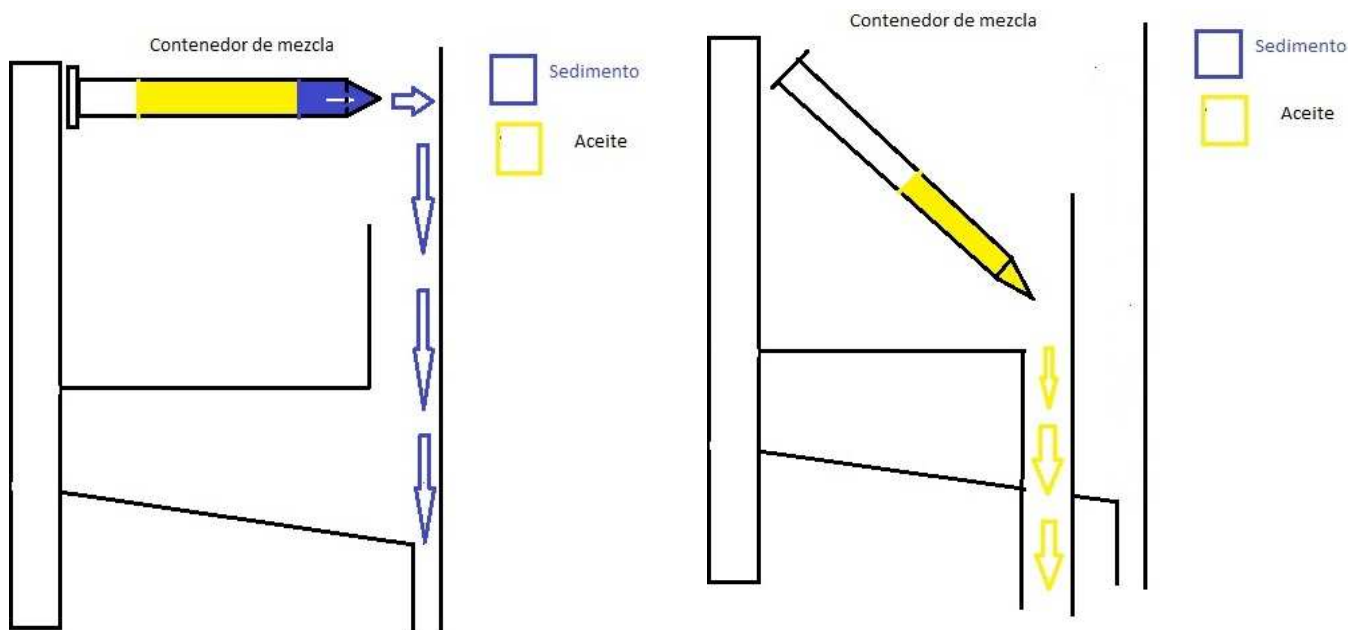


Figura d.8 debido al giro de la maquina los contenedores de ubican de manera horizontal debido a la fuerza centrífuga por lo que no es necesaria la ayuda de una bomba para extraer el material de sedimento.

Figura d.9 de la misma forma como se pretende extraer el sedimento del contenedor, se plantea la extracción del material procesado bajando la velocidad de tal manera que se incline como se ilustra y de esta manera extraer el material con la apertura de la electroválvula.

### 3.4 Propuesta de diseño, configuración y distribución de maquinaria.

Una vez realizadas las investigaciones de los métodos de separación y sometidos a prueba cada una de las propuestas presentadas se va a proponer un diseño tomando en cuenta todos los pros de cada método, por lo que al final resulta en un método con 2 dispositivos. El primer dispositivo se va a encargar de quitar las partículas de gran tamaño, por medio de un tambor con rejilla separadora de partículas. El propósito es eliminar todas las partículas de gran peso y tamaño lo que equivale al ahorro de energía, en el siguiente proceso, debido a que contiene un menor número de partículas a decantar y entre menos masa contenga la mezcla por ende requeriría de menor energía tanto para rotarla como para decantarla. En las siguientes figuras se esquematiza el diseño final del separador de partículas y la forma de procesar la material.

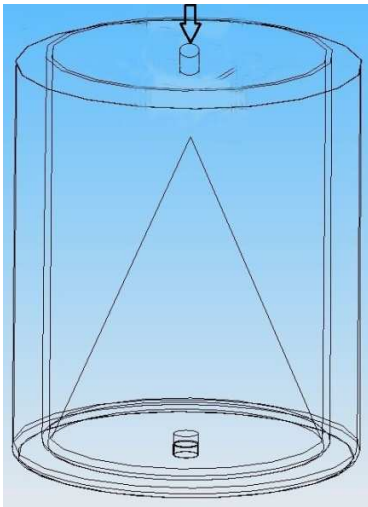


Figura d.10 La flecha superior indica el modo en que entra la mezcla de aceite para filtrar.

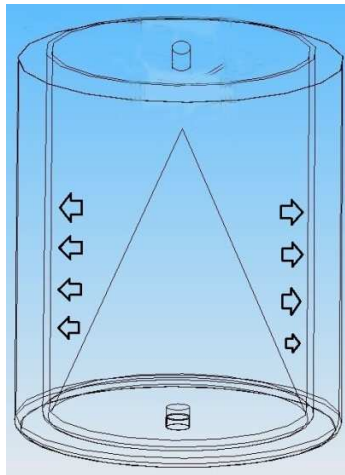


Figura d.11 Se procede a centrifugar la mezcla y el desplazamiento de la mezcla se dirige como indican las flechas para atravesar la malla por lo que las partículas quedan retenidas en la malla.

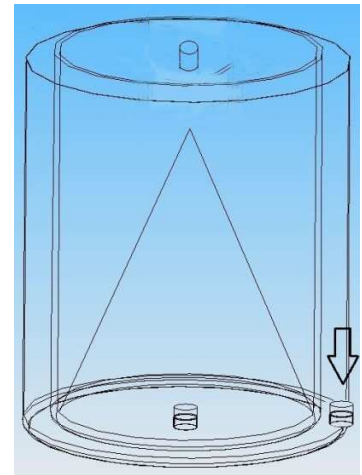


Figura d.12 La mezcla se dirige al siguiente proceso por un tubo como lo indica la flecha.

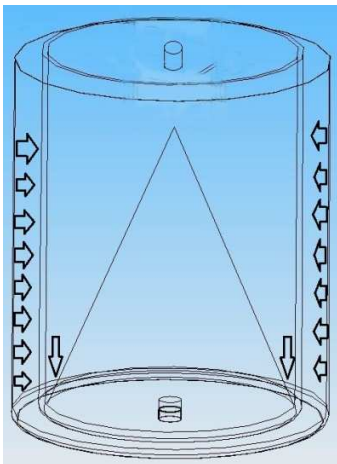


Figura d.13 Cuando el dispositivo se encuentra saturado de sedimento unos inyectores rocian aceite a alta presión para limpiar la rejilla sin la necesidad de desmontarla.

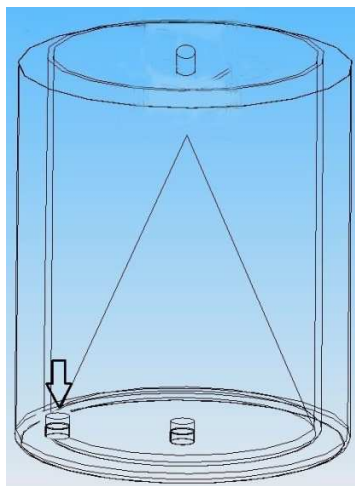


Figura d.14 Se abre una valvula y deja pasar el sedimento al centro del cono.

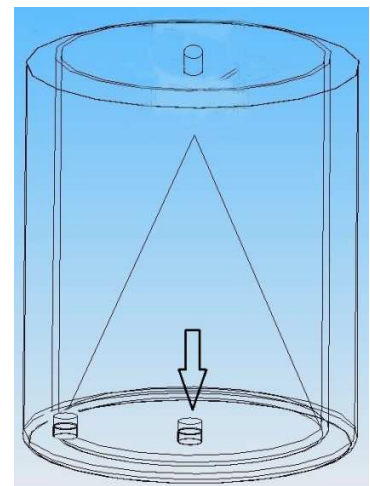


Figura d.15 Por ultimo el sedimento es aspirado por un tubo localizado en el centro del cono.

Una vez que el sistema de filtrado ha sido esquematizado se procede a mostrar el diseño final propuesto. Para el diseño de la centrífuga para decantación se realizó un arreglo de cabeza móvil tipo revolver como lo ilustra la figura d.16



Figura d.16 Cabeza para centrifugadora labtec Modelo ZS206A. Esta cabeza para centrífuga permite que los vasos de ensayo puedan estar en estado vertical cuando la centrífuga se encuentre detenida lo que permite que el vaso se hubique en posición horizontal cuando la maquina se encuentre operando. .

En la figura d.17 se muestra el diseño de la centrífuga propuesta, por lo que es claro que el diseño del contenedor funciona en base a la velocidad de los contenedores. Como se puede observar a altas revoluciones el contenedor 1 se mantiene de manera horizontal por lo que al momento de abrir la válvula el material será proyectado hacia la pared exterior y a baja velocidad aproximadamente a 150 rpm se inclina el contenedor teniendo la posibilidad de proyectar el material en la pared interior del contenedor de la centrífuga. La diferencia del prototipo al diseño final es colocar una serie de 12 contenedores en una cabeza tipo revolver con sistema de llenado automático.

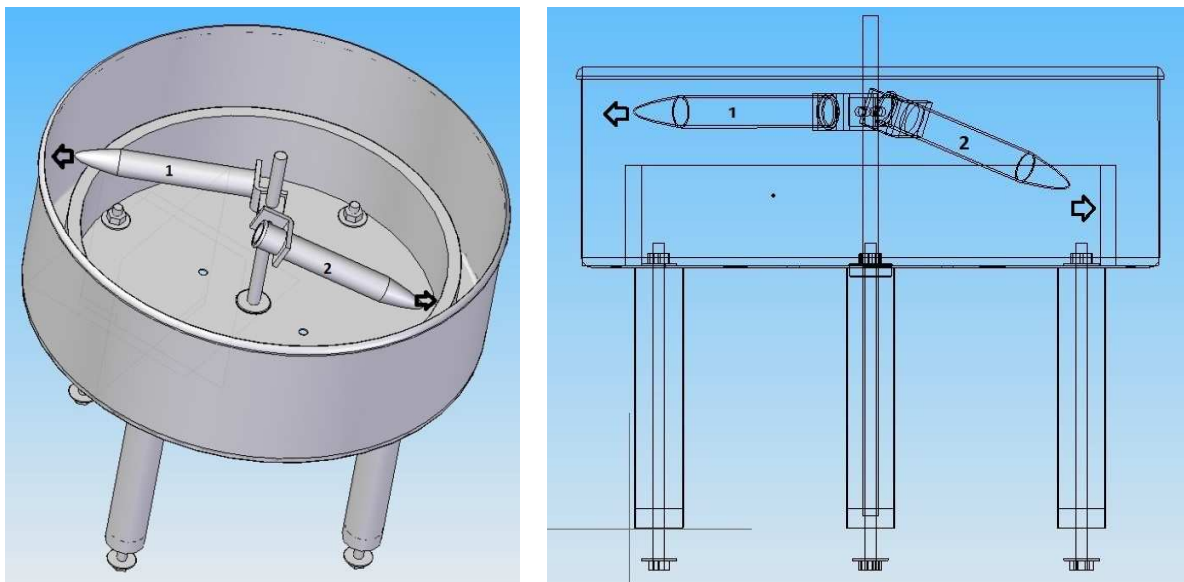


Figura d.17 Como se puede observar el recipiente 1 en el momento en el cual se abre la válvula localizada al extremo del tubo se libera el sedimento, proyectándose hacia la pared externa del recipiente lo que posteriormente es depositado en el contenedor correspondiente. En el recipiente 2 al momento de abrir la válvula el líquido que en este caso es el aceite libre de sedimento, es depositado en el recipiente interno y posteriormente será depositado en los contenedores correspondientes para su distribución.



**Propuesta de distribución de la maquinaria.**

Matriz de selección de ubicación y distribución de maquinaria T4

	Ventajas	Desventajas	Maquinaria utilizada	Gasto de energía diaria por bombeo
Ubicación de los dispositivos al mismo nivel	En la construcción de la planta tratadora de aceite, se requiere de una menor inversión.	Se va a requerir de sistemas de bombeo y existen problemas de burbujas por el bombeo.	Bombas centrífugas o de vacío.	si
Ubicadas ascendente	Es más económico construir hacia arriba que hacia abajo.	Se requerir de sistemas de bombeo y existen problemas de burbujas por el bombeo.	se requiere de mayor energía para el bombeo.	si
Ubicadas descendente	No se necesita bombeo por lo que se evitan burbujas en el aceite lo que conlleva a un aumento en la velocidad de sedimentación.	Mayor gasto de instalación en la planta.	no utiliza.	no

Si a cada circunstancia se convierte en un número quedaría de la siguiente forma, 1 = si 0=no

	Ventajas.	Desventajas.	Bombeo de material.	Gasto de energía diaria por bombeo.	Total.
Ubicación de los dispositivos al mismo nivel	1	1	1	1	4
Ubicadas ascendente	1	1	1	1	4
Ubicadas descendente	1	1	0	0	2

Se recomienda que el sistema de separación sea ubicado por debajo de los tanques de almacenamiento Figura e.18 debido a que de esta manera por medio del peso de la materia prima, fluya a las maquinas centrífugas y por lo que existe el ahorro de energía debido a que no se tiene que utilizar sistemas de bombeo, de esta manera se ahorrará energía en todo el sistema por traslados del material de un sistema a otro.

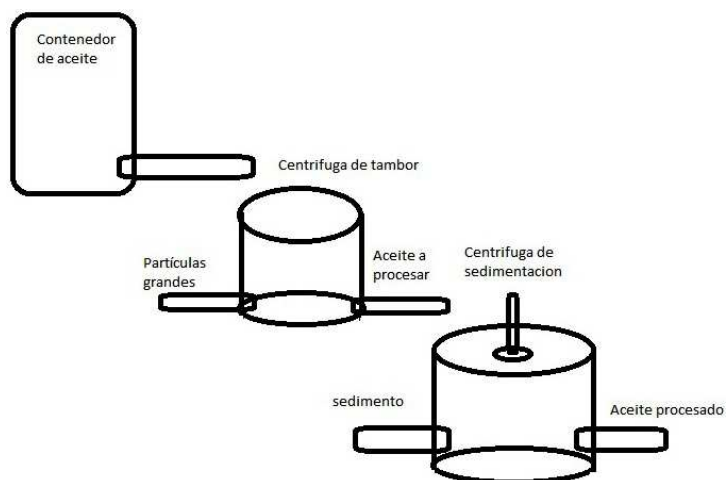


Figura e.18 Propuesta de esquema de distribución de la maquinaria para evitar sistemas de bombeo.



## *Conclusiones*

### **Conclusiones de los métodos utilizados.**

En los 2 métodos de separación que se seleccionaron fue necesario agregar la aceleración centrífuga debido a que los procesos iniciales del filtrado y decantado eran los que resolvían el problema de la purificación del aceite, pero debido a que son muy lentos no podían ser viables para aplicarlos en la industria de la purificación de aceite, por lo que se concluyó con un análisis en la inyección de energía en forma mecánica por el proceso centrífugo para obtener mejores resultados en función del tiempo de procesamiento. En la adición del trabajo mecánico por medio de la centrifuga queda justificada debido a que con los procedimientos estudiados pudo ser posible diseñar la configuración de los dispositivos para realizar el proceso de manera continua.

Para separar los datos útiles de cada método fue necesario realizar experimentaciones a 3 muestras de aceite que se consideraron como una muestra significativa de las condiciones reales encontradas en la industria. En la fase de filtrado por medio de centrifugado por canasta y la decantación acelerada por centrifugado, fueron los métodos que resolvieron el problema de separación de partículas y sedimentos dentro de éstas circunstancias específicas. Dentro de la serie de experimentos realizados a cada una de las muestras representativas se pudo comprobar que cada método era compatible para ser procesada lo que se puede incluir una gama de mezclas con características similares para ser procesadas por el mismo método.

En los métodos aplicados se encontró una solución en las que quedó de manifiesto una de la ventaja más importantes del método por centrifugado, que es la sedimentación acelerada de la parte sólida de la mezcla, por lo que se logró uno de los objetivos de éste trabajo de investigación. Debido a que el procesamiento de la mezcla fue exitoso y más rápido en comparación de los métodos por filtrado convencionales, queda de manifiesto una clara mejora en el procesamiento de la mezcla como se ilustró en el procesamiento de la muestra #2 que era la mezcla con mayor cantidad de partículas retenidas en el filtro. En el apartado experimental figura e.29, pág.31 donde se puede observar que la mezcla tardó en filtrarse 3 horas y 53 minutos y por el método de filtrado por centrifugado llevó un tiempo de 60 segundos a 1000 rpm aproximadamente (pág. 35), debido a que la ventaja operativa se comprueba la mejora de la puesta en marcha de dicho procedimiento.

### **Conclusiones sobre separación.**

Para no afectar la producción de una planta se optó por agregar en el separador centrífugo por canasto, una serie de inyectores ubicados en las paredes del contenedor de tal medida que el dispositivo no realizara un paro para remover los pequeños fragmentos incrustados en las mayas de separación y de ese modo los inyectores removieran las partículas retenidas de manera automática lo que resulta en un sistema con poco mantenimiento y conlleva a una mayor eficiencia en una planta de purificación. En la sección de experimentación por canasto se detectó que después de un tiempo determinado de operación se encontraban pequeñas partículas adheridas o retenidas en el poro en las paredes del filtro de canasto, lo que demuestra que las telas o mayas de las centrífugas deben limpiarse con un chorro de aire por lo menos una vez al día, para remover las partículas que se alojan en las perforaciones. Además se recomienda que antes del vaciado inicial a la centrifuga por canasto se instale una maya de separación para grandes partículas debido a que en algunas circunstancias la maya de las centrífugas se rompe o se desgarran por la presencia de grandes objetos de origen externo como podría ser un fragmento de maquinaria o una roca lo que conlleva a perforaciones en la maya por el impacto de objetos extraños al proceso, por lo que la maya se desgarran y eso conlleva a un

paro de la máquina para poder repararse o reemplazarse a la brevedad posible para que el equipo funcione de manera correcta.

Una propuesta para realizar la automatización del proceso de llenado, vaciado y control de llenado de la mezcla sería la inclusión de sistemas electrónicos como un PLC como sensores y actuadores para controlar la parte de potencia de la maquinaria, de tal manera que el control de las operaciones de válvulas y bombas sea gobernado por una computadora industrial de tal manera que la información sea generada por instrumentos de medición y sea calculada para realizar el proceso de la forma más eficiente posible con sistemas de auto calibración. Bajo tales controles, el aceite puede ser precalentado según la necesidad de cada localización geográfica donde se pretenda realizar este proceso. Esto puede ser llevado a cabo mediante el uso de una variedad de condiciones a través de distintos programas que pueden ser alimentados en un ordenador para calcular las condiciones ideales para procesar la mezcla.

Los avances de las últimas décadas en separación centrífuga han apuntado principalmente a incrementar la capacidad productiva por medio de la automatización de la maquinaria, ante una demanda en aumento de los grandes volúmenes de producción por lo que se propuso un sistema de limpieza automático de los separadores a intervalos regulares para evitar el paro de la maquinaria o el desarme de la misma para mantenimiento. En la actualidad debido a la crisis energética los avances mecánicos se han concentrado sobre todo en la eficiencia energética debido a que la generación de energía eléctrica para el funcionamiento de la maquinaria es generada principalmente por combustibles fósiles lo que conlleva a la contaminación del ambiente con gases nocivos producto de la combustión, de ahí nace la inminente necesidad de hacer eficiente los procesos industriales para el ahorro de energía.

### **Recomendaciones.**

Se recomienda que la función productiva se divida en un subsistema de producción o áreas de trabajo, debido a que los subsistemas de producción por sí mismos son un verdadero sistema que participa en la actividad global de producción de la empresa. Es muy importante tomar en cuenta que la administración del sistema de producción se ocupa de todos aquellos planes decisiones, actividades y controles, que permiten la transformación de la materia prima en la materia final deseada, por lo que dichos recurso son afectados por el origen de la materia prima, su manejo traslado y condiciones ambientales., debido a que no es lo mismo trasladar la materia prima por barco camión o tren debido a que en los traslados según sean las distancias y la localización geográfica pueden sufrir una variación en las temperaturas de la materia prima así como un cambio en la humedad del producto a transportar. Es muy importante que una vez ubicada la fuente de la materia prima, nos aseguremos de realizar un estudio de logística para la transportación y el almacenaje del producto inicial, debido a que si el aceite a procesar se encuentra a una alta temperatura podría generar humedad por la diferencia de temperatura existe en regiones que son muy húmedas lo que reflejaría una alta concentración de humedad en la mezcla a procesar, por lo que se recomienda un estudio de la región de operación

De esta manera hay que contar con una mano de obra calificada y profesional. Hacer un balance energético de las condiciones de traslado de la maquinaria y equipos industriales involucrados en el proceso de transporte que se va llevar a cabo. Así como contar con las instalaciones adecuadas para la carga y descarga del material así como un equipo de dirigentes con los conocimientos necesarios para coordinar el proceso productivo.



**Anexos**

## **A.1 Propiedades de los materiales utilizados.**

### **Propiedades del aluminio.**

El aluminio es un metal plateado muy ligero. Su masa atómica es 26,9815; tiene un punto de fusión de 660 °C, un punto de ebullición de 2.467 °C y una densidad relativa de 2,7. Es un metal muy electropositivo y extremadamente reactivo. Al contacto con el aire se cubre rápidamente con una capa dura y transparente de óxido de aluminio que resiste la posterior acción corrosiva. Por esta razón, los materiales hechos de aluminio no se corroen por efecto de la oxidación como lo serian los materiales ferrosos. El metal reduce muchos compuestos metálicos a sus metales básicos.

### **Aplicaciones.**

Un volumen dado de aluminio pesa menos que 1/3 del mismo volumen de acero. Los únicos metales más ligeros son el litio, el berilio y el magnesio. Debido a su elevada proporción resistencia-peso es muy útil para construir aviones, vagones ferroviarios y automóviles, y para otras aplicaciones en las que es importante la movilidad y la conservación de energía. Por su elevada conductividad del calor, el aluminio se emplea en utensilios de cocina y en pistones de motores de combustión interna. Solamente presenta un 63% de la conductividad eléctrica del cobre para alambres de un tamaño dado, pero pesa menos de la mitad. Un alambre de aluminio de conductividad comparable a un alambre de cobre es más grueso, pero sigue siendo más ligero que el de cobre.

El metal es cada vez más importante en arquitectura, tanto con propósitos estructurales como ornamentales. Las tablas, las contraventanas y las láminas de aluminio constituyen excelentes aislantes. El metal se utiliza también en reactores nucleares a baja temperatura porque absorbe relativamente pocos neutrones. Con el frío, el aluminio se hace más resistente, por lo que se usa a temperaturas criogénicas. El papel de aluminio de 0,018 cm de espesor, actualmente muy utilizado en usos domésticos, protege los alimentos y otros productos perecederos. Debido a su poco peso, a que se moldea fácilmente y a su compatibilidad con comidas y bebidas, el aluminio se usa mucho en contenedores, envoltorios flexibles, y botellas y latas de fácil apertura. El reciclado de dichos recipientes es una medida de conservación de la energía cada vez más importante. La resistencia a la corrosión al agua del mar del aluminio también lo hace útil para fabricar cascos de barco y otros mecanismos acuáticos.

Puede prepararse una amplia gama de aleaciones para recubrimientos y aleaciones forjadas que proporcionen al metal más fuerza y resistencia a la corrosión o a las temperaturas elevadas. Algunas de las nuevas aleaciones pueden utilizarse como planchas de blindaje para tanques y otros vehículos militares.

---

***Fichas Internacionales de Seguridad Química***

**OXIDO DE ALUMINIO**

a-Alúmina

Trióxido de aluminio

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Masa molecular: 101.9

CAS: 1344-28-1

RTECS: BD1200000

ICSC: 0351

***Fichas Internacionales de Seguridad Química***

Datos importantes

**ESTADO FISICO; ASPECTO**

Polvo blanco.

**LIMITES DE EXPOSICION**

TLV (como TWA): 10 mg/m<sup>3</sup>, como Al (polvo total que no contenga amianto y <1% de sílice cristalina) (ACGIH 1993-1994).

MAK: 6 mg/m<sup>3</sup> (1993).

**VIAS DE EXPOSICION**

La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol.

**RIESGO DE INHALACION**

La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire.

**EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION**

La inhalación de altas concentraciones de polvo de ésta sustancia puede originar irritación de los ojos y tracto respiratorio superior.

**Punto de ebullición:**

2980°C

Punto de fusión: 2072°C

Densidad relativa (agua = 1): 4.0

Solubilidad en agua: Ninguna

Presión de vapor, kPa a 2158°C: 0.1

**Elección de los aceros a utilizar en una maquina.**

En la mayoría de los casos nos encontramos con que son varios los tipos e incluso las familias de aceros que nos resolverían satisfactoriamente un determinado problema de herramientas o maquinas industriales, lo importante es la selección adecuada, es decir dónde va a trabajar nuestro material, tales como productividad prevista, facilidad de fabricación y costo. Puede ser en última instancia es el costo, debido a la operación a la cual va a ser utilizada, es lo que va a determinar la elección del acero.

No obstante, en cada caso en particular hay que considerar también otros muchos factores, tales como la deformación máxima que puede admitirse; la descarburización superficial tolerable; la templeabilidad o penetración de la dureza que se puede obtener; las condiciones en que tiene que efectuarse el tratamiento térmico y, finalmente, la maquinabilidad pero todos estos factores pueden ser tema de otra investigación de trabajo.

**Anotaciones para aceros en el uso de maquinaria industrial.**

Se incluyen teóricamente todos los aceros que pueden emplearse para la fabricación de herramientas o para el uso en maquinas industriales. Dichos aceros son utilizados en la fabricación o herramientas o para maquinaria en usos especiales en el área industrial. Por lo que es muy importante analizar en donde va a trabajar el material y en contacto con que sustancias, debido a que existen materiales que corroen el acero, pero se les puede adicionar un tratamiento térmico o un recubrimiento. Éstos son algunos ejemplos de tratamientos térmicos y recubrimientos

<p>Recubrimientos para Acero por pintura</p> <p>Recubrimientos Exteriores          Primario: Corlar®825 @ 3 mils          Acabado: Imron®10P @ 2 mils          Resistencia a la corrosión y humedad          Primario: DuPont®25P @ 4 mils          Acabado: Imron®10P @ 2 mils</p> <p>Extraordinario Interior          Primario: Corlar®825 @ 3 mils          Acabado: Corlar®823EN @ 2 mils          Primario: DuPont®25P @ 8 mils          Primario altos sólidos</p>	<p>Recubrimientos por sustrato</p> <p>Alquidáticos Esmaltes Epóxicos Aluminio - No corrosivo Aluminio - Corrosivo          Altas Temperaturas Enlaces Epóxicos Altas Temp - No corrosivo Altas Temp - Corrosivo          Ricos en Zinc Primarios Epóxicos Acero Galv - No corrosivo Acero Galv - Corrosivo          Esmalte Poliuretano Acero - No corrosivo Acero - Corrosivo</p>
<p>Tratamientos térmicos</p> <p>Aceros de temple al agua W          Aceros para trabajos de choque S          Aceros para trabajos en frío O Aceros de temple en aceite          A Aceros de media aleación temple aire          D Aceros altos en cromo y en carbono</p>	<p>Base Agua Concreto - No corrosivo          M Aceros al molibdeno          Aceros para usos especiales L Aceros de baja aleación          F Aceros al tungsteno          P Aceros para moldes          Aceros para trabajos en caliente H Aceros del tipo H          Aceros rápidos T Aceros al tungsteno</p>



## A.2 Vistas y planos de componentes del prototipo



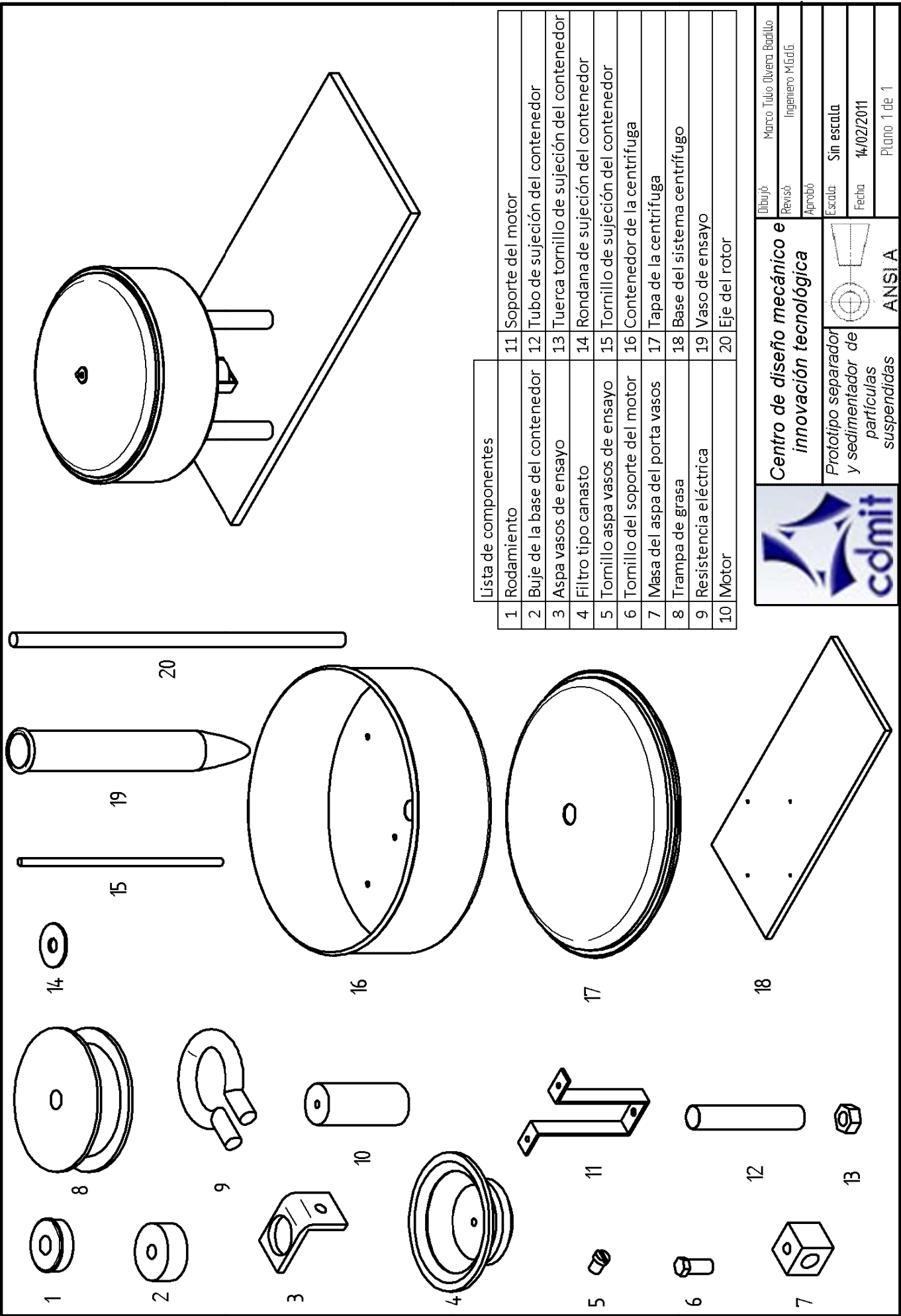
Figura an.1 imagen del prototipo fabricado y vista de los contenedores llenos antes de proceder al centrifugado.



Figura am2 Puesta en marcha del prototipo centrífugo y se observa su alta velocidad que es de aproximadamente 1000 rpm.



Figura am3 Vista de los vasos de ensayo sometidos a la fuerza centrífuga, como se observa los vasos se encuentran en una posición horizontal.



Lista de componentes

1	Rodamiento	11	Soporte del motor
2	Buje de la base del contenedor	12	Tubo de sujeción del contenedor
3	Aspa vasos de ensayo	13	Tuerca tornillo de sujeción del contenedor
4	Filtro tipo canasto	14	Rondana de sujeción del contenedor
5	Tornillo aspa vasos de ensayo	15	Tornillo de sujeción del contenedor
6	Tornillo del soporte del motor	16	Contenedor de la centrifuga
7	Masa del aspa del porta vasos	17	Tapa de la centrifuga
8	Trampa de grasa	18	Base del sistema centrifugo
9	Resistencia eléctrica	19	Vaso de ensayo
10	Motor	20	Eje del rotor



**Centro de diseño mecánico e innovación tecnológica**

Prototipo separador y sedimentador de partículas suspendidas

ANSIA

Dibujó	Marco Tulio Olvera Badillo
Revisó	Ingeniero M. Edg.
Aprobó	
Escala	Sin escala
Fecha	14/02/2011
	Plano 1 de 1

## BIBLIOGRAFÍA

Mecánica para ingenieros Dinámica 5ta ed.  
Bedford Fowler  
Pearson Educación

Mecánica de fluidos 2da ed.  
Robert W. Fox  
Alan T. McDonald  
Mc. Graw Hill

Física Principios y aplicaciones 6ta Ed.  
Douglas C. Giancoli  
PRENTICE HALL

Mecánica Vectorial para ingenieros Dinámica  
Russel C. Hibbeler  
William E. Clouser  
Pearson Educación

Diseño de Estructuras Metálicas  
McCormac, Jack C  
México: RSI, 1975

Tecnología de los metales  
Séptima Edición; Mir Moscú; 1985  
MALISHEV, A

Metalografía y Tratamiento termoquímico de los Metales  
YU, M.; Mir Moscú, Traducción del Ruso, 1977.

Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales  
SMITH, W  
Tercera Edición; Mac Graw Hill, 1998

Química 10  
POVEDA JULIO CESAR  
Editorial Educar Editores

Procesos de separación  
Pags 730-735  
J. Judson King  
Editorial Reverté S.A.

Física Universitaria  
Sears.Zemansky  
Young. Freedman  
Editorial Pearson Addison Wesley

Curso de introducción a las ciencias Físicas  
Haber-Schaim  
Cross+Abegg  
Dodge Walter  
Editorial Reverté S.A.

Remington Farmacia 20ª Edición  
Sebastián Bellucci  
Laura L. Blumetti  
Julio C. Cortés  
Editorial Médica Panamericana

Metals handbook  
Ninth Edition Vol 9  
Metalograph and microstructures  
Ed ASM

MALISHEV, A.; Tecnología de los metales; Séptima Edición; Mir Moscú; 1985.  
YU, M.; Metalografía y Tratamiento termoquímico de los Metales; Mir Moscú, SMITH,  
W.; Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales; Tercera Edición; Mac Graw  
Hill, 1998

Procesamiento de semillas de cereales y leguminosas de grano  
Directrices técnicas pags 94-98  
Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación  
Roma 1985

Páginas de internet (Consultadas del 5 julio del 2010 al 10 de noviembre del 2010)

[http://www.recubrimientosdupont.com.mx/recubrimientos/acero\\_corrosivo.html](http://www.recubrimientosdupont.com.mx/recubrimientos/acero_corrosivo.html)  
<http://www.gutenberg.org/files/27327/27327-h/27327-h.htm>  
[http://www.quiminet.com.mx/principal/resultados\\_busqueda.php?N=reciclado%20de%20a  
ceites&d=E](http://www.quiminet.com.mx/principal/resultados_busqueda.php?N=reciclado%20de%20a<br/>ceites&d=E)  
<http://www.itp-depuracion.com/catalogo/productos.php?cat=37> (figura a.10)  
<http://quimicalibre.com/metodos-de-separacion-de-mezclas/>  
<http://www.sistemasrendering.com.ar/infotecnica2.htm>  
[http://www.ibt.unam.mx/ppiloto/centrifugas\\_varias.html](http://www.ibt.unam.mx/ppiloto/centrifugas_varias.html)  
<http://www.tecnoedu.com/Armfield/FT15.php>  
<http://www.talsa.cl/MANN-TALSA.pdf>  
<http://www.vibrowest.it/spa/prodotti/separatori-mr-me.php>  
<http://franciscodelgado.tripod.com/tridecanter2.pdf>  
[http://www.labtech.com.mx/marcas\\_des.php?Id=13](http://www.labtech.com.mx/marcas_des.php?Id=13)

Proveedores de material.

Abaquim S.Q

Cerrada de Colima No. 4 Col. Roma  
06700 México, D.F.  
México

Tel: (+55) 5525-8420, 5525-0740  
5525-8280

Fax: (+55) 5207-7907

<http://www.abaquim.com.mx>

Deublin México  
Norte 79-A No. 77, Col. Clavería  
02080 México, D.F.  
(52) 55-5342-0362

<http://www.deublin.com/about/locations/>

Alquimex

Cerrada de Colima No. 2-2, Apartado Postal  
7-843 Col. Roma  
06700 México, D.F.

<http://www.alquimiamex.com.mx>

Ferretería Almex, S.a. De C.v.

Tel: 55737852; 55132675

Dirección: Tlalpan No. 5043

Colonia: La Joya, 14090

Cuidad: Tlalpan, Distrito Federal

Almacenes Ánfora

López # 50 Colonia Centro

Delegación Cuauhtémoc

Cp 06050

Tel. 51303280