

Abril 2015



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ingeniería
Química

"EFECTO DE CENTRIFUGADO EN ALIMENTOS SOMETIDOS A PROCESO DE FRITURA"

*Tesis presentada para obtener el
título de*

***Licenciatura en Ingeniería
Química***

Presenta:
Ana Belen Morales Alvarado

Asesor:

Dra. Claudia Santacruz Vázquez

Índice

I.	Planteamiento del Problema	4
II.	Justificación	5
III.	Objetivos	7
IV.	Hipótesis	8
V.	Introducción	8
Capítulo 1		
1.	Aceites y grasas	10
1.1	Química Básica de aceites y grasas	11
1.1.1	Reacciones Químicas comunes en Aceites y grasas	12
1.1.1.1	<i>Hidrólisis</i>	12
1.1.1.2	<i>Hidrogenación</i>	13
1.1.1.3	<i>Oxidación</i>	14
1.1.1.4	<i>Polimerización</i>	14
1.2	Propiedades Físicas de grasas y aceites	15
1.2.1	Punto de Fusión	16
1.2.2	Viscosidad	16
1.2.3	Peso específico	17
1.3	Producción y Métodos de procesado de aceites y grasas	17
1.3.1	Fusión	18
1.3.2	Extracción por presión	18
1.3.3	Extracción por disolventes	18
1.4	Clasificación de Grasas y aceites	20
1.5	Aceites de Fritura	21
Capítulo 2		
2.	Proceso de Fritura en alimentos	24
2.1.	Transferencia de calor y masa en la fritura	25
2.2.	Micro estructura de transferencia de agua y de aceite durante el proceso de freído	27
2.3.	Variables que influyen en el proceso de fritura	29
2.4.	Fritura por contacto y fritura por inmersión	32
2.4.1.	Fritura por contacto.	32
2.4.2.	Fritura por inmersión.	33
2.5.	Textura	33
2.5.1.	Percepción de la textura.	34
Capítulo 3		
3.	Centrifugación	36
3.1.	Centrífuga	36
3.2.	Fuerza Centrífuga	37
3.3.	Tipos de Centrífugas	38
3.3.1.	Centrifugadores de sedimentos	38
3.3.1.1.	Hidrociclones	39
3.3.1.2.	Campana tubular centrífuga	40
3.3.1.3.	Cámaras-campana de centrifugación	41
3.3.1.4.	Centrifugador de cesta imperforada	42
3.3.1.5.	Separador de discos	43
3.3.1.6.	Decantador	44
3.3.2.	Clasificación de acuerdo a la cantidad de sólidos	45
3.3.2.1.	Descarga manual	46
3.3.2.2.	Descarga automática intermitente, 0-30% de sólidos.	46
3.3.2.3.	Descarga continua, 0-40% de sólidos.	46
3.3.2.4.	Tornillo transportador, 0-65% de sólidos.	46

3.3.3. Filtración Centrífuga	46
3.3.3.1. Centrífugas discontinuas suspendidas.	47
3.3.3.2. Centrífugas automáticas discontinuas.	47
3.3.3.3. Centrífugas continuas de filtración.	48
3.3.4. Medios filtrantes	48
3.4. Aplicaciones en la Industria Alimentaria	49

Capítulo 4

4. Materiales y Métodos	55
4.1. Materia prima	55
4.2. Proceso de Elaboración	55
4.3. Equipo de Centrifugación.	58
4.3.1. Pruebas Preliminares.	59
4.3.1.1. Cálculo de Remoción de Aceite	60
4.4. Análisis de Composición.	60
4.4.1. Análisis micro estructural y de imagen	60
4.4.2. Determinación de grasa por el método soxhlet	61
4.4.3. Determinación de Humedad.	61
4.5. Diagrama de Flujo	62

Capítulo 5

5. Resultados	63
5.1. Centrifugación	63
5.1.1 Centrifugado de papa	64
5.1.2 Centrifugado de tortilla	67
5.1.3 Centrifugado de salchicha	70
5.2. Análisis de composición	75
5.2.1. Determinación de grasa por soxhlet	77
5.2.2. Determinación de humedad	79
5.2.3. Análisis micro estructural y de imagen.	81

6. Conclusiones	85
7. Referencias Bibliográficas	87
8. Índice de Figuras	92
9. índice de Tablas	94

I. Planteamiento del problema

Aunque las grasas son un constituyente esencial en la dieta humana por su aporte energético, su ingesta excesiva provoca problemas cardiovasculares y de obesidad. Los problemas en la salud humana más comunes relacionados con el consumo excesivo de grasa son principalmente ataques y paros cardíacos (Mellema, 2003; Sosa-Morales y Vélez-Ruiz, 2009). Es por ello y por el excesivo consumo de alimentos en alto contenido de grasa se ha trabajado para disminuir el contenido de grasas en los alimentos principalmente los que han pasado por un proceso de freído, sin cambiar sus características físicas ni mucho menos sensoriales.

Cuando se fríe un alimento a temperaturas elevadas, se desarrolla con gran rapidez una corteza en la capa superficial del alimento, lo cual protege al resto del alimento, como consecuencia retiene una mayor proporción de nutrientes. Por otra parte, como estos alimentos suelen consumirse rápidamente, durante su almacenamiento apenas si se producen cambios.

México es un gran consumidor de productos en los que interviene un proceso de fritura lo que se considera uno de los factores que ha provocado que, año tras año aumenten los índices de obesidad, debido a la desordenada alimentación que lleva la mayoría de la población, por tal motivo se ha convertido en prioridad en cuestiones de salud. Esto ocasiona que se creen instituciones, las cuales su tarea principal sea monitorear dicha problemática. “La ENSANUT 2012 (Encuesta Nacional de Salud y Nutrición) fue diseñada para caracterizar el estado actual de este problema, sus tendencias y determinantes en México. Comprender esta enfermedad es un paso fundamental para identificar posibles estrategias de control y prevención” (ENSANUT, 2012).

ENSANUT 2012 registró un incremento en el aumento de personas que padecen obesidad en el país, en el caso de mujeres en el año 2000 se contaba con 64.1% con este problema, y para el año 2012 era de un 73.0 %. En el caso de varones en el año 2000 un 59.5 % tenía problemas de sobrepeso y en el año 2012 aumentó un 10%, lo que produjo un incremento total de los años 2000 al 2012 de 10.6%. Se considera notoria ya que las tendencias de obesidad y sobrepeso se encuentran cercanas dentro del total de población ya que del 71.2% en el 2012 un 38.4% cuenta con sobrepeso y el resto está dentro de alguno de los tipos de obesidad (tipo I, II, III).

Debido a todos los datos estadísticos que se han encontrado se considera importante tomar acciones efectivas, en la disminución de dichas enfermedades, un punto clave de esto es la ingesta excesiva de alimentos que cuentan con grandes contenidos de grasa, si bien no se puede controlar la alimentación de la población, se puede optimizar a nivel doméstico e industrial los procesos que se aplican para la ingesta de alimentos que contengan gran contenido de grasa, factor importante de dicha problemática.

II. Justificación

Como ya se mencionó México es un gran consumidor de productos fritos de tal forma que forma parte principal de su economía, según la revista Alto Nivel (1999) se estima que en nuestro país la industria generadora de productos fritos tiene un valor de ventas de más de mil millones de pesos anuales, además posee uno de los índices más altos del mundo en el consumo de frituras (Morales-Pérez y Vélez-Ruiz, 2010). A su vez la alimentación desordenada junto al consumo de grasas y aceites en los alimentos, puede producir enfermedades que son de cuidado, sin embargo, en la alimentación se debe incluir, aceites y grasas, desafortunadamente el consumo excesivo de grasas han causado que se tenga especial preocupación.

En la industria o en el ámbito doméstico, los alimentos que pasan por un proceso de freído deben tener ciertas consideraciones antes de ser ingeridos, si bien al tener un freído doméstico, no pasa controles de calidad ni supervisión de cuanto aceite se impregna en los alimentos, se cree importante ofrecer técnicas para la disminución de esto, al igual que en la industria, ya que su ingesta excesiva tiene consecuencias en la salud de los consumidores.

“El papel de las grasas y aceites en la nutrición humana es una de las principales áreas de interés e investigación en el campo de la ciencia de la nutrición. Los resultados de estas investigaciones tienen consecuencias de amplio alcance para los consumidores, los responsables del cuidado de la salud, y los educadores nutricionales, así como para los productores, elaboradores y distribuidores de alimentos” (FAO, 1997).

Como ya se mencionó anteriormente México se ha ocupado por disminuir el consumo excesivo de grasas, en la comercialización de los mismos existen normas que especifican los límites permisibles en el contenido de grasas en los alimentos, que son comercializados, como es la NOM-086-SSA1-1994, de *bienes y servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales* la cual determina las características que debe tener un alimento para poder clasificarlo en reducido en grasa, bajo en grasa o bien sin grasa, dependiendo el porcentaje de grasa que contiene cierto producto. La NOM-187-SSA1/SCFI-2002, establece los *Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial*, delimita que para aceites el límite máximo de ácidos grasos libres (AGL) es de 2.0% y para grasas 2.5% en este tipo de alimentos, así como sus características físicas; los aceites o grasas utilizados durante el freído de los productos, deben eliminarse cuando presenten cualquiera de las siguientes

características: color oscuro, sabor desagradable, olor desagradable, o formación de espuma (siempre y cuando no se utilicen antiespumantes).

Y para contribuir a cumplir con dichos normas se han desarrollado diversos métodos para disminuir el contenido de grasa en alimentos sin cambiar sus propiedades sensoriales y físicas. Resultados basados en experimentación, han mostrado que un secado previo al alimento sometido al proceso de freído ayuda a que no se absorban grandes cantidades de grasa (Robinson, 2010). Aunado a ello, es sabido que el centrifugado es una técnica muy utilizada para separar sólidos de líquidos, lo que se pretende es que por la velocidad de los giros que se llevan a cabo en una centrifugación la grasa contenida en los alimentos sea removida.

III. Objetivos.

General

- Determinar el efecto que produce el centrifugado en alimentos sometidos al proceso de freído.

Específicos

- Estudiar las principales variables que influyen en el proceso de freído de alimentos de diferente naturaleza (cárnicos, vegetales y derivados de harina de maíz) así como en diferentes formas geométricas y diferentes métodos de centrifugación.
- Describir la cinética de freído mediante parámetros gravimétricos.
- Medir la eficiencia del equipo de centrifugación a utilizar en la experimentación, a través de una diferencia de peso antes de centrifugar y después del proceso.

- Estudiar el efecto del centrifugado en el proceso de remoción de aceite en alimentos que previamente han sido sometidos a procesos de freído.
- Determinar mediante observaciones microscópicas el efecto del freído en el alimento sometido a un proceso de centrifugado.

IV. Hipótesis

Es posible remover una cierta cantidad de aceite contenido en los alimentos fritos al utilizar la operación mecánica de centrifugado utilizando diferentes velocidades de centrifugación.

V. Introducción

La obesidad es una de las principales consecuencias del alto consumo de grasas, sin embargo, es poca la gente que se preocupa por conocer que tipos de grasas se ingieren. “Un desequilibrio crónico entre ingesta y oxidación de grasas puede producir cambios en las reservas de grasas de los tejidos adiposos. Para evitar el almacenamiento de las grasas consumidas en exceso se requiere que las grasas alimentarias se oxiden” (Farkas y Hubbard, 2000, 1997).

Así pues es importante innovar técnicas, si bien no cambiar hábitos de salud, si para disminuir de alguna forma la cantidad de grasa contenida en alimentos que son altamente consumidos, ya que según estadísticas (ENSANUT, 2012) se ha ido incrementado el número de personas que padecen enfermedades por el consumo de grasa. En 2008 los costos atribuibles a la obesidad en México fueron de 42 000 millones de pesos, equivalente a 13% del gasto total en salud (0.3% del PIB).

Las técnicas que se han desarrollado para la disminución de contenido de aceites y grasas en los alimentos que son freídos es la fabricación de películas, la modificación de la

formulación o de la estructura de los alimentos a freír, sustitución o modificación del aceite de freído, y reconsideración y modificación de los procesos de freído (Morales-Pérez y Vélez-Ruiz, 2010).

Así pues lo que se pretende demostrar es que la centrifugación es una técnica eficiente para la remoción de aceite en alimentos, debido a que se trata de un método de separación eficiente principalmente en un sistema sólido- líquido.

Capítulo 1

Aceites y Grasas

Los aceites y grasas constituyen una de las tres principales clases de productos alimentarios, seguido de las proteínas y de los carbohidratos. Las grasas se diferencian de los carbohidratos y proteínas en que no son polímeros formados por la repetición de unidades moleculares. Siendo estos proveedores de gran cantidad de energía, ya que proporcionan alrededor de 9 Kcal/g, frente a alrededor de 4 Kcal/g de las proteínas y carbohidratos (Lawson, 1994).

Los aceites y grasas se localizan naturalmente en muchos de nuestros alimentos como productos lácteos, carnes, aves, pescado y semillas oleaginosas vegetales, que son enriquecidos por estos en valores nutritivos, sin embargo pueden deteriorarse en los alimentos ya que son susceptibles de oxidación y enranciamiento.

La composición química de las grasas y aceites determina las características de cada uno ejemplo de ello es la diferencia de los términos “grasa” y “aceite”, solamente indican si son sólidos o líquidos a temperatura ambiente: las grasas son sólidas y los aceites son líquidos. Características físicas y químicas determinan que función tiene, donde se pueden aplicar y depende de su estructura química, la forma en que reacciona así como su viscosidad, peso específico, entre otros.

1.1 Química básica de aceites y grasas

El átomo de carbono es el elemento principal en la química de los alimentos, incluyendo aceites y grasas en los cuales predominan tri-ésteres de glicerol con ácidos grasos comúnmente denominados triglicéridos (Figura 1). La molécula de glicerol tiene tres átomos de carbono, conjuntamente con cinco átomos de hidrógeno y tres grupos OH o hidroxilo. Hay veinte ácidos grasos diferentes que se unen corrientemente al glicerol en las grasas naturales, tales como: ácido fórmico (HCOOH), el ácido acético (CH_3COOH), y el propiónico ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$) son tres ácidos grasos más cortos; su longitud y su estructura determinan las propiedades de las grasas, incluso el que se presenten en estado sólido o líquido a temperatura ambiente. El esteárico ($\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$) es uno de los ácidos grasos corrientes más largos.

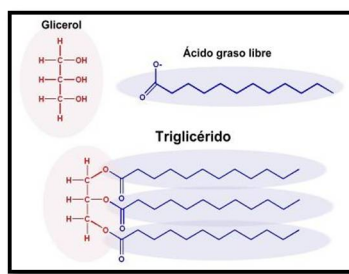


Figura 1. Estructura química de compuestos que forman las grasas y aceites

Los ácidos grasos de cadena corta dan lugar a grasas blandas y de menor punto de fusión que las originadas por los ácidos grasos de cadena larga (Porter 1995).

Los ácidos grasos, como otros muchos compuestos químicos, presentan isomería. Los ácidos grasos isómeros entre sí, tienen el mismo número de átomos de carbono, de hidrógeno y de oxígenos. La isomería posicional tiene que ver con la situación del doble o

doble enlaces a lo largo de la cadena carbonada. Así el ácido oleico (en su forma cis), puede pasar a ácido elaídico (forma trans) (Figura 2)

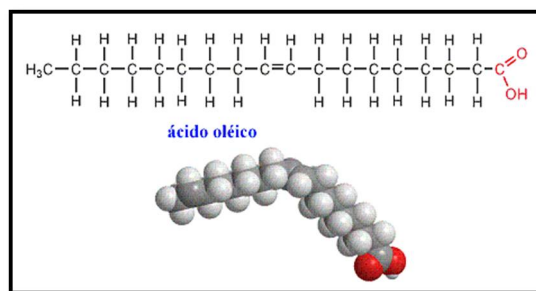


Figura 2. Estructura de Ácido Oleico

1.1.1 Reacciones Químicas comunes en las grasas y aceites.

El cocimiento produce cambios químicos importantes en los aceites y grasas. Es necesario para comprender como se elaboran estos productos, para así considerar las precauciones al hacer uso de los mismos. Se definen a continuación reacciones comunes que tanto grasas como aceites pueden sufrir.

1.1.1.1 Hidrólisis

La hidrólisis es la reacción del agua que se tiene con diversas sustancias en este caso, las grasas, consiste en la separación de algunos de los ácidos grasos a partir del aceite o de la grasa, dando lugar a ácidos grasos libres. Las pequeñas cantidades producidas se destilarán a partir de la grasa caliente de la fritura (Lawson, 1994). La hidrólisis resulta acelerada por las altas temperaturas y presiones y una excesiva cantidad de agua, se puede apreciar durante el proceso de freído, donde la grasa de fritura puede estar a una temperatura de 176.6 °C y el alimento que se fríe tiene un alto contenido de agua (Figura 3).

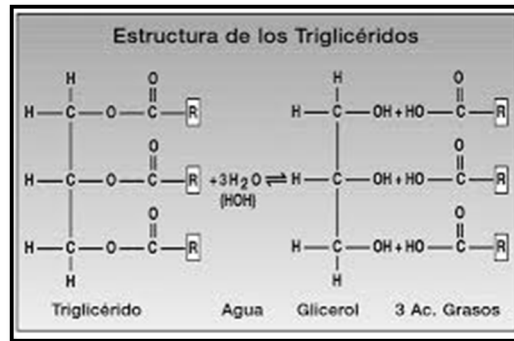


Figura 3. Proceso de hidrólisis en triglicéridos

1.1.1.2 Hidrogenación

Se puede considerar una reacción de suma importancia en especial para los aceites, se trata de una reacción que tiene lugar en los puntos de insaturación o dobles enlaces (Figura 4). La hidrogenación parcial, produce un grado de solidificación intermedio. El grado de hidrogenación es importante ya que determina la consistencia de los alimentos que contienen grasas (Potter y Hotchkiss, 1995). Esta reacción se usa para confeccionar productos grasos con un sabor, más estable, minimizando la posibilidad de oxidación, especialmente si están presentes ácidos grasos como el linolénico (tres puntos de insaturación en el mismo ácido graso).

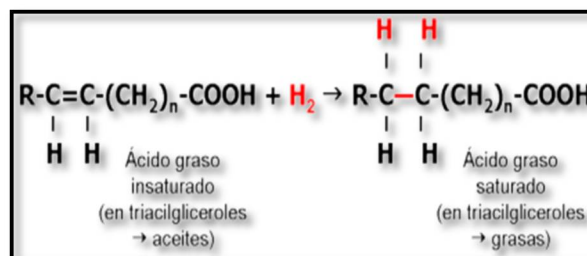


Figura 4. Los dobles enlaces característica principal de la hidrogenación.

La hidrogenación es una reacción que se utiliza para optimizar las propiedades de las grasas y aceites necesarios para usos concretos (Lawson, 1994).

1.1.1.3 Oxidación

Esta reacción afecta negativamente al sabor de la grasa y del alimento en el cual se usa ésta, es por ello que tiene especial cuidado durante la fabricación, almacenamiento y utilización para detener esta reacción una vez iniciada o hacerla lo más lenta tanto como sea posible.

Los aceites y grasas naturales de origen vegetal contienen pequeñas cantidades de sustancias capaces de inhibir la oxidación de cierto grado, ejemplo de ello es el alfa tocoferol, considerado el antioxidante natural más importante y su distribución es casi universal. En investigaciones científicas, la medida del grado de oxidación se efectúa habitualmente mediante la determinación de la cantidad de oxígeno absorbido o de los cambios en el índice de peróxidos con el tiempo de un peso de grasa dado. Durante la fase inicial de la oxidación, los cambios son relativamente pequeños y ocurren a una velocidad más o menos uniforme lo que se denomina como periodo de inducción. Después de haber tenido lugar un cierto grado de oxidación esta reacción alcanza una segunda fase, en la cual la oxidación puede tener una velocidad muy rápida mientras que las grasas y aceites desarrollan sabores y olores rancios (Lawson, 1994).

1.1.1.4 Polimerización

Consiste en que una grasa reaccione con ella misma, ya que se combinan moléculas pequeñas de aceite o grasa para poder formar moléculas de mayor tamaño. La polimerización puede tener lugar en los puntos de insaturación de las cadenas de ácidos grasos o en la unión del ácido graso y la molécula de glicerol (Figura 5).

Puede ocurrir durante la fritura de los alimentos en profundidad, fritura que se produce a temperaturas que van de 162.8 °C a 190.6 °C (Lawson, 1994).

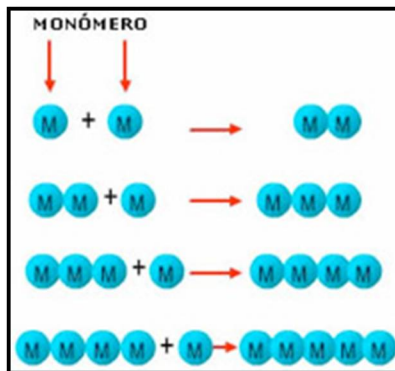


Figura 5. Ejemplo de mecanismo de polimerización

1.2 Propiedades Físicas de las grasas y aceites.

Es importante conocer las características químicas al igual que, las características físicas, en conjunto con las anteriores hace que el uso de grasas y aceites sea el óptimo para cada aplicación.

Las características físicas de un aceite o grasa son dependientes de factores tales como la semilla o planta de procedencia, grado de insaturación, tamaño de las cadenas de carbono y elaboración.

Cuando las grasas se usan como grasas concretas, ablandadores, lubricantes, medio de fritura, agentes de batido u otros usos, deben cumplir con las condiciones adecuadas para cada uno de esas aplicaciones.

1.2.1 Punto de Fusión

Se refiere a la temperatura exacta en que una grasa sólida se convierte en un aceite líquido (Lawson, 1994). Dado a que cada ácido graso tiene un punto de fusión, los aceites y grasas son un conjunto de varios ácidos grasos, es difícil determinar un punto de fusión exacto para cada mezcla por tanto se considera a la temperatura a la cual cada componente en particular ha fundido completamente, sin embargo se puede delimitar un intervalo de 10 a 49 °C.

Los siguientes factores son importantes para determinar el punto de fusión y el comportamiento de un producto.

1. La longitud media de las cadenas de ácidos grasos. Entre más largo el tamaño de la cadena mayor punto de fusión.
2. Ubicación de los ácidos grasos en el glicerol, independiente de la longitud del tamaño de la cadena.
3. La proporción relativa de ácidos grasos saturados / ácidos grasos insaturados. Cuanta más alta es la proporción de ácidos grasos insaturados, más bajo es el punto de fusión. (Lawson, 1994).

1.2.2 Viscosidad

La viscosidad es considerada una característica importante principalmente de los fluidos, se define como “la resistencia derivada de la falta de deslizamiento de las partes de un líquido es proporcional a la velocidad con que se separan unas de otras dentro de él”, según Roben Hooke (LACOMET 2014). La viscosidad se mide ocasionalmente para la determinación del estado de las grasas utilizadas en la fritura en profundidad (Lawson,

1994). Ya que en el proceso de freído la viscosidad tiende a incrementarse, esto puede relacionarse con el desarrollo de polímeros y la tendencia a formar espuma.

1.2.3 Peso específico.

Se refiere a la relación que hay entre el peso de un aceite y el peso del agua. A medida que la temperatura aumenta el peso específico del aceite o grasa desciende. Dado a que estos son más ligeros que el agua (0,910 -0,9020 g/mL a 25°C) en una mezcla el aceite o grasa queda en la parte superior (Lawson, 1994).

1.3 Producción y Métodos de procesado de grasas y aceites

Existen diversos procedimientos de extraer grasas ya sea de forma natural o bien durante un proceso a partir de sustancias químicas.

Son pocos los métodos para la obtención de grasas y aceites de origen animal, marino o vegetal. Existe la fusión, extracción por presión y la extracción por disolventes, procesos que se completan con el refinado y otros.

1.3.1 Fusión

Este proceso consiste en calentar trozos de carne en agua o vapor y así poder formar una capa sobre el agua y sedimentos en la parte inferior, la grasa fundida se separa por centrifugación (Potter y Hotchkiss, 1995). Las temperaturas elegidas dependen de las características que requiere la grasa o aceite, así pues la fusión a temperaturas bajas producen un aspecto brillante, cuando se desea un sabor intenso de carne se lleva a cabo a temperaturas altas.

1.3.2 Extracción por presión

En este proceso las semillas se someten a un proceso de trituración para romper su estructura molecular parcialmente y así poder extraer la grasa que contienen, para después a someter a un calentamiento donde las temperaturas no son muy altas para no alterarlas características del aceite extraído. Para finalizar los residuos de semilla se separan a partir de filtración o mediante centrifugación.

1.3.3 Extracción por disolventes

Es una de las extracciones que mejores resultados ofrece, se requiere de un disolvente que no sea tóxico como lo es el hexano, para destilar y así se separen dos fases, para después recuperar el disolvente utilizado. Se puede hacer una combinación de la extracción por presión y disolvente para obtener mejores resultados, la extracción por presión extrae la mayor cantidad de aceite y por disolvente el aceite que haya quedado en la semilla (Potter y Hotchkiss, 1995).

Después de la extracción hay métodos que hacen que el producto sea más “limpio” es decir que no contenga sustancias que alteren las características óptimas de los aceites o grasas.

El desgomado es un método con el que se obtiene el fosfolípido lecitina, que tiene un aspecto gomoso y consiste en agregar agua para que este se vuelva insoluble en el aceite y precipite (Potter y Hotchkiss, 1995). Por otra parte el refinado que consiste en agregar una solución álcali al aceite, elimina impurezas menores del aceite como son los ácidos grasos libres que al reaccionar con un álcali forma jabones los cuales son eliminados por filtración o centrifugación. A parte de estas impurezas también pueden existir pigmentos vegetales como la clorofila y carotenos los cuales son eliminados a partir de un blanqueado, haciendo pasar el aceite caliente a través de carbón vegetal o arcillas absorbentes como la

tierra de diatomeas, por otro lado el tratamiento para las grasas animales es más sencillo, se blanquean calentándolas simplemente. Dicho proceso se ilustra en la figura 6.

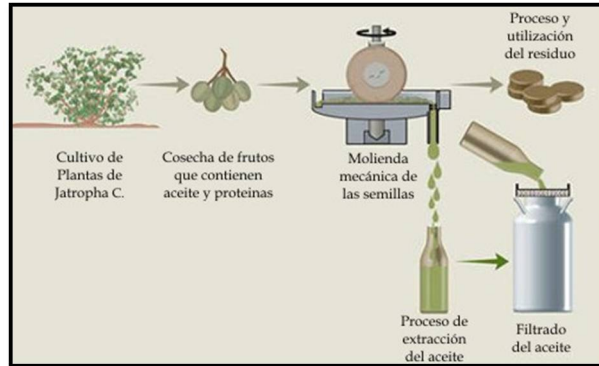


Figura 6. Proceso básico de extracción de aceite.

1.4 Clasificación de Grasas y Aceites

Existen diversas formas de clasificar el tipo de grasas y aceites ya sea por sus características físicas o químicas, en la figura 7 se enlistan las clasificaciones más utilizadas, sin embargo la más completa y la que más se aplica es de acuerdo a su origen.

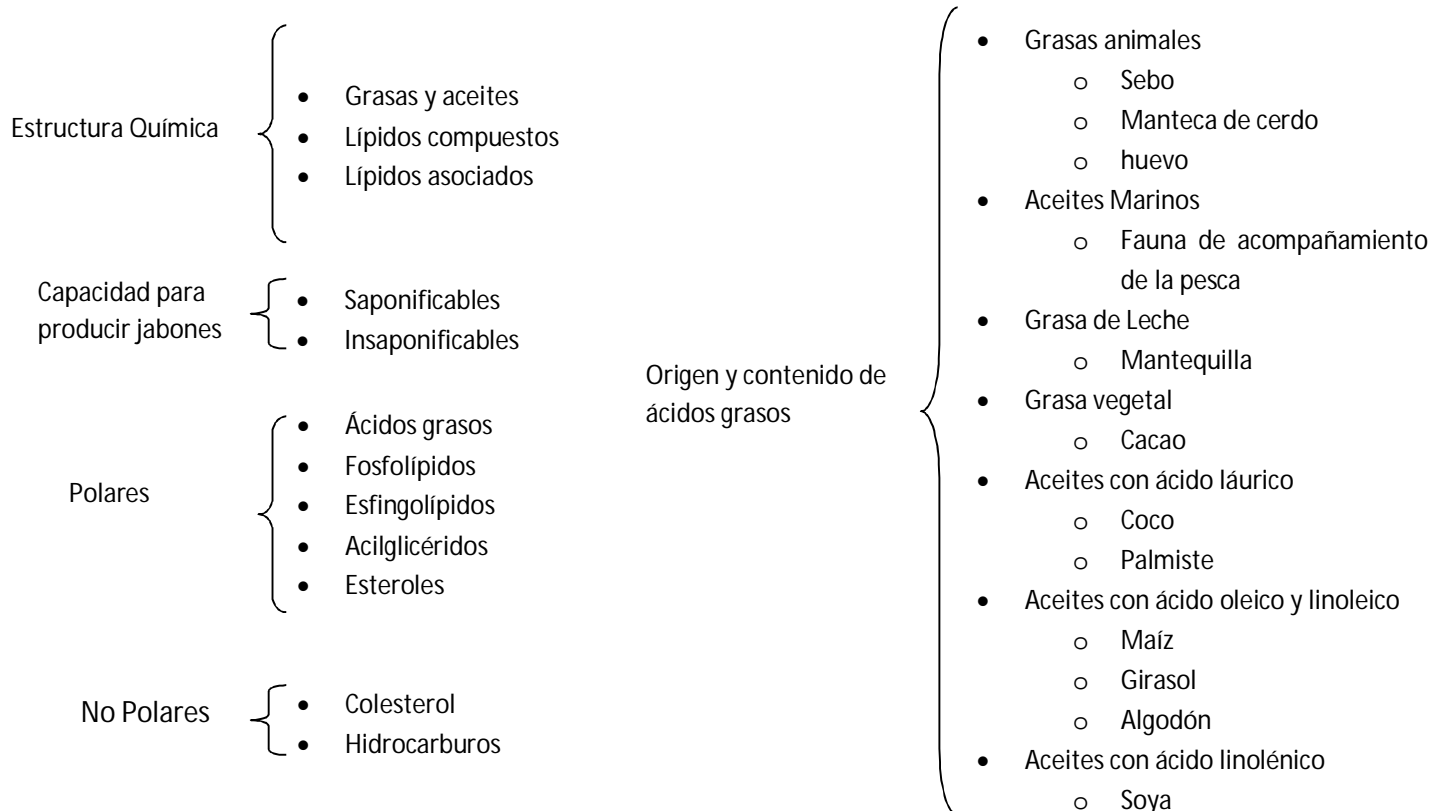


Figura 7. Clasificación de Sustancias consideradas lípidos (Badui 2006)

1.5 Aceites de Fritura

Las grasas y aceites tienen diferentes aplicaciones en el consumo humano dependiendo sus características, las cuales deben ser cubiertas por sus productores, así pues, uno de las aplicaciones en las que más se consume en el proceso de freído que si bien puede ser de consumo doméstico también hay gran aplicación a nivel industrial.

El mayor mercado está en la industria, en la que se utilizan enormes cantidades de aceite para freír pescado rebozado, y alimentos precocinados, y para freír patatas u otro tipo de productos para aperitivo (Ranken, 1993).

A nivel doméstico se puede observar que en el mercado hay una gran diversidad de aceites, en México según datos de la Asociación Nacional de Aceites y Mantecas Comestibles, A.C. (ANIAME) en 2002 se consumieron más aceites y grasas de origen animal que de origen vegetal con un 81.5 % y 18.5% respectivamente. Es importante conocer las características que ofrecen los aceites comerciales, principalmente, los que presentan características claros y brillantes que tiene una gran demanda. El aceite vegetal que más se consume es de soya seguido por el de canola.

El contenido graso de los alimentos fritos aumenta como consecuencia del aceite retenido y su importancia desde el punto de vista nutritivo, es difícil de determinar, ya que varía con el historial térmico del aceite y la cantidad de éste retenido por el alimento. El proceso de fritura usa aceites y grasas como medio de transferencia de calor al producto. Casi todas las clases de grasa y aceites pueden ser usados para freír, incluyendo aceites vegetales con y sin hidrogenar, grasa animales, mezclas de los anteriores y margarinas. Originalmente las grasas para freír se escogían de acuerdo a la disponibilidad. Los criterios usados para seleccionar los aceites o grasa son las siguientes:

1. No debe contribuir con sabores extraños en el alimento.
2. Debe proporcionar una larga vida de fritura, que haga económica la operación.
3. Tener resistencias a humear en exceso durante uso continuo, a la rancidez y a la formación de “gomas “(polímeros) que ensucien el equipo.
4. Proporcionar a los productos una superficie café dorada, exenta de grasa libre y de excelente textura (Lawson, 1994).

Durante el proceso de fritura disminuye la capacidad calórica del aceite mientras aumenta la conductividad térmica y la viscosidad, esta última a causa de la formación de dímeros y polímeros, en las freidoras industriales el aceite se filtra regularmente para eliminar partículas de productos o de recubrimientos.

Las altas temperaturas provocan la deshidratación de los alimentos, parcialmente en el caso de carnes y totalmente en el de botanas, lo que ocasiona la absorción de aceite en espacios que deja el agua, todos los cambios se reflejan en un incremento de la viscosidad y de los ácidos grasos libres, de generación de colores oscuros y de espuma, entre otros, (Badui 2006). Los aceites para fritura y para todo consumo deben cumplir normas estrictas de calidad, por tanto los aceites industriales utilizados para la fritura deben tener una vida media larga, cosas que muy rara vez se presenta con los aceites de fritura domésticos, se deben tomar medidas para preservar la calidad de estos aceites, y asegurar también una vida media adecuada de los alimentos fritos (Ranken, 1993).

La formación de nieblas de humo puede llegar a ocasionar problemas ya que esta se origina a partir de la volatilización de productos en descomposición, especialmente ácidos grasos libres. Es por ello que los aceites láuricos (procedentes de diferentes tipos de palmeras) no

sirven para freír ya que los ácidos grasos que los constituyen son más volátiles que en otros tipos de aceites (Ranken, 1993).

El aceite en el proceso de freído actúa como medio de transferencia entre el producto y la freidora, la freidora industrial anteriormente podía calentarse directamente de un quemador de gas debajo de la base aunque en la actualidad se pueden integrar de intercambiadores de calor externos y con materiales como acero inoxidable (figura 8), en el caso de una freidora doméstica (figura 9) se aplica el mismo principio en dimensiones menores.



Figura 8. Freidora Industrial



Figura 9. Freidora Casera

Capítulo 2

Proceso de Fritura de Alimentos

El freído es una operación de cocimiento de alimentos por inmersión en aceite comestible o grasa caliente. La temperatura del aceite suele colocarse por arriba del punto de ebullición del agua, aproximadamente entre 150 y 200°C. El producto ocasiona una vigorosa producción de burbujas de vapor de agua, que se genera por el aumento de la temperatura del producto. Las burbujas escapan primero de la superficie del alimento y enseguida salen desde el interior por efecto de la gran presión interna que ocasiona la evaporación y expansión del vapor de agua. El efecto es visible como un conjunto de chimeneas de vapor de agua que emergen de todas las paredes del producto hasta la superficie del aceite.

A medida que transcurre la fritura se forma una corteza en la superficie, misma que aporta al producto una textura crujiente, y que no sobrepasa los 3 mm de grosor (Rice y Gamble, 1989). Esta corteza se forma por la gelatinización y posterior deshidratación del almidón de las células de las capas más externas, así como por la deshidratación del material celular que no es almidón.

Desde el punto de vista químico, varios cambios tienen lugar: cocimiento, gelatinización y deshidratación de almidón, oscurecimiento no enzimático, hidrólisis, deshidratación y agregación de biopolímeros, desnaturalización de proteínas, disminución de la hidrofiliidad.

El sistema pasa por diversos procesos físicos. Desde el inicio se presentan velocidades altas de transferencia de masa y calor (la fritura se realiza a temperaturas altas en tiempos cortos) el aceite es el único medio de transferencia de calor durante algunos minutos. Las características de la fritura están íntimamente relacionadas con las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los constituyentes de los alimentos, así como las variables de operación que se aplican en las diferentes etapas del proceso (Moreira *et al.*, 1999)

2.1 Transferencia de calor y masa en la fritura

Si un alimento se somete a la fritura suceden varios fenómenos de transferencia debido a la alta temperatura del aceite (150-200°C) que entra en contacto con el alimento, los cambios se dan rápidamente, comparando con procesos como la deshidratación. Cuando un alimento se sumerge en un medio caliente tal como aceite su temperatura aumenta rápidamente y el agua que contiene se elimina en forma de vapor, por lo que su superficie empieza a deshidratarse, se forma una corteza y el frente de evaporación va trasladándose hacia el interior del producto (Fellows, 1994; Moreira *et al.*, 1999).

Por principio, ocurre transferencia simultánea de calor y masa. El aceite transfiere calor hacia el producto por convección; a su vez, el calor se transmite por conducción de la superficie del producto hacia el interior. Burbujas de aire escapan de la superficie, seguidas inmediatamente por burbujas de vapor de agua también de la superficie. Paulatinamente, el frente de evaporación se traslada hacia el interior conforme el agua de las capas superiores se deshidrata; esta evaporación provoca así mismo enfriamiento y aumento de la presión interna. El freído es básicamente un proceso de deshidratación por inmersión en aceite caliente, la transferencia de masa se caracteriza por la pérdida de humedad y la absorción de aceite, fenómenos que operan en contracorriente (Alvis *et al.*, 2010)

La deshidratación de la superficie genera un gradiente de agua del centro del producto hacia el exterior, situación causada por difusión forzada y que ocasiona que el agua se desplace desde el centro hacia fuera (Figura 10).

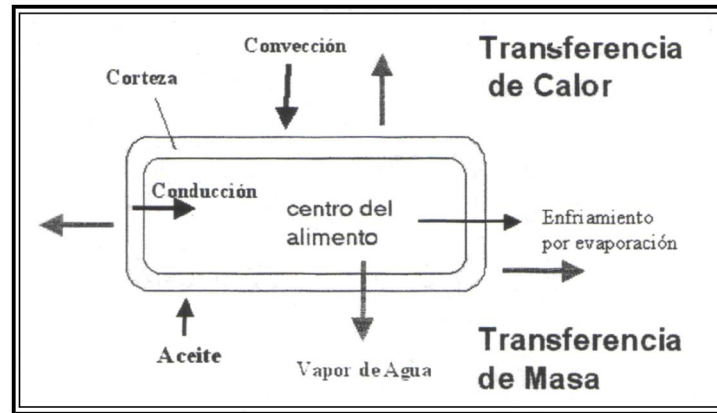


Figura 10. Esquema simplificado del proceso de transferencia de Masa y Calor durante la Fritura de alimentos.

La velocidad de transferencia de calor (VTC) hacia el alimento está influenciada por las propiedades térmicas (del aceite y del producto), su composición, la viscosidad del aceite, las condiciones de agitación y la temperatura del aceite. La formación de burbujas en la superficie genera un régimen de convección forzada, que hace difícil medir los coeficientes de transferencia de calor convectivos, sobre todo si las burbujas permanecen adheridas a la superficie (Costa *et al.*, 1999).

La velocidad de transferencia de masa (VTM) debe analizarse tanto para el aceite que entra, como para el agua que sale simultáneamente. En el primer caso, la VTM está determinada por la difusividad del aceite, capilaridad, infiltración por disminución de la presión interna del producto y afinidad molecular entre los polímeros del aceite y la superficie del alimento frito; tortuosidad, dimensión y números de los poros, grietas y ampollas que se forman y condiciones de agitación. La mayor cantidad de aceite entra a la corteza del alimento al

final del proceso, cuando el alimento es sacado del aceite caliente y la presión interna disminuye en la medida que la temperatura decrece (Saguy y Pinthus, 1985; Aguilera y Hernández, 1997; Moreira y Palau, 1997; Ufheil y Escher, 1996).

El frente de evaporación retrocede hacia el interior del producto, además su temperatura está ligeramente por arriba de la de ebullición del agua (más o menos 103 °C) misma que se desplaza hacia el interior, conforme procede la fritura.

Existe poco consenso en los reportes estudiados hasta el momento acerca del mecanismo de transferencia de agua durante la fritura. Los factores que controlan la salida del vapor de agua son el gradiente de humedad y el aumento de la presión interna. Posiblemente el factor más importante que afecta tanto la transferencia de calor como la de masa es la estructura del producto.

La interacción de los fenómenos de transferencia de calor y masa hace que la fritura sea una de las operaciones unitarias más difíciles de entender en la cual el coeficiente de transferencia de calor por convección juega un papel preponderante (Whitaker, 1977; Singh, 1995; Farkas y Hubbard, 2000).

2.2 Micro estructura de transferencia de agua y de aceite durante el proceso de freído

Existen discrepancias sobre los mecanismos tanto para la pérdida de humedad como para la infiltración de aceite, aunque se acepta que los dos fenómenos están ligados. La influencia de la micro estructura, composición y transformaciones de un producto durante el proceso de freído sugiere elaborar interpretaciones acerca del efecto de fenómenos de

transferencia de calor y masa durante la fritura (McDonough *et al.*, 1993; Lujan-Acosta y Moreira, 1997; Moreira y Palau, 1995b; Saguy y Pinthus, 1995).

De forma “explosiva”, la humedad interna es convertida en vapor provocando un aumento de presión al interior del producto (Gamble *et al.*, 1987). El vapor encuentra o provoca algunos capilares y canales (disminuyendo la adhesión de células y probablemente, rompiendo otras) en la estructura celular y escapa a través de los poros. Conforme el proceso avanza, el aceite se puede adherir a la superficie del alimento y de los huecos dejados por el agua, en un sistema de reemplazo dinámico (Reeve y Notter, 1959; Gamble y Rice, 1987; Farkas *et al.*, 1996b; Pedreschi y Aguilera, 2000).

Con las descripciones hechas resulta obvio que no es posible interpretar la transferencia de masa solo por difusión (transporte de moléculas de un sitio de mayor a uno de menor concentración, por movimiento aleatorio de moléculas), mismo que define la difusividad en un sistema de ejes fijos en el que no cambia el volumen, ya que se observa que el agua escapa en forma de burbujas, el volumen del producto varía con el tiempo y la mayor parte del aceite se deposita en la corteza del alimento como pequeñas gotas y no de manera uniforme en todo el producto (Aguilera y Lillford, 1997).

Sin embargo, se pueden considerar que en general, el proceso de fritura de alimentos para el caso de transferencia de calor, consiste de cuatro etapas fundamentales (Farkas y Singh, 1996b).

- a) El alimento sumergido en el aceite alcanza la temperatura equivalente a la de ebullición del agua, mediante convección natural y no hay evaporación de agua desde la superficie del alimento.
- b) Evaporación superficial, que da inicio a la etapa de evaporación general y el modo convectivo de intercambio de calor da paso a convección forzada por la turbulencia del aceite causada por las burbujas.
- c) Período creciente, en donde casi toda la humedad del producto sale y la temperatura del centro del producto alcanza el punto de ebullición del agua y el centro se cuece.
- d) Finaliza el burbujeo, en donde después de un tiempo largo no se ven más burbujas salir del producto.

2.3 Variables que influyen en el proceso de fritura

El tiempo, temperatura y la relación aceite/ alimento son factores importantes en el proceso de fritura, a su vez estos dependen de los siguientes puntos:

- 1) **El estado** del alimento, bien sea congelado o fresco. La fritura de alimentos congelados debe de ser más lenta, para dar tiempo a que se funda el hielo en el núcleo y alcance una temperatura de 70-80 °C. Si es muy rápida se puede quemar la superficie y quemar el núcleo congelado.
- 2) **Tamaño** de la pieza. Las piezas de mayor espesor requieren menor temperatura de fritura y mayor tiempo, para que el calor pueda alcanzar el centro de la pieza.
- 3) **Contenido en agua** del alimento. La temperatura debe ser tanto más baja cuanto menor sea la humedad del alimento.

- 4) **Termoestabilidad** del aceite. Debe evitarse que la temperatura del aceite de fritura pueda alcanzar el punto de desprendimiento de humos, que indican su descomposición y la cesión de sabores extraños en el alimento.

En muchos procesos de fritura el aceite es utilizado varias veces, sin embargo existen factores que hacen que las características de dicho aceite cambien lo cual hace que llegue a su deterioro (punto de desprendimiento de humos), se enlistas las principales a continuación:

- a) La presencia de AIRE. El deterioro del aceite caliente es acelerado por el oxígeno del aire. Por lo tanto, el equipo de fritura debe estar diseñado de forma que la superficie del aceite este cubierta con una capa de vapor procedente del alimento que se está friendo. Siempre que sea posible la fritura se hará en serie para poder mantener esta superficie completamente cubierta. El aceite todavía es más sensible a su deterioro cuando está a la temperatura de fritura y no hay ningún alimento friéndose; este deterioro es acelerado por la luz. Así pues, es muy importante tapar el aceite cuando no se está utilizando y sobre todo cuando esté caliente.
- b) Presencia de METALES PESADOS. El acero inoxidable es el material más utilizado en la construcción de freidoras. Metales como cobre y el latón aceleran la oxidación (pro- oxidantes) (Lawson, 1994).
- c) Contaminación por RESIDUOS de alimentos. Algunos residuos de alimentos permanecen en la freidora y continúan calentándose hasta que llegan a

carbonizarse, formándose productos que producen obscurecimiento y deterioro del aceite. Esto puede evitarse en gran parte con el uso de freidoras provistas de una zona fría, en la cual, se separen los restos de alimento evitándose el contacto prolongado con las altas temperaturas de fritura, es importante tamizar y filtrar a menudo el aceite para evitar se deterioró.

- d) Los ANTIOXIDANTES naturales. Tales como la metil silicona, que retardan la oxidación (Lawson, 1994). Las grasas y aceites tienen antioxidantes naturales que los protegen contra la oxidación. El proceso de fritura, la concentración de estos componentes llega a ser pequeña. A esta operación se le conoce comúnmente como fritura de primera.

- e) TEMPERATURA demasiado elevada. Las temperaturas de fritura están en el rango de 120°C a 200°C, pero las temperaturas más comunes se encuentran en el rango de 170°C a 190°C (Bouchon, 2002). El efecto principal del calentamiento demasiado rápido del aceite y, por lo tanto, de la temperatura demasiado elevada, es la aparición de gustos y olores desagradables. La sustancia que irrita los ojos cuando el aceite es sobrecalentado es la acroleína, producida cuando hay elevada temperatura en el aceite.

La temperatura de fritura viene determinada por consideraciones económicas y por el tipo de producto a elaborar. En algunos sistemas de elaboración de alimentos mediante fritura, puede justificarse una temperatura más elevada cuando el tiempo de inmersión del alimentos es de sólo 1-2 min (Lawson, 1994). Al cambiarse el aceite con mayor frecuencia incrementa los costos de elaboración y a su vez a temperaturas más elevadas, los tiempos

de fritura son lógicamente más cortos, la capacidad de la instalación aumenta. Sin embargo, a estas temperaturas el aceite se altera más rápidamente.

Los alimentos que después de fritos todavía mantienen en su interior cierta proporción de agua, reciben un tratamiento de fritura de tal intensidad que su centro térmico recibe el suficiente tratamiento como para destruir microorganismos patógenos y conseguir los cambios deseados en sus características organolépticas; también se producen ácidos grasos libres que modifican su viscosidad, su sabor y aroma. La fritura a elevadas temperaturas provoca pérdidas de aceite por arrastre, lo que también encarece el producto. A elevadas temperaturas se produce un producto de hidrólisis, la acroleína, (como se mencionó anteriormente) que confiere a la superficie del aceite un tono azulado. La acroleína es un compuesto de considerable capacidad contaminante para la atmósfera.

2.4 Fritura por contacto y fritura por inmersión

La fritura por contacto y fritura por inmersión son métodos de fritura comercial que se diferencian por los mecanismos de transmisión de calor que en ellos intervienen.

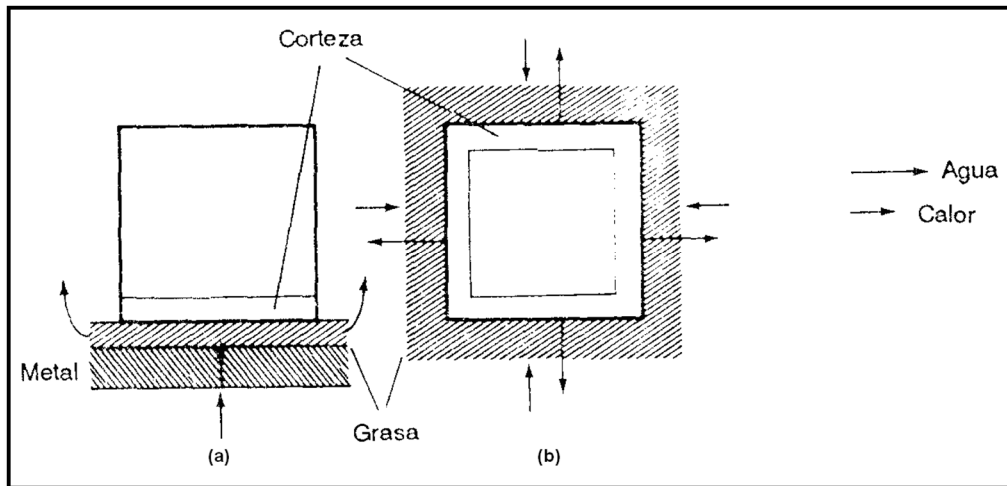


Figura 11. Transferencia de masa y energía

a) Fritura superficial b) fritura por inmersión

2.4.1 Fritura por contacto.

Este método resulta muy adecuado para aquellos alimentos de relación superficie /volumen favorable. En ellos, la transmisión de calor al alimento tiene lugar por conducción desde la superficie del sartén, a través de una fina capa de aceite. El grosor de esta capa varía de acuerdo con las irregularidades de la superficie del alimento. Ello, conjuntamente con las burbujas de vapor que separan al alimento del sartén provoca variaciones durante la fritura que son las responsables de las irregularidades en el color marrón de los alimentos fritos por éste sistema. El coeficiente de transmisión de calor superficial de la fritura por contacto es elevado pero, no se cumple por igual en toda la superficie del alimento. (Figura 11, a).

2.4.2 Fritura por inmersión

La fritura por inmersión consiste básicamente en sumergir el alimento en el aceite caliente (Mellema, 2003). En la fritura por inmersión la transmisión de calor se produce con una combinación de transmisión por convección (en la masa del aceite) y por conducción, (en el interior del alimento). En este tipo de fritura el alimento recibe en toda su superficie el mismo tratamiento térmico, lo cual le confiere un color y aspecto uniforme. Sin embargo, si la velocidad de evaporación es demasiado elevada, se forma alrededor del alimento, una capa de vapor que reduce el coeficiente de transmisión de calor. (Figura 11, b). La fritura por inmersión es económica, ya que todo el calor se concentra en una pequeña unidad y hay poco desperdicio de gas o electricidad. (Lawson, 1994).

2.6 Textura

El aceite se adsorbe en el alimento, generando una textura crujiente y un sabor característico (Gupta, 2004). La reología ha sido definida como la deformación de los objetos bajo la influencia de fuerzas aplicadas a ellos. Los sólidos, como los líquidos, pueden verse sometidos a diferentes tipos de fuerzas. Así pues en el proceso de freído los

sólidos que intervienen no son la excepción, es por ello que se definirán a profundidad las fuerzas a las que están sometidos y su deformación resultante.

2.6.1 Percepción de la textura

Textura es la propiedad sensorial de los alimentos que se detecta por los sentidos del tacto, la vista y el oído, y que se manifiesta cuando el alimento sufre una deformación (Anzaldúa-Morales, 1994), generalmente se describe como el atributo de un producto alimenticio que resulta de una combinación de propiedades físicas y químicas, percibidas en gran medida por los sentidos del tacto, vista y oído.

La textura de los alimentos está relacionada con propiedades físicas y químicas percibidas por vía ocular antes del consumo, por el sentido del tacto al manejar el alimento, por distintos receptores sensoriales de la boca durante el consumo y por el sentido del oído. De este modo el consumidor se da cuenta de todo un conjunto de características texturales que se derivan de distintas propiedades fisicoquímicas del alimento tales como tamaño y forma generales, tamaño de partícula, contenido en grasa, estructura y propiedades mecánicas.

Como consumidores, todos nos damos cuenta con precisión de la textura cuando comemos o bebemos sólidos o líquidos, y no puede dudarse de que la textura es un factor importante en la calidad del alimento. No se puede hablar de la textura como si fuera una sola característica de un alimento, sino que, más correctamente, hay que referirse a los atributos de textura, o las características o propiedades de textura del alimento, tales como: firmeza, dureza, fragilidad, adhesividad, cohesividad, elasticidad y viscosidad (Sigurgisladottir *et al.*, 1999). En el proceso de masticación, las fuerzas a las que se somete un alimento son

complejas. El masticado rompe el alimento y lo hace más digerible. Durante este proceso se transmite información desde varios receptores sensoriales de la boca a partes específicas del cerebro, donde se integra con otras informaciones recibidas así como con los datos almacenados en la memoria para dar una impresión general de textura. Si esto no está de acuerdo con lo que esperaríamos de un alimento particular, podemos quedar decepcionados de su calidad.

Capítulo 3

Centrifugación

La separación de mezclas es de suma importancia en la industria, estas se dividen en dos clases: operaciones disfuncionales, las cuales involucra transferencia de masa como es la destilación y cristalización; y las separaciones mecánicas que se aplica a mezclas heterogéneas para separar partículas sólidas de gases o líquidos o bien gotas de líquido de gases u otros líquidos.

La centrifugación es una decantación selectiva de los componentes insolubles de una mezcla bajo condiciones de gravedad artificial, (Procesos de separación, UNAM, 2009) por tanto se basa principalmente en propiedades físicas de las partículas como es el tamaño, la densidad, o en la viscosidad del fluido. El centrifugado es un método basado en la fuerza centrífuga que da origen a una serie de revoluciones lo que hace que exista una separación entre solido- líquido o bien sólido- sólido (Mc Cabe *et al.*, 2007)

3.1 Centrífuga

El nombre genérico de "centrífugas" se aplica especialmente a todas aquellas disposiciones provistas de un tambor rotatorio, donde el efecto de la fuerza centrífuga se aprovecha para separar, secar, lavar, depositar o clasificar productos diversos (Ramírez *et al.*, 1998)

En los equipos que realizan una separación mecánica las separadoras y decantadoras se catalogan dentro de las centrifugadoras, se emplean para la concentración de sólidos, clarificación de suspensiones y separación de mezclas de líquidos con eliminación simultánea de sólidos.

La centrifugación puede realizarse en lotes (como en las centrifugas de canasta) o en forma continua (como en las centrifugas tubulares y de discos) (Mc Cabe *et al.*, 2007).

El someter a la acción de la fuerza centrífuga una mezcla de materiales recibe el nombre de "centrifugación", los equipos acondicionados para realizar esta operación se denominan centrifugas y se utilizan para separar cuerpos sólidos en mezcla con líquidos, y también para separar mezclas de líquidos con distinto peso específico (Ranken, 1993).

3.2 Fuerza Centrífuga

Todos los cuerpos siguen una trayectoria ya sea circular o recta, en los movimientos rectos la aceleración puede cambiar sin embargo la dirección no, por otro lado para que un cuerpo se mueva de forma circular requiere que se ejerza una fuerza hacia el centro (figura12).

La fuerza centrífuga hace que los cuerpos en rotación intenten alejarse de su eje, por otro la fuerza centrípeta hace que intenten acercarse. Estas fuerzas se pueden llegar a confundir, sin embargo están relacionadas una con la otra.

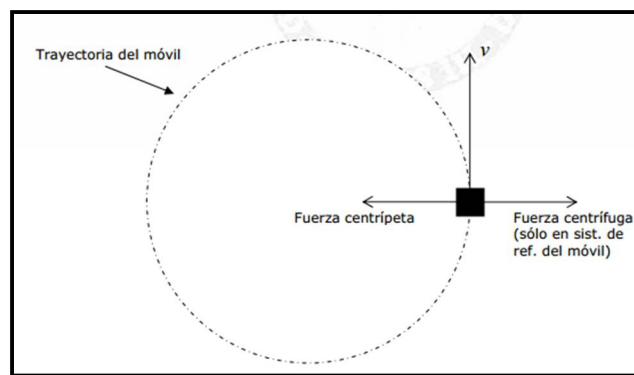


Figura 12. Esquema de Fuerza centrífuga y fuerza centrípeta

Cuando un cuerpo gira alrededor de un eje, se generan dos fuerzas de igual magnitud pero de sentido contrario; una de ellas trata de desviar el cuerpo hacia el centro del eje de giro denominada " Fuerza Centrípeta" y la segunda fuerza trata de alejarlo del eje denominada "Fuerza Centrífuga" ; ésta es la que puede ser aprovechada para una gran diversidad de procesos de separación de líquidos, sólidos y gases; así como también mezclas entre ellos, a nivel industrial, minero o agroindustrial (Baumeister *et al.*, 1992, Charm 1971).

3.3 Tipos De Centrifugas

Como ya se mencionó la centrifugación es un proceso en el que se separan dos fases, si bien, es un método de separación, la centrifugación se puede aplicar para fines distintos entre la sedimentación y la filtración.

3.3.1 Centrifugadores de Sedimentos

La sedimentación consiste en una fuerza motriz, por ejemplo cuando un sedimento se deposita en el fondo de un río, canal artificial o bien un dispositivo construido para este fin. El sedimento generalmente no cuenta con una estructura uniforme, debido a la presencia de partículas coloidales muy finas se torna un poco turbia ya que no se depositan fácilmente (Figura 13) (lenntech.es/centrifugación,2014).

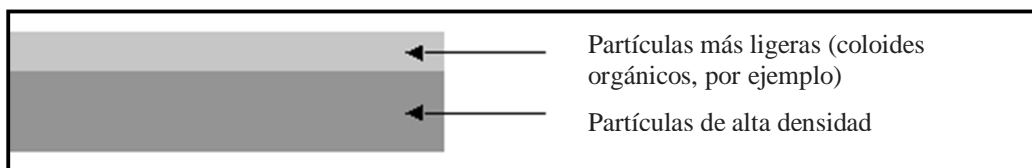


Figura 13. Fases en la sedimentación.

Extraído de: lenntech.es/centrifugación.

La mayor aplicación de las centrifugas de sedimento radica en la separación de líquido-sólidos y para sólidos no manejables, sin embargo, actualmente tiene aplicaciones en la separación de sólidos impurezas, incluso la separación de sólidos en líquidos. El tipo de centrifugadores para la sedimentación incluyen:

- Hidrociclones
- Campana tubular centrifuga (bowl)
- Cámaras-campana de centrifugación (chamber bowl)
- Centrifugador de cesta imperforada (imperforate basket)
- Separador de discos (disk stack separator)
- Decantador (decanter)

3.3.1.1 Hidrociclones

Los hidrociclones no se catalogan como centrifugadores como tal sin embargo; el principio de operación se basa en el concepto de velocidad terminal de sedimentación de una partícula sólida en un campo centrífugo (Figura 14). Para que se genere un mecanismo óptimo, la fuerza centrífuga debe ser mucho mayor que la gravitacional. Las partículas que caen dentro del campo centrífugo tenderán a moverse hacia afuera en función de la mayor densidad. Las partículas, pesadas migran rápidamente a las paredes de fuera de la sección cilíndrica y posteriormente forzadas a caer al interior de la pared cónica. Las partículas pequeñas, serán sin embargo atraídas hacia dentro por el fluido a medida que se mueven hacia el vórtice (*vortex finder*). La separación sólida ocurrirá durante la suspensión a lo largo del recipiente del hidrociclón, de manera que genera lodo denso en la pared más externa, que permite el flujo continuo del hidrociclón en la boquilla de retraso. (lenntech.es/centrifugación).

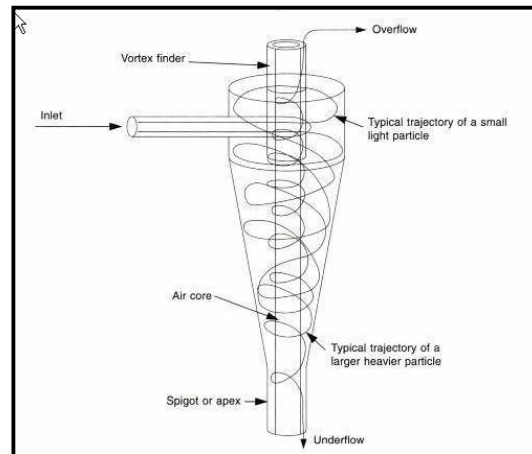


Figura 14. Esquema de Hidrociclón.

Extraído de: lenntech.es/centrifugación.

3.3.1.2 Campana tubular centrifuga

Es uno de los equipos más utilizados, se basa principalmente en su geometría, consiste en un tubo, cuyo largo es de varias veces su diámetro que rota entre apoyos a cada lado. El flujo del proceso entra en el fondo del centrifugador (*feed suspension*) y altas fuerzas centrifugas separan los sólidos que se adhieren a las paredes de la campana, mientras la fase líquida sale en la parte superior del centrifugador (Figura 15).

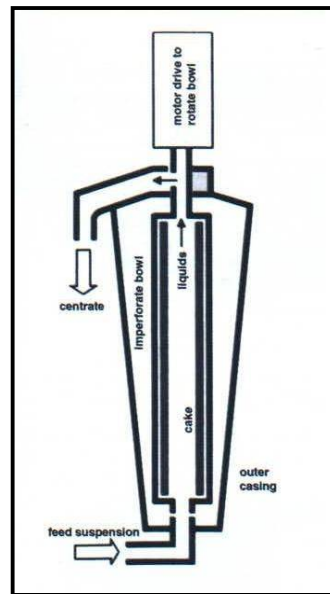


Figura 15. Esquema de Campana tubular centrífuga

Extraído de: lenntech.es/centrifugación.

Una desventaja se puede considerar que este sistema carece de rechazo de sólidos, los sólidos sólo se pueden eliminar parando el funcionamiento del aparato, desmontándolo y arrastrando o lavando los sólidos manualmente. Tienen capacidad de deshidratación, pero capacidad limitada de separación de sólidos. La espuma generada puede suponer un problema a no ser que se utilice una bomba centrípeta (lenntech.es/centrifugación).

3.3.1.3 Cámaras-campana de centrifugación

Consisten en cierto número de campanas tubulares organizadas de manera coaxial, es decir, una campana principal que contiene divisiones cilíndricas insertadas que separan el volumen de la campana en una serie de cámaras anulares que operan en serie.

El flujo de alimentación entra en el centro de la campana y la suspensión pasa a través de las distintas cámaras, que van aumentando la distancia del eje. Los sólidos sedimentan en las partes externas en las paredes de las cámaras y el líquido limpio se extrae mediante rebosamiento en la cámara de mayor diámetro. La eliminación de los sólidos sedimentados necesita la parada de la rotación para su limpieza manual (Figura 16).

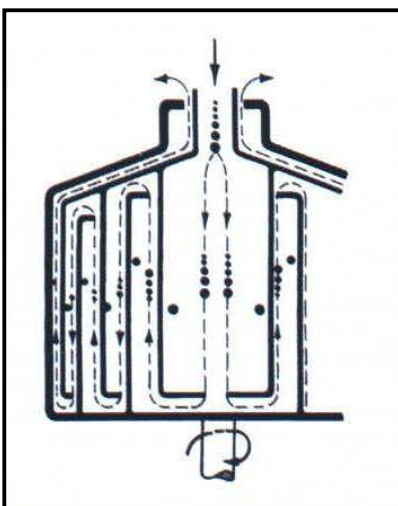


Figura 16. Esquema de Cámaras-campana de centrifugación

Extraído de: lenntech.es/centrifugación.

3.3.1.4 Centrifugador de cesta imperforada (*imperforate basket*)

Se puede considerar como el equipo más simple ya que consiste en una cesta o campana tambor, que rota en un eje vertical, se usa cuando existe un gran contenido de sólidos en suspensión; estos sólidos se acumulan y comprimen debido a la fuerza centrífuga sin embargo no es deshidratado (figura 17).

Al término del ciclo el líquido residual se drena y la capa de sólidos se remueve de forma manual con un cepillado. Aunque se puede aplicar un sistema en el que se evite la parada del sistema para su limpieza (lenntech.es/centrifugación).

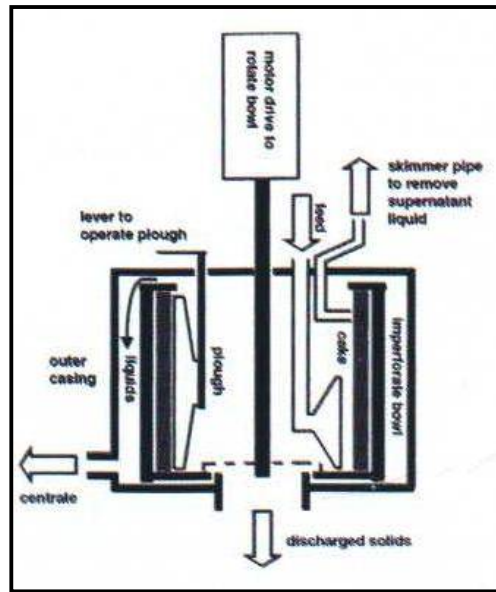


Figura 17. Esquema de Centrifugador de cesta perforada

Extraído de: lenntech.es/centrifugación.

3.3.1.5 Separador de discos (disk stack separator)

Su diseño se basa en una cámara cerrada que contiene una pila de discos, donde se almacena cualquier sólido recogido en la parte externa de la cámara, y los cuales son extraídos mediante una serie de boquillas que abren continuamente, y permiten retirar el lodo denso, también, existen boquillas con válvulas que se abren automáticamente cuando la cantidad de sólidos llega a cierto nivel para después cerrarse cuando se hayan eliminado (Figura 18). El diseño más complejo consiste en una cámara abierta, donde las carcasas de la cámara se separan de manera circunferencial, durante un corto periodo de tiempo, la

cual está condicionada por la profundidad de los sólidos en la cámara (lenntech.es/centrifugación).

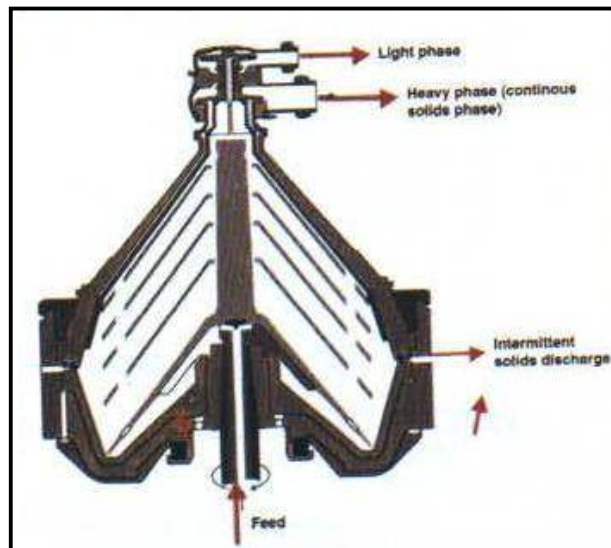


Figura 18. Esquema de Separador de discos

Extraído de: lenntech.es/centrifugación.

3.3.1.6 Decantador (decanter)

Se considera una máquina de diseño complicado, consiste en una cámara cilíndrica horizontal que rota a alta velocidad, con un tornillo helicoidal de extracción, situado coaxialmente. Dicho tornillo se ajusta perfectamente al contorno de la cámara, de manera que solo permite que entre agua clara entre la cámara y el rotador (Figura 19). La velocidad diferencial entre el tornillo y el rotor es lo que provoca un movimiento de arrastre de los sólidos, que se acumulan en las paredes de la cámara (lenntech.es/centrifugación).

1. Cono cilindro cónico
2. Tornillo Extracción helicoidal (rotador)
3. Alimentación
4. Distribuidor
5. Espacio entre anillos
6. Producto de sedimentación
7. Nivel liquido
8. Zona de secado
9. Liquido clarificado
10. Limite ajustamiento

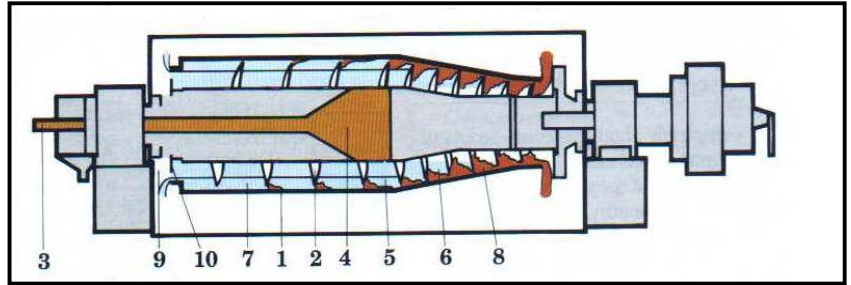


Figura 19. Esquema de las partes de un decantador

Extraído de: lenntech.es/centrifugación.

El decantador opera mediante la sedimentación causada por la separación de sólidos en función de la densidad del líquido donde se encuentran suspendidos, por tanto, si la diferencia de densidad es mayor que la gravedad esto provoca una fuerza motriz suficiente para la separación en tiempo razonable, por lo contrario si la densidad es pequeña o el tamaño de las partículas es pequeño, el tiempo de separación aumenta y la fuerza de separación debe aumentarse mediante fuerzas centrifugas mayores que a la gravedad

3.3.2 Clasificación de acuerdo a la cantidad de sólidos

En la industria existe una gran variedad de centrífugas las cuales pueden ser clasificadas de muy diversas formas, a continuación se realiza otra clasificación del grupo de centrífugas sedimentadoras y se realiza esta clasificación tomando como referencia la cantidad de sólidos a la entrada de la centrífuga.

3.3.2.1 Descarga manual, 0-5% de sólidos.

Este tipo de centrifuga es también llamada de tambor macizo. Los sólidos se acumulan en el recinto de lodos y deben de ser removidos en forma manual parando la máquina y abriendo el tambor.

3.3.2.2 Descarga automática intermitente, 0-30% de sólidos.

También son conocidas como autodeslodantes. Los sólidos se acumulan en el recinto de lodos y son expulsados en forma intermitente y automática a través de los orificios de descarga.

3.3.2.3 Descarga continua, 0-40% de sólidos.

Dentro de la industria química es conocida como de toberas. Los sólidos se acumulan en el recinto de lodos y se expulsan en forma continua a través de toberas.

3.3.2.4 Tornillo transportador, 0-65% de sólidos.

Este tipo de centrifuga es también conocida como decantador. Tienen un diseño completamente diferente a las demás centrifugas. Están equipadas con un tornillo transportador que les permite descargar en forma continua los sólidos.

3.3.3 Filtración Centrifuga

La filtración se refiere a la separación de partículas sólidas o semisólidas que se encuentran suspendidas en un fluido al pasar a través de un medio poroso, fibroso o granular llamado medio filtrante mediante la aplicación de una fuerza impulsora en un

período de tiempo determinado, tiene como objeto la clarificación de líquidos, la recuperación de sólidos y líquido, así como secado y lavado de materiales, etc.

Los sólidos que llegan a formar una torta porosa se pueden separar de líquidos en una centrífuga filtrante. Dicha suspensión se introduce a una cesta rotatoria que tiene una pared perforada recubierta con un medio filtrante como una lona o tela metálica.

Los principales tipos de centrífugas de filtración son máquinas suspendidas que operan en forma discontinua, máquinas automáticas de ciclo corto y centrífuga continuas transportadoras (Mc. Cabe, *et al.*, 2007).

3.3.3.1 Centrífugas discontinuas suspendidas.

Se caracterizan por contar con cestas perforadas cubiertas de medios filtrantes como lonas o telas metálicas, dichas cestas oscilan entre 750 y 1200 mm de diámetro y entre 450 y 750 mm de altura, y giran a velocidades entre 600 y 1800 rpm. La cesta está suspendida en la parte inferior de un eje vertical giratorio que se acciona desde la parte superior, generalmente operan con ciclos de 10 a 30 min por carga, descargando los sólidos a razón de 300 a 1800 kg/ h. A través de los sólidos se puede rociar líquido de lavado para separar material soluble y después se centrifuga la torta para secarla lo más posible, para que después de cierto tiempo la velocidad disminuya de 30 a 50 rpm para poder descargar los sólidos.

3.3.3.2 Centrífugas automáticas discontinuas.

La suspensión de alimentación, el líquido de lavado de la torta, y el medio filtrante se rocían sucesivamente en la cesta a determinados intervalos de tiempo. La cesta gira con una

velocidad constante alrededor de un eje horizontal, mientras descarga por medio de una cuchilla que asciende periódicamente.

La cesta consta de un diámetro entre 500 y 1100 mm, el tiempo de operación oscila entre 35 y 90 s, este tipo de centrifugas tienen la capacidad de manejar cristales, sin embargo no son aptas para material que contenga partículas más finas que 150 mallas. En resumen las operaciones principales (alimentación, lavado, cortado de torta, limpieza del tamiz, y descargas) están controladas por temporizadores, por tanto es posible alargar o acortar cualquier parte del ciclo (Mc Cabe, *et al.*, 2007).

3.3.3.3 Centrifugas continuas de filtración.

Consiste en una cesta rotatoria con la pared ranurada la cual se alimenta a partir de un embudo giratorio, el propósito es acelerar en forma suave y progresiva la alimentación. Las dimensiones de la cesta varía entre 300 y 1200 mm y se escurren y lavan de 0.3 a 25 ton/h. después de haber entrado la alimentación y de haber pasado por el filtrado y el líquido de lavado abandonan la carcasa por salidas separadas.

3.3.4 Medios filtrantes

Dependiendo el material que se pretende filtrar se elige el medio filtrante, frecuentemente es la tela de lona, de diferentes pesos y modelos de tejido, para líquidos corrosivos requieren de telas de lana, metal monel o acero inoxidable, de vidrio o papel, por otro lado, las fibras sintéticas como nailon y propileno, y varios tipos de poliésteres cuentan con una elevada resistencia química. Cualquier medio filtrante debe cumplir con los requerimientos necesarios (Mc Cabe, *et al.*, 2007).

1. Retener los sólidos durante la filtración, produciendo un filtrado claro.
2. No obstruirse.
3. Ser tanto químicamente como físicamente resistente para soportar el proceso.
4. Permitir que la torta que se forma se desprenda de forma limpia y completa.
5. No ser caro.

3.4 Aplicaciones en la Industria Alimentaria

En la actualidad, las centrífugas modernas son utilizadas en la industria de procesos técnicos para separar mecánicamente mezclas de sólidos y líquidos.

Las aplicaciones en la industria alimentaria son muy variadas tales como en los procesos de: aceites vegetales, almidón, extracto de café, extractos de carne, extractos vegetales, gelatina, grasas animales, lactosa, levadura de cerveza y turbidez, mantequilla depurada, patatas trituradas, zumos de fruta, zumos de verdura.

Las legumbres como los granos de garbanzo son buenas fuentes de almidón y proteína. Los investigadores han ensayado distintos métodos para separarlos y mejorar su purificación. Las fracciones de almidón y proteína son susceptibles de utilizarse como ingredientes en el procesamiento de alimentos. En el proceso de elaboración de pasta se sometió al paso por un hidrociclón de paso doble para obtener flujos superiores (*overflows*) y flujos inferiores (*underflows*). En términos de la separación de almidón, el uso de esta harina libre de grasa a un pH de 9,0 produjo el contenido más alto de almidón en los flujos inferiores con una eficiencia de separación de 99,83%; en cuanto al sedimento de los flujos superiores, se obtuvo un contenido de proteína de 88,31%, con una eficiencia de separación entre 62,50 y 67,40% (Virtual Pro, 2014).

Otro ejemplo más de aplicación es para la obtención del aceite de aceituna (aceite de oliva) (Figura 20) después de haber sido molida y batida el siguiente paso del proceso es una filtración, la cual separa la parte sólida de la líquida, en este proceso determina la calidad del aceite, sin embargo, a pesar de que la materia líquida se vaya perfilando, aun contienen una pequeña cantidad de sólidos, que evidentemente hay que eliminar. Es donde entra el proceso de centrifugación; en la elaboración de aceite de oliva es de suma importancia alcanzar un alto rendimiento y una excelente calidad, ahorrando costos tanto de producción como de energía.

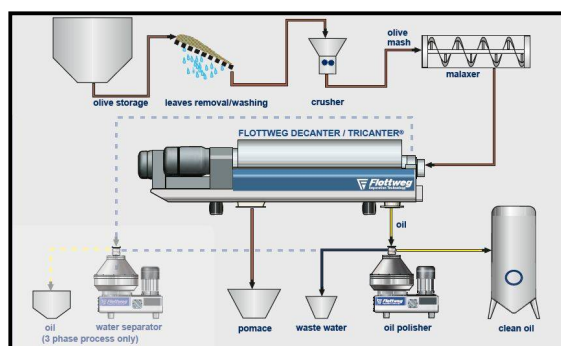


Figura 20. Diagrama del proceso de aceite de oliva.

Extraído de: Flottweg, 2014.

Dependiendo del número de extracciones se puede hablar de un incremento de producción, es decir, según la clase de aceituna en la primera extracción se puede obtener hasta 85%-90%, y si existe una segunda extracción se incrementa el rendimiento hasta un 6%. (Flottweg, 2014)

En la producción de surimi, el pescado triturado se lava en un proceso de dos o tres fases eliminando así impureza como sangre y grasa, normalmente las impurezas más gruesas del agua de lavado se limpian mediante un tamiz rotativo, sin embargo, se pueden utilizar las centrifugas para la recuperación de fibras de carne proveniente del lavado lo que aumenta considerablemente la eficiencia del proceso, disminuyendo la cantidad de residuos que provoca un tamiz rotativo. Dicho proceso se ilustra en la figura 21.

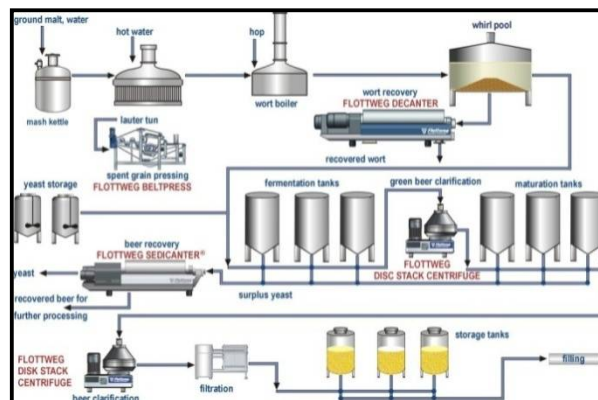


Figura 21. Diagrama de elaboración de surimi
Extraído de: Flottweg, 2014.

En la industria cervecera lo que se intenta hacer con las centrifugas es optimizar el proceso como es en la recuperación del mosto y de cerveza, clarificación de la cerveza antes de filtrar, incluso en el proceso de la aguas residuales. Para la producción de cerveza se requieren determinados conocimientos del proceso cervecero, ya que cada cerveza tiene características distintas, lo que se puede considerarse como “única”. Sin embargo al introducirse la centrifugación en el proceso se puede conseguir reducción de gastos, disminución de pérdidas de cerveza entre otros.

El proceso de la extracción de café consiste en el tostado del mismo donde se desarrolla el aroma, para después, reducir el tamaño de los granos para tener una mejor extracción a

partir de la molienda, ya que se consigue el tamaño óptimo se pasa a recipientes cerrados donde entra en contacto con agua a determinada presión y temperatura, lo que permite obtener los sólidos solubles, para después centrifugarlos para eliminar los sólidos insolubles que pudieran haberse quedado contribuyendo a la incrementación de rendimientos generales, después se realiza una espumación, congelación, granulación y por último la liofilización, donde el contenido de agua es sublimado.

El trigo es una de las materias más importante del mundo para la producción de almidón y sus derivados. Para la producción del almidón se descompone la harina de trigo en sus componentes: almidón A, pentosano y gluten o almidón B.

Así pues la óptima separación del almidón facilita las etapas de procesamiento posteriores, y mejora la calidad del producto y el rendimiento. Con la centrifugación se obtiene una alta calidad aunque se trate de una materia prima de calidad variable (figura 22).

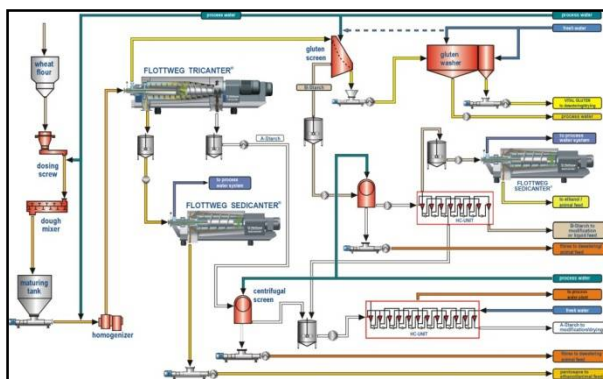


Figura 22. Producción de almidón
Extraído de: Flottweg, 2014.

En la industria química, es una parte importante de numerosos procesos, ya sea para clarificar líquidos, o bien clasificar o extraer componentes, en la petroquímica, la

deshidratación del PVC, al mostrar un bajo contenido de humedad residual, contribuye a reducir gastos en el secado térmico posterior.

El poli cloruro de vinilo se produce mediante la polimerización de monómero de cloruro de vinilo (VCM). El PVC es un termoplástico, que se suele procesar en un margen de temperatura de 160 a 200 °C, en comparación con otros plásticos es barato, fácil de producir y se puede procesar de diferentes formas: Suspensión, micro suspensión y de emulsión. Al año se producen unos 34 millones de toneladas de PVC en el mundo, la mayor parte se fabrica a partir del método de suspensión, en este proceso se utilizan las centrifugas para la deshidratación del PVC después de la polimerización, que como ya se mencionó produce menos gastos en el proceso de secado. Tiene aplicaciones en la industria de la construcción, la industria eléctrica y la automovilística (figura 23).

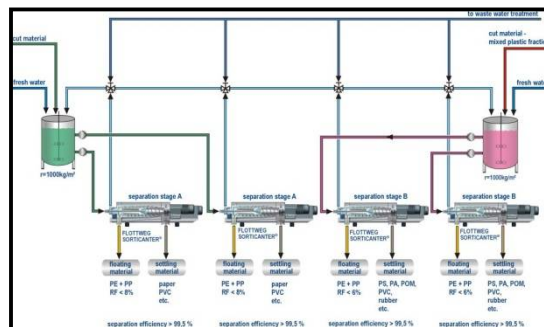


Figura 23. Producción de Policloruro de vinilo.
Extraído de: Flottweg, 2014.

También se aplican en el ámbito ambiental, (figura 24) en el proceso de aguas industriales residuales, en el procesamiento de lodo de perforación, y lavados de perforación, las emulsiones forman un circuito cerrado, que no deja salir ningún sólido, por consiguiente es necesario separar todo lo que se deposita en la emulsión durante el proceso de perforación, mientras que los tamices vibratorios con los que cuenta al igual que los hidrociclones separan partículas más gruesas, las centrífugas se encargan de separar partículas de menor tamaño .

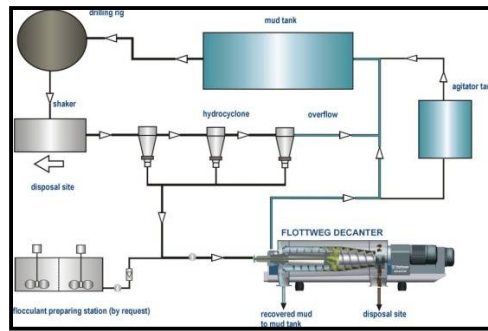


Figura 24. Procesamiento de lodos
Extraído de: Flottweg, 2014.

El objetivo más importante es la reducción del volumen de las aguas residuales, ya que es un indicador importante para el ahorro en el proceso de eliminación de residuos, así como lograr una mínima cantidad de polímeros.

Como ya se mencionó la centrifugación tiene diversas aplicaciones en variados procesos, como principal objetivo de esta se puede considerar el optimizar el proceso y disminuir costos de producción, y para ello existen empresas que se dedican al diseño y mejora continua de centrifugas.

Capítulo 4

Materiales y Métodos.

4.1 Materia prima

Se utilizaron productos que se consumen en la vida cotidiana y que son sometidos al proceso de freído como son:

- Papas fritas (tipo: blanca)
- Tortillas doradas (marca: maseca)
- Salchicha de pavo (marca: fud de pavo)

Si bien en su mayoría son productos comerciales, se efectuó el freído de forma casera, y las materias primas fueron adquiridas en supermercados de la ciudad de Puebla, México.

4.2 Proceso de Elaboración

Cada producto tuvo un tratamiento diferente, es decir, en la vida diaria existen diversas formas en las que se consumen, por tanto se eligieron cortes en los que se pudieran observar principalmente sus cambios físicos, estos cortes se enlistan en la tabla 1.

Tabla 1. Cortes de productos para experimentación

Producto	Cortes
Papas fritas	<ul style="list-style-type: none">• Francés• Redondo
Tortillas doradas	<ul style="list-style-type: none">• Triangulo• Redondo
Salchicha	<ul style="list-style-type: none">• Redondo

Posteriormente se sometieron a un freído por inmersión, utilizando para ello un sistema de freído (Figura 25), que consistió en el montaje de un recipiente de acero inoxidable con un contenido de aceite vegetal puro de canola (Capullo) (110 ± 0.5 mL) acoplado a un sistema de calentamiento (Themolyne Cimarec) y control de temperatura, utilizando un termómetro de inmersión ($-10^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C} - 110 \pm 2^{\circ}\text{C}$).



Figura 25. Condiciones de freído (110 ± 0.5 mL / $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$)

El aceite se precalentó hasta obtener una temperatura de $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, la temperatura del aceite se mantuvo constante y el producto fue introducido al aceite, para efectuar el freído en un periodo específico de tiempo, de acuerdo, al producto se delimitó el tiempo de freído, cuidando que el color de los productos fuera agradable a la vista.

En la tabla 2, se enlistan los tiempos a los que se sometieron los productos seleccionados, cabe destacar que en el proceso de freído interviene el tipo de corte de cada producto.

Tabla 2. Tiempo de fritura por producto

Producto	Tiempo de Freído (min)
Papas Fritas <ul style="list-style-type: none"> • Redondo • Francesa 	15 10
Tortillas doradas <ul style="list-style-type: none"> • Redonda • Triángulo 	15 8
Salchicha	8

Se pesó cada uno de los productos después que pasaron por el proceso de freído en una balanza analítica, debido a sus características y cortes se delimitó un peso promedio para cada producto, los pesos se enlistan en la tabla 3.

Tabla 3. Cantidad para cada producto que fue sometido al proceso de centrifugación en (g)

Producto	Cantidad de muestra (g)
Papas Fritas <ul style="list-style-type: none"> • Redondo • Francesa 	3.0 10.0
Tortillas doradas <ul style="list-style-type: none"> • Redonda • Triángulo 	10.0 9.0
Salchicha	5.0

Así pues se introdujeron en centrífuga prototipo (la cual se describe en el apartado 4.3), durante cierto intervalo de tiempo que oscila entre los 5 – 20 min a distintas velocidades. Se analizaron los cambios físicos, que se produjeron después del proceso de centrifugación, como es el cambio de color, fragmentación, pero principalmente la pérdida de peso y por tanto el porcentaje de disminución de contenido de aceite.

4.3 Equipo de Centrifugación.

El equipo de centrifugación que se utilizó para la parte experimental es un prototipo fabricado en la Facultad de Ingeniería Química en conjunto con el laboratorio de mecatrónica de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Contiene 7 velocidades de centrifugación (rpm) diferentes, las cuales se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. rpm de cada velocidad de centrifugación

Velocidad	rpm
1	1109
2	1587
3	2250
4	2570
5	2755
6	2905
7	2945

En la Figura 26, se muestra la centrífuga prototipo en la parte frontal se encuentra un paro de emergencia, botón encendido y apagado, stop, y siete velocidades, consta también de una canasta (figura 27) donde se introdujeron los productos para efectuar el proceso de centrifugado.



Figura 26. Centrífuga Prototipo vista frontal y lateral.

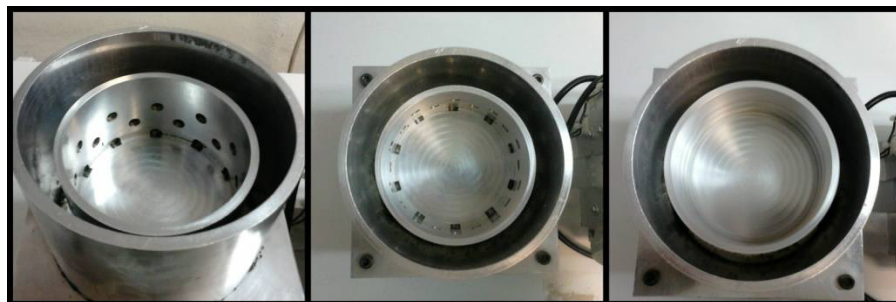


Figura 27. Centrífuga Prototipo vista superior

4.3.1 Pruebas Preliminares.

Las pruebas analizaron variables como tipo de producto, tiempo, velocidad de centrifugación, método de centrifugación y forma de corte. Se efectuaron a partir de dos métodos: continuo y discontinuo. El método continuo consistió en introducir una misma muestra a centrifugación durante 20 min., pesando dicha muestra, cada 5 min. Por el contrario en el método discontinuo se somete una muestra diferente en cada intervalo de tiempo. El tipo de método se eligió en base a las características de cada producto como es tamaño y costo ya que entre más pequeño el tamaño de los cortes se puede perder cantidad significativa de muestra en el proceso de centrifugado, por tanto la tabla 5 muestra el método para cada producto.

Tabla 5. Alimentos que se someten a método continuo y discontinuo.

Continuo	Discontinuo
	Papas (francesa)
	Papas (redondas)
Salchicha	Salchicha
Totopos enteros	Totopos en trozo

4.3.1.1 Cálculo remoción de aceite

La cantidad de líquido que ha sido removido de la muestra se calculó a partir de la diferencia entre el peso inicial y final de la muestra, haciendo uso de una balanza analítica electrónica con sensibilidad de 0.01 g (Santacruz, *et.al.*, 2011), mediante la ecuación (1).

$$\Delta P = P_2 - P_0 \quad \text{E.C (1)}$$

Donde:

ΔP = Remoción de aceite a partir de centrifugación

P_2 = Peso del alimento después de ser sometido al proceso de centrifugado

P_0 = Peso inicial del alimento antes de ser sometidos al proceso de centrifugado

** Todos los datos son expresados en gramos (g)

Para conocer el porcentaje de aceite removido a partir de la ecuación (1) se realiza la siguiente ecuación.

$$\% \text{ de remoción} = 100 - \frac{P_0 \times 100}{P_2} \quad \text{E.C (2)}$$

4.4 Análisis de Composición.

4.4.1 Análisis micro estructural y de imagen

Se determinó por medio del microscopio (Carl Zeiss, Stemi 2000), la textura de la forma interna de los productos, haciendo cortes transversales en cada una de las pruebas y tomando fotos de tres puntos específicos de los productos en los dos extremos y el centro.

4.4.2 Determinación de grasa por el método soxhlet

Se pesó una cantidad de 10 ± 5 g de cada producto, se colocó en cartuchos de celulosa y se introdujo en una estufa. Posteriormente se utilizó el método soxhlet en el cual se agregaron 125 mL de hexano como solvente por la muestra, la extracción se llevó a cabo en un intervalo de 4 a 6 h, al cabo de este tiempo el matraz se introdujo a una estufa a 105°C durante 10 min, después a un desecador para alcanzar una temperatura ambiente y poder pesarse en la balanza analítica. El porcentaje de grasa se obtuvo de la ecuación (3).

$$\% G = \frac{(\text{Peso de matraz con grasa}) - (\text{Peso de matraz sin grasa})}{\text{Peso de la muestra}} \quad \text{E.C (3)}$$

4.4.3 Determinación de Humedad.

Se utilizaron charolas secas y se pesó una cantidad de 10 ± 5 g de muestra de cada producto, se introdujo a la estufa convencional a aproximadamente 100°C durante 24 hrs. Para obtener el porcentaje de humedad se efectuó el siguiente cálculo. Con la ecuación (4)

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(W \text{ charola con muestra} - W \text{ charola con muestra seca})}{W \text{ de muestra}} \times 100 \quad \text{E.C (4)}$$

4.4 Diagrama de Flujo

La metodología que se sigue en la presente experimentación, se muestra en el diagrama de flujo de la figura.

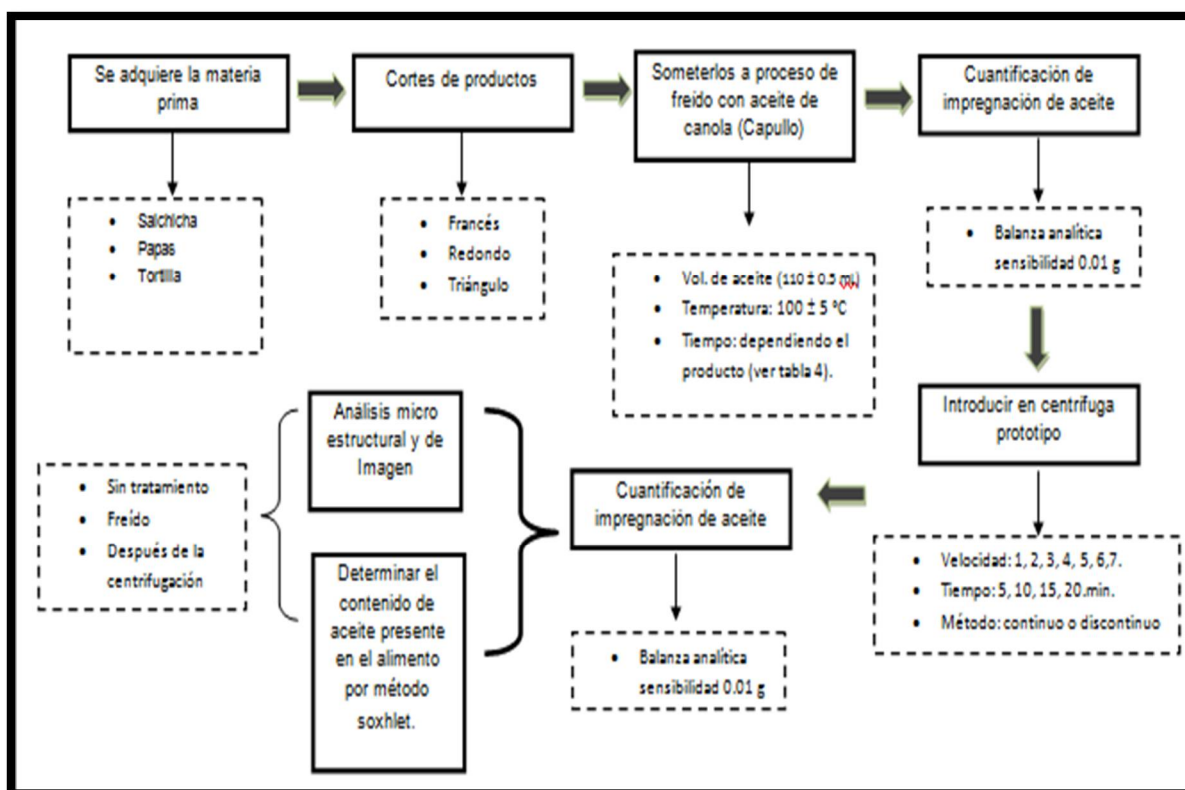


Figura 28. Diagrama de proceso de freído y centrifugado en alimentos.

Cabe resaltar que el tipo de corte, así como el método de centrifugación se eligió de acuerdo a las características de cada alimento, para que a su vez se pudieran evaluar, las variables que influyen en la eficiencia del centrifugado que a su vez provocará una mayor remoción de grasa.

Capítulo 5

Resultados

Al concluir la parte experimental, y siguiendo las especificaciones antes mencionadas se obtuvieron los siguientes resultados, cabe mencionar que las variables del proceso que influyen en el porcentaje de remoción de aceite son la velocidad y método de centrifugado, y éstas a su vez dependerán del corte de muestra, tiempo y morfología de la misma.

Se sometieron a experimentación productos que se delimitaron por su consumo cotidiano, se analizaron los resultados de dicha experimentación para cada producto.

Debido a las variantes de cada alimento se eligieron las variables (tiempo corte, método de centrifugación y velocidad), las cuales compararán la eficiencia del equipo de centrifugación, y denotarán resultados concisos sobre la efectividad de la centrifugación como método de remoción de aceite en alimentos.

5.1 Centrifugación

Durante el proceso de freído varia el contenido de aceite impregnado del producto. De aquí la importancia de un escurrido eficaz (Yagüe, 2003).

Durante un proceso de centrifugación los cuerpos introducidos en equipos de centrifugación se alejan del eje de rotación debido al exceso de velocidad y fuerza centrífuga (Ramírez *et al.*, 1998), es decir, este proceso tiene como objetivo expulsar de forma forzada el aceite contenido en el alimento o muestra. El porcentaje de aceite que es removido depende de variables como son: el tipo de producto, corte, método de centrifugación, tiempo y velocidad. Como se mencionó en el apartado 4.3 las condiciones del proceso de

centrifugación se realizarán en intervalos de tiempo de 5-20 min y a 7 velocidades que oscilan entre 1109-2945 rpm, evaluando a su vez las variables antes mencionadas.

5.1.1 Centrifugado de papa

Se evaluaron los porcentajes de remoción de aceite en papa por centrifugación, utilizando diferentes cortes y procesando las muestras a un mismo método de centrifugación que en este caso fue discontinuo. Las características con las que cuenta la papa facilitaron demasiado el proceso de centrifugación, obteniendo resultados favorables.

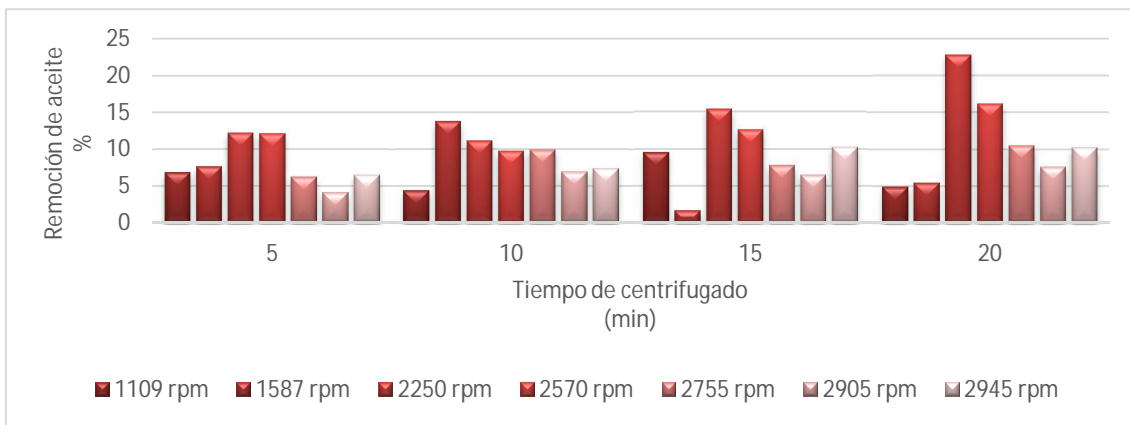


Figura 29. Remoción de aceite en papas fritas con un corte francés, método discontinuo.

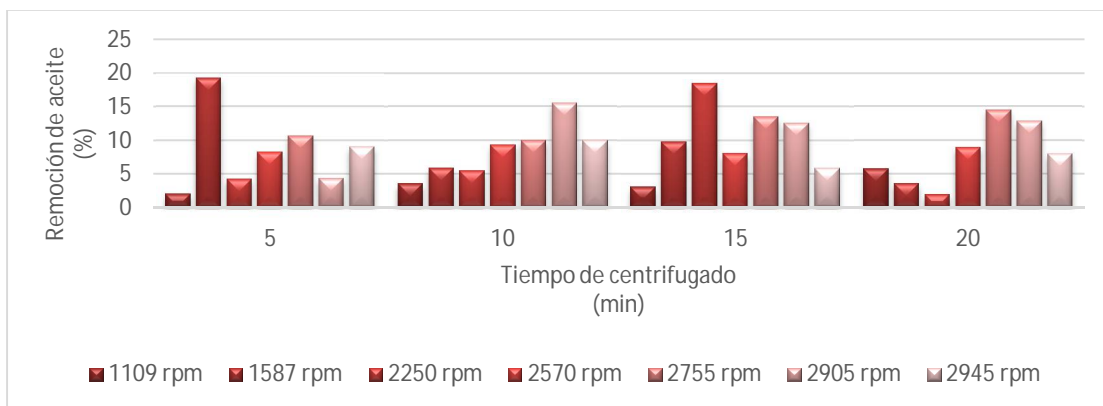


Figura 30. Remoción de aceite en papas fritas con un corte redondo, método discontinuo.

Las figuras 29 y 30 muestran los gráficos que emitieron las pruebas experimentales. De acuerdo a esto se observa, que el % de remoción de aceite fue mayor en el tiempo 20 min a una velocidad de 2250 rpm (figura 29) en papa frita con un corte francés. En la figura 30 se observa una remoción de aceite notable a una velocidad de 1587 rpm a los 5 min.

Se han emitido resultados de trabajos anteriores donde denotan que la velocidad más eficiente se logra 2900 rpm y en un tiempo de 5 minutos a su vez se obtuvo un porcentaje de pérdida de aceite en un intervalo de 7.7 a 13.5% (Munive Reyes y Santacruz Vázquez, 2013), cabe resaltar que en el proyecto anterior se sometieron papas solo con corte redondo con teniendo como principal variable su espesor. Comparando ambos trabajos, con un corte redondo, coinciden en un tiempo de centrifugación de 5 min, sin embargo debido a las que se someten a diferentes variables, varía la velocidad de centrifugación, removiendo un 19.25% de aceite.

Por otra parte a una velocidad de 1587 rpm se observa un intervalo de remoción de aceite de 3.65-19.25% (tabla 6), resaltando que no hubo pérdida de muestra; a 2905 rpm se remueve un 4.40%-15.54% afirmando que en este proceso de centrifugación la velocidad de 1587 rpm. En la tabla 6 se muestra los pesos iniciales, es decir, después de haberse freído la muestra, el peso final, al finalizar el proceso de centrifugación y de ambos se obtiene una diferencia de pesos (ΔP) y de acuerdo a estos datos y a la ecuación (1) se obtiene un porcentaje de remoción de aceite de acuerdo con las pruebas realizadas las dos velocidades presentadas son las más eficientes. Así pues se puede enunciar que a menor velocidad de centrifugación más tiempo, mientras que a mayor velocidad de tratamiento implica menor tiempo de centrifugado.

Tabla 6. Tasa de remoción de aceite en papas fritas corte redondo, método discontinuo.

Núm. De muestra	tiempo (min)	1587 rpm				2905 rpm			
		P ₀ (g)	P ₂ (g)	ΔP (g)	% remoción de aceite	P ₀ (g)	P ₂ (g)	ΔP (g)	% remoción de aceite
1	0	3.576	3.576	0	0.00	3.315	3.315	0	0.00
2	5	3.576	2.888	0.688	19.25	3.315	3.169	0.145	4.40
3	10	3.759	3.538	0.220	5.87	3.153	2.663	0.490	15.54
4	15	3.483	3.140	0.342	9.84	3.875	3.387	0.488	12.60
5	20	3.376	3.253	0.123	3.65	3.485	3.036	0.449	12.89

Tabla 7. Intervalos de remoción de aceite en papa en diferentes cortes.

Papas		
Corte	Francés	Redondo
Velocidad (rpm)	Intervalo (%)	
1109	4.41-9.56	2.10-5.76
1587	1.73-13.67	3.65-19.25
2250	11.12-22.77	2.01-18.41
2570	9.70-16.17	6.92-9.34
2755	6.25-10.51	9.73-14.50
2905	4.10-7.60	4.40-15.54
2945	6.47-10.26	6.59-9.94

La tabla 7 presenta los intervalos del porcentaje de remoción de aceite en papa comparando ambos cortes, de acuerdo esto se observa que el corte francés tuvo un intervalo de remoción de 1.73-22.7% y el corte redondo de 2.01-15.54% tomando en cuenta las distintas velocidades de centrifugación. Dichos datos permiten confirmar que el tipo de corte del producto sometido a un proceso de centrifugación influye en el porcentaje de remoción de aceite, por tanto entre más pequeños son los cortes, existe una mayor remoción de aceite.

5.1.2 Centrifugado de Tortilla

Las variables a analizar en tortilla son el corte y el método de centrifugación. Se sometió un corte triangular (totopo) con un método de centrifugación discontinuo, por otra parte el corte redondo (tostada) a un método continuo. La parte experimental complicó el proceso de centrifugación debido a que la parte superior del producto crea una costra después de haberse freído, la cual en algunas ocasiones durante la centrifugación pueden llegar a romperse, sin embargo durante dicho proceso se tuvo la precaución de no tener pérdidas de producto.

En la gráfica de la figura 31 se muestran los resultados obtenidos con un corte redondo y con método de centrifugación continuo, se observa que la remoción de aceite más notable se obtuvo a un tiempo de 5 min por tanto se puede afirmar que a un intervalo de tiempo corto remueve un porcentaje mayor. Comparando las velocidades de centrifugación en un tiempo de 5 min se puede observar (figura 31) que la velocidad de 2905 rpm fue la que obtuvo una mayor remoción de aceite.

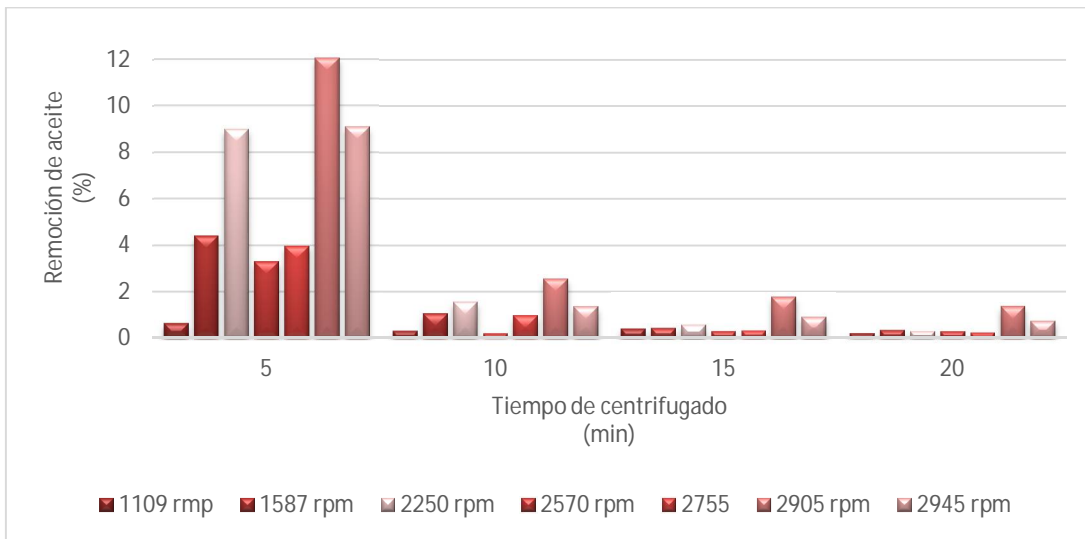


Figura 31. Remoción de aceite en tortilla frita corte redondo (tostada), método continuo.

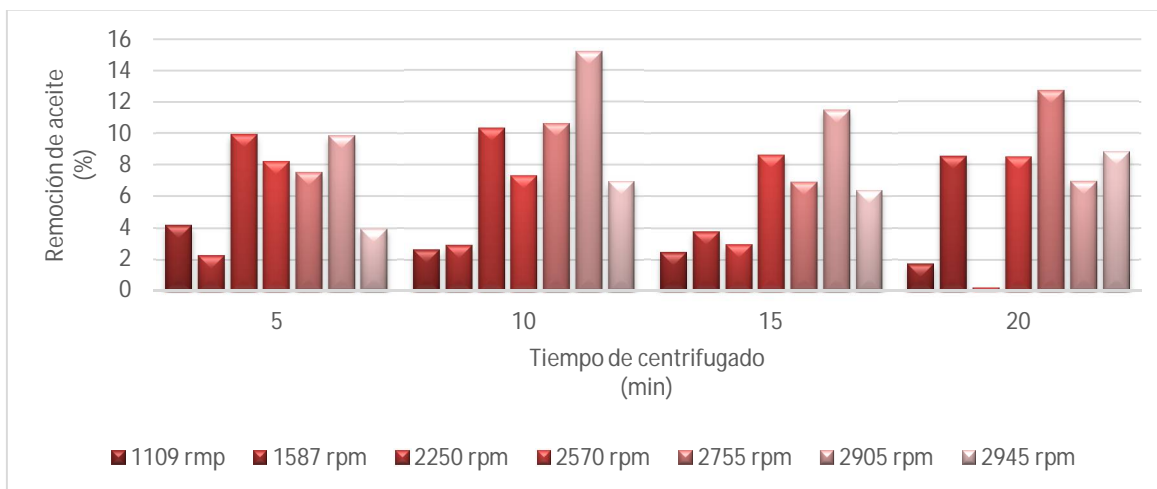


Figura 32. Remoción de aceite en tortilla frita corte triangular (totopo), método discontinuo.

En la Figura 32 se muestran los resultados del corte triangular (totopo), sometido al proceso de centrifugación discontinuo, como se observa en la gráfica la mayor cantidad de aceite removida se obtuvo a los 10 minutos de centrifugado a 2905 rpm. Lo cual indica que la velocidad de 2905 rpm en ambos métodos y cortes es la más eficiente.

Tabla 8. Intervalos de remoción de aceite en tortilla con diferentes cortes, diferente método.

Tortilla		
Corte/método	Totopos/ discontinuo	Tostadas/ continuo
Velocidad (rpm)	Intervalo (%)	
1109	1.74-4.17	0.64-1.57
1587	2.28-8.55	4.39-6.24
2250	0.24-10.32	8.99-11.42
2570	7.33-8.62	3.30-4.10
2755	6.92-12.69	3.96-5.51
2905	6.96-15.18	12.07-17.75
2945	3.94-8.82	9.09-12.10

Se han investigado técnicas para reducir la absorción de aceite durante el proceso de freído de tostadas, tal es un secado previo: la aplicación del secado, previo al freído, contribuyó a elaborar un producto con un menor contenido de aceite y/o grasa, y con una humedad propia de este tipo de productos arrojando resultados entre un 8 y 9 % de grasa en tostadas (Morales-Pérez y Vélez-Ruiz 2006).

La tabla 8 muestra los intervalos que se obtuvieron de cada una de las velocidades, en todos los tiempos de centrifugado. De acuerdo a ello se observa que los porcentajes de remoción de aceite en totopos en método continuo removi6 de un 0.24-15.18 % de aceite y en tostada de un 0.64-17.75% de aceite. Se debe considerar que el método continuo como ya se mencion6 anteriormente consiste en someter a centrifugaci6n una misma muestra en cada intervalo de tiempo (5, 10, 15,20), por lo que a los 20 min de centrifugado, se conoce el porcentaje de remoci6n final de aceite en dicha muestra la tabla 9, presenta el porcentaje final de las muestras sometidas a un centrifugado continuo. Comprando ambos trabajos el secado tiene una mejor eficiencia, a su vez seg6n Morales P6rez y V6lez Ruiz (2010) mencionan que una temperatura de freído menor a 160 y 180°C aumenta su probable ruptura, y en esta evaluaci6n se confirma; las muestras que se sometieron a la centrifugaci6n fueron freídas a una temperatura de 110 ± 5 °C.

Tabla 9. % de remoci6n total de aceite en tostada m6todo continu6.

Velocidad (rpm)	% total
1109	1.57
1587	6.25
2250	11.42
2570	4.10
2755	5.51
2905	17.75
2945	12.10

A la velocidad de 2905 rpm para el método discontinuo un tiempo de 10 min efectúa la mayor remoción de aceite, en cambio un método continuo en cada intervalo de tiempo remueve una cantidad poco significativa (tabla 10) , sin embargo la remoción total de la muestra a esta velocidad es de 17.75% (tabla 9), de acuerdo a esto, se confirma una vez más que el corte influye notablemente en el centrifugado, a pesar de que el tamaño de la tostada (corte redondo) es mayor que el del totopo (corte triangular), debido a la características de este producto, mayor tamaño cuida la estructura del mismo, por tanto se la morfología del producto se considera una variable importante para el centrifugado de cada producto. Por otra parte se puede mencionar que el método continuo remueve un mayor % de aceite que el método discontinuo.

Tabla 10. Comparación de la tasa de remoción de aceite en tortilla con diferente corte y diferente método a una velocidad de 2905 rpm.

Núm. De muestra	Tiempo (min)	Corte triangular (método continuo)				Corte redondo (método discontinuo)			
		P ₀ (g)	P ₂ (g)	ΔP (g)	% remoción de aceite	P ₀ (g)	P ₂ (g)	ΔP (g)	% remoción de aceite
1	0	9.5887	9.5887	0	0	11.3817	11.3817	0	0
2	5	9.5887	8.6455	0.943	9.84	11.3817	10.0083	1.3734	12.0667
3	10	9.5931	8.1371	1.456	15.18	10.0083	9.7515	0.2568	2.56587
4	15	9.5531	8.455	1.098	11.49	9.7515	9.5795	0.172	1.76383
5	20	9.5673	8.9013	0.666	6.96	9.5795	9.4495	0.13	1.35706

5.1.3 Centrifugado de salchicha

Otro producto que se sometió a las evaluaciones fue la salchicha, evaluando el método de centrifugación y un mismo corte (redondo). Este producto fue el de mayor fácil para su manipulación en la parte experimental, debido a sus características morfológicas. La figura

33 presenta la remoción de aceite en el método discontinuo, podemos observar que el porcentaje de remoción más alto se dio a un tiempo de 15 min y la figura 34 gráfica de método continuo, observando que la velocidad de centrifugación donde hubo una mayor remoción de aceite fue a un tiempo de 5 minutos en la mayoría de las velocidades, se puede afirmar que el método continuo es más eficaz a los primeros minutos de centrifugación, sin embargo en el método discontinuo hay una mayor remoción de aceite en los últimos intervalos de tiempo.

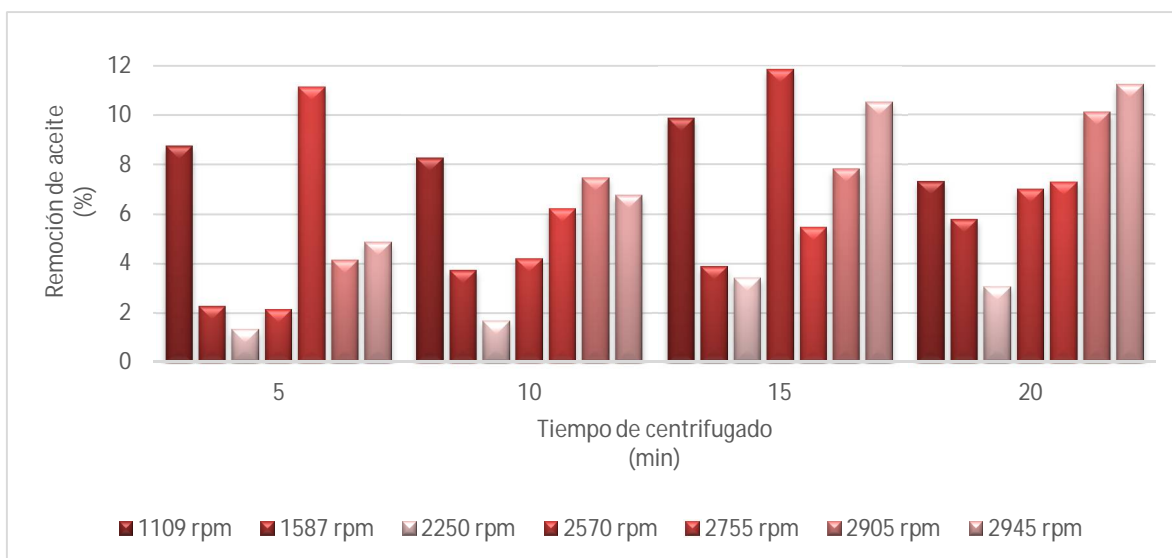


Figura 33. Remoción de aceite en salchicha corte redondo método discontinuo

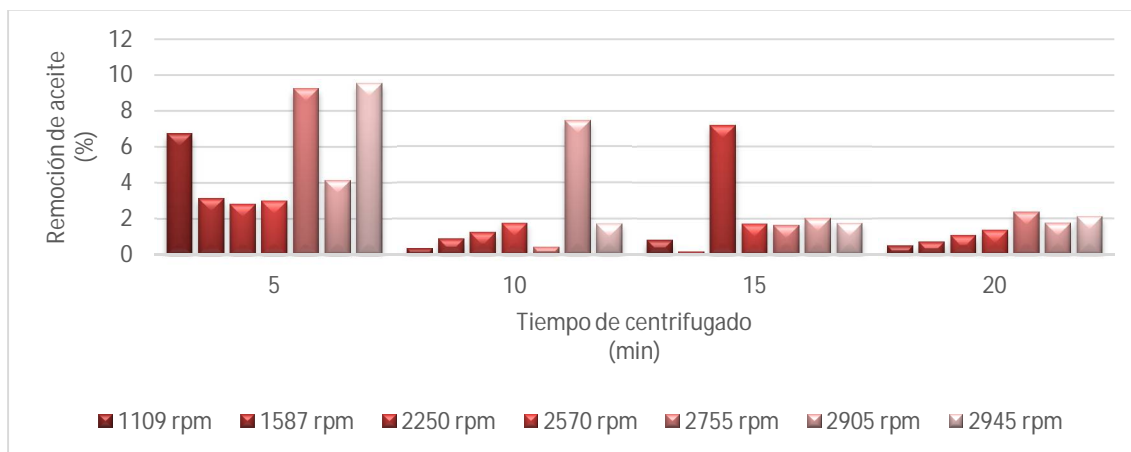


Figura 34. Remoción de aceite en salchicha corte redondo método continuo

La tabla 11 presenta los intervalos de porcentaje de remoción de aceite comprando el método continuo y discontinuo para la muestra de salchicha, se observa que método continuo remueve de un 2.82-15.39% de aceite y el método discontinuo un 1.34-11.84% de remoción de aceite lo que indica que el método continuo es más eficaz en la remoción de aceite, también se observa que este método en las últimas tres velocidades (2755-2945 rpm) remueve un mayor porcentaje de aceite, caso contrario de discontinuo que se observa que el intervalo de porcentaje de remoción de grasa más notable se da a las primeras velocidades (1109-2570 rpm).

Tabla 11. Intervalos de remoción de aceite en salchicha, mismo corte y diferente método.

Salchicha		
	Continuo	Discontinuo
Velocidad (rpm)	Intervalo (%)	
1109	6.75-8.45	7.32-9.89
1587	3.15-4.94	2.28-5.79
2250	2.82-12.33	1.34-3.42
2570	3.01-7.88	2.16-11.84
2755	9.24-13.72	6.21-11.15
2905	4.16-15.39	4.15-10.11
2945	9.54-15.16	4.87-11.22

Como ya se mencionó el método continuo tiene un mayor porcentaje de remoción de aceite a los 5 min, sin embargo, se somete la misma muestra los 20 min restantes, en la tabla 12 se muestra los porcentajes totales que se obtiene en cada velocidad de centrifugación. Por tanto se observa que a una velocidad de 2905 rpm se remueve la mayor cantidad de aceite (15.39%). Y para el método discontinuo según la tabla 11 se obtiene una mayor remoción de aceite a una velocidad de 2570 rpm.

Tabla 12. % de remoción total de aceite en salchicha método continuo

Velocidad (rpm)	Salchicha % total
1109	8.45
1587	4.94
2250	12.33
2570	7.88
2755	13.72
2905	15.39
2945	15.16

La tabla 13 muestra la comparación de ambos métodos y como se mencionó anteriormente el método discontinuo efectúa un porcentaje mayor de remoción de aceite a los 15 y en una velocidad de 2570 rpm y en el caso del método continuo son pequeños los porcentajes de remoción de aceite sin embargo el porcentaje total de remoción es el más efectivo, de acuerdo a esto se reafirma que el método continuo tiene una mayor eficiencia, siempre y cuando la morfología del producto lo permita y así también el corte de la salchicha debido a que es pequeño tiene un mayor contacto con la superficie de centrifugación el cual influye en una centrifugación eficaz.

Tabla 13. Comparación de la tasa de remoción de aceite en salchicha con diferente método.

Núm. De muestra	tiempo (min)	Método: discontinuo 2570 rpm				Método: continuo 2905 rpm			
		P ₀ (g)	P ₂ (g)	ΔP (g)	% de pérdida de grasa	P ₀ (g)	P ₂ (g)	ΔP (g)	% de pérdida de grasa
1	0	6.6307	6.6307	0	0	10.0074	10.0074	0	0
2	5	6.6307	6.4877	0.143	2.16	10.0074	9.5908	0.4166	4.16
3	10	6.6019	6.3246	0.2773	4.20	9.5908	8.8784	0.7124	7.43
4	15	6.6558	5.8673	0.7885	11.85	8.8784	8.6982	0.1802	2.03
5	20	6.5803	6.1203	0.46	6.99	8.6982	8.544	0.1542	1.77

Se mencionó anteriormente que la centrifugación en alimentos dependerá de diversas variables. De acuerdo a la experimentación realizada se puede comprobar, dependiendo del alimento que someta a dicho proceso serán las condiciones de centrifugado la tabla 14 muestra un resumen de las condiciones en la que se removi6 una mayor cantidad de aceite en los alimentos evaluados.

Tabla 14. Resumen de datos experimentales.

	Tiempo de mayor eficiencia	Velocidad de mayor eficiencia	Tipo de Corte	Tipo de Producto	Método	Intervalos de remoción de aceite
Papa	20 min	2250 rpm	Francés	Vegetal	Discontinuo	11.12-22.77
	5 min	1587 rpm	Redondo		Discontinuo	3.64-19.25
Tortilla	10 min	2905 rpm	Triangular	Harina de maíz	Discontinuo	6.96-15.18
	5 min	2905 rpm	Redondo		Continuo	12.07-17.75
Salchicha	15 min	2570 rpm	Redondo	Cárnico	Discontinuo	2.16-11.84
	5 min	2905 rpm	Redondo		Continuo	4.16-15.39

Las variable evaluadas dependen una de la otra, el tiempo dependerá de la velocidad de centrifugación y de la morfología del producto, así como se pude afirmar que las velocidades altas requiere menor tiempo de centrifugación como es el caso de la salchicha, en cambio

a tiempos largos se obtiene una mayor remoción de aceite sin embargo influye la morfología del alimento, como se apreció en el caso de la tortilla debido a la costra que forma el freído, el centrifugado puede causar rupturas en el alimento, así pues, para alimentos como son las salchichas y papas donde su morfología después de freído permite introducirlos al proceso de centrifugación durante un tiempo más amplio (20 min) se cuenta con una mayor porcentaje de remoción. Sin embargo el corte también influye en dicho proceso, cortes de menor tamaño causan un mayor contacto con el área de centrifugación y produce que la remoción de aceite sea en mayor cantidad. Los métodos de centrifugación que se establecieron ayudaron a evaluar las variables de tiempo, velocidad, y características de los alimentos, además de establecer cuáles son las condiciones adecuadas para un proceso de centrifugación, por tanto evidentemente el método con mayor remoción de grasa fue el método continuo, el cual como se apreció en cada uno de los gráficos de las figuras 31 y 34 la mayor remoción de aceite se obtiene a los 5 min, sin embargo al someter dichas muestras a un proceso de centrifugación discontinuo a los 20 min de centrifugación se remueve una mayor cantidad de aceite. Así pues el intervalo de remoción de aceite durante un proceso de centrifugación en alimentos sometidos a proceso de fritura es de 2.16-17.75%.

5.2 Análisis de Composición

El análisis de composición, como se vio en el punto 4.4 consiste en analizar la cantidad de humedad y el contenido de grasa a partir del método Soxhlet, se introdujeron tres presentaciones de cada producto: crudo, freído, centrifugado, a dos velocidades de centrifugado diferente.

Las muestras sometidas al análisis de composición se eligieron de acuerdo a los resultados previos de centrifugación, velocidades y tiempo de centrifugación que presentaron mayor

remoción de aceite. Para tener una mejor percepción de los resultados emitidos de la misma y así conocer que cambio puede suceder, después del proceso de centrifugación. Las tablas 15, 16, y 17 muestran el resumen de dichos análisis sin embargo se analizará de forma más detallada en los siguientes apartados.

Tabla 15. Análisis de composición de papas fritas.

	Papa Cruda	Papa Frita	Vel. 2250 rpm**	Vel. 1587 rpm***
Aceite (%)	0.09	14.25	5.59	8.29
Humedad (%)	81.58	58.09	57.84	57.45

** Método discontinuo; Tiempo: 20 min; Corte: francés

*** Método discontinuo; Tiempo: 5 min; Corte redondo

Tabla 16. Análisis de composición de la tortilla

	Tortilla cruda	Tortilla Frita	Vel. 2905 rpm **	Vel. 2905 rpm***
Aceite (%)	0.0	36.90	15.54	17.71
Humedad (%)	48.37	3.10	2.88	2.85

** Método discontinuo; Tiempo: 10 min; Corte: triangular

*** Método continuo; Tiempo: 5 min; Corte tostada

Tabla 17. Análisis de Composición de Salchicha.

	Salchicha Cruda	Salchicha Frita	Vel. 2905 rpm**	Vel. 2570 rpm ***
Aceite (%)	1.26	8.78	3.55	3.72
Humedad (%)	65.18	64.00	59.27	59.22

** Método continuo; Tiempo: 15 min; Corte: redondo

*** Método discontinuo; Tiempo: 5 min; redondo

5.2.1 Determinación de grasa por el método soxhlet.

Cuando el producto es retirado del aceite caliente, su temperatura y su presión interna disminuye, parte del aceite que está en la superficie es absorbido. Entre el 70 y 80% del aceite total absorbido en láminas de harina, por ejemplo, es succionado cuando el producto se enfría, es decir, es el que está en la superficie del alimento. Del 20 a 30% de aceite se deposita al principio y durante la fritura (Aguilera y Hernández, 1997).

En términos de su composición, la papa está formada principalmente de agua. La composición química de la parte sólida remanente puede variar ampliamente dependiendo de factores como: variedad, madurez, diferencias ambientales, aplicación de químicos y condiciones ambientales (Moya Vasquez, 2011). De acuerdo a los resultados se puede observar que la papa cruda contiene 0.09% de grasa, al freírla 14,25% a su vez la extracción en de aceite en los productos centrifugados en promedio con las tres repeticiones se obtuvo un intervalo de 5- 8% (tabla 15). Cabe recordar que la velocidad se determinó de acuerdo a los resultados emitidos de las pruebas de centrifugación al igual que el tiempo.

Durante el proceso de fritura, la mayor parte del aceite permanece en la región superficial de la pieza de papa, y existe evidencia que es principalmente absorbido cuando las piezas de papa son removidas del medio de fritura, es decir, en el período post-fritura o período de enfriamiento (Bouchon *et al.*, 2003; Troncoso y Pedreschi, 2009). Como se observa en la tabla 15 el contenido de grasa en la velocidad 2250 rpm es menor que la de la velocidad de 1587 rpm lo que implica que un proceso largo de centrifugación en papa frita con un corte francés tiene una mayor eficiencia que un intervalo menor de centrifugación con un corte redondo, sin embargo en ambas condiciones hay una remoción de aceite.

De acuerdo a trabajos anteriores, como el escaldado o blanqueado que consiste en un tratamiento térmico aplicado a frutas y hortalizas antes de algún tratamiento como congelamiento, enlatado, deshidratado o freído, combinado con un secado previo al freído en su extracción de grasa se han obtenido resultados favorables, con un contenido de grasa de 0.2421- 0.2716 g (Moya Vasquinzay, 2011), por lo tanto resulta un mejor tratamiento que la centrifugación en este producto, sin embargo la centrifugación cumple con remover cierta cantidad de aceite absorbido durante el proceso de freído.

En la tabla 16 se puede observar los resultados que se obtuvieron de la extracción de grasa para tortilla, la cual al freírse aumenta de manera considerable un 36.90%, y de acuerdo con Morales-Pérez y Vélez-Ruiz (2010) el contenido de grasa en tortillas fritas va de un 22 a 28% en tres marcas analizadas (Charras, Delicias, y Milpa Real) que es similar a los chips de tortilla reportados por Moreira et al. (1995a, 1995b, 1995c) de 20 a 28%, con excepción de la marca Totopos (grasa > 35%), contienen una cantidad de grasa propia de este tipo de productos fritos. Por tanto se acerca la determinación que se efectuó, considerando que se hizo de forma “casera” y Moreira y Palau, (1997) mostraron que el 80% del aceite permanecía en la periferia y cerca del 20% adentro, 65% de este aceite superficial penetra en la corteza cuando se enfría la tortilla (Luján-Acosta y Moreira, 1997; McDonough *et al.*, 1993; Pedreschi y Aguilera, 1999a).

Las muestras que se introdujeron a la centrifuga prototipo, reportan un contenido de aceite de 15.54% y 17.71% lo que indica que hubo un remoción de aceite de aproximadamente del 50%, al igual que en papas hay estudios para disminuir la absorción de aceite durante el proceso de freído, para tortilla se han realizado trabajos de secado con aire como tratamiento previo al freído “la aplicación del secado, previo al freído, contribuyó a elaborar un producto con un menor contenido de grasa, y con una humedad propia de este tipo de

productos” obteniendo contenido de grasa un rango de 9.1 a 17.3%, dependiendo de las condiciones de operación. (Morales-Pérez y Vélez-Ruiz, 2010), siendo ambos resultados similares, así pues se puede denotar que ambos métodos son efectivos para remoción de grasa.

En general la composición de las salchichas varía de marca a marca: mientras unas contienen carne de cerdo, otras llevan pavo, pollo o alguna mezcla de éstos; su ingrediente principal, sin embargo, es el agua (70% aproximadamente), y además de la carne y las sales de curado (nitritos), las diversas marcas añaden fosfatos y otros ingredientes como proteínas no cárnicas (principalmente de soya), almidones y grasas (casi siempre de cerdo) (PROFECO, 2007) de acuerdo a los análisis efectuados se obtuvo un porcentaje del 1.26% en salchicha cruda, al freírse el contenido de grasa resultó de 8.78% y al someterlas al centrifugado, denota un 3.55% y 3.72 %, de acuerdo a análisis efectuado por la PROFECO (2007) la salchicha fud de pavo reporta un contenido de grasa de 11%, sin embargo, se realizó en una muestra mayor. Se puede observar de acuerdo a los resultados que el método de centrifugación en este producto independientemente de las condiciones (tiempo, velocidad, método de centrifugación) la remoción de aceite es similar de un 5% aproximadamente, confirmando que de los tres productos que se sometieron a las pruebas, se define como el más estable.

5.2.2 Determinación de humedad

En la determinación de humedad que se realizó se puede observar el contenido de humedad que presentaron los productos sometidos a la experimentación, los resultados se muestran en las tablas 15, 16, y 17 .La salchicha está elaborada con altos contenidos de agua (PROFECO, 2007) la salchicha cruda presenta un 65.18% de humedad; en el trabajo de Morales-Pérez y Vélez-Ruiz, (2010) se reporta que una tortilla promedio contiene 48.8

% de humedad según datos de Instituto Nacional de la Nutrición de México, y se reporta un 48.37% lo que indica que coincide en el contenido de humedad previo a algún proceso de freído. En términos de su composición, la papa está formada principalmente de agua (Moya Vasquinzay, 2011) en el análisis previo que se realizó se afirma que la papa contenía un 81.58% de humedad.

Como se mencionó en el capítulo 2 el proceso de freído, causa diversas modificaciones tanto físicas como químicas en los alimentos. “Las altas temperaturas provocan la deshidratación de los alimentos, parcial en el caso de las carnes y casi total en el de botanas, lo que ocasiona la absorción de aceite en los espacios que deja el agua (en las papas llega hasta un 40%) (Badui, 2006). En las tablas antes mencionada se observó claramente que el contenido de humedad disminuye notablemente después de haber introducido a los productos a un proceso de freído por inmersión. De acuerdo a Moreira et al. (1997), la ganancia de aceite en productos fritos es mayor cuando el contenido de humedad es alto al inicio del proceso, porque al freír un alimento que ha sido reducido previamente en su contenido de humedad, hace que la absorción de aceite sea menor (Morales-Pérez y Vélez-Ruiz, 2010) y en efecto en cuando el alimento se adiciona al aceite caliente la temperatura del aceite desciende, la humedad superficial del alimento forma vapor rápidamente, mientras que el agua en el interior de él se difunde hacia la superficie, para finalmente pasar a la fase de vapor y viajar a través del aceite de freído hacia el aire atmosférico, lo que se evidencia por la presencia de burbujas en el seno del aceite (Rojas Uribe y Narváez Rincón, 2011).

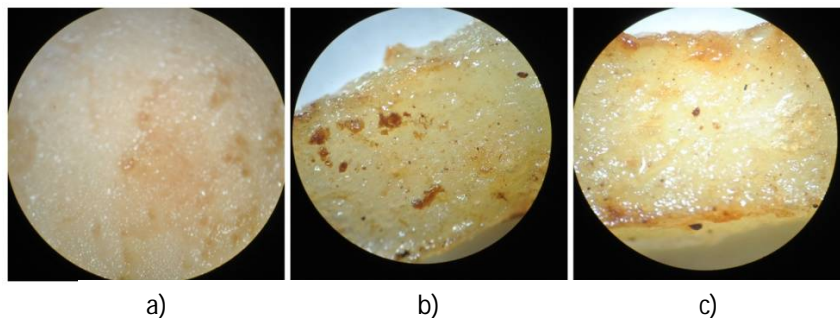
La papa posterior de haberse sometido a un proceso de freído disminuye un 23% y no hay una variación considerable después de haberla centrifugado (tabla15), en el caso de la salchicha no hubo cambios significativos, se puede apreciar en la tabla 17 que disminuye

después de haberla freído, sin embargo, se puede observar que hay un pequeño incremento, lo cual indica que las muestras que se sometieron a esta prueba probablemente no tuvo un freído uniforme, a pesar de ello el porcentaje de humedad oscila entre 59 al 65%. La velocidad de transferencia de masa de agua está determinada por varios factores, algunos de los cuales no están completamente claros. Transcurrido el periodo inicial en que el alimento aumenta su temperatura inicial a la del punto de ebullición del agua y se evapora la humedad superficial, el agua se transfiere del centro al frente del producto, causado por una evaporación por difusión forzada debido al gradiente de humedad formado entre el interior y el exterior, ya que en este último, la humedad disminuye a menos del 2% y comienza así la formación de la corteza deshidrata, misma que alcanza la temperatura del aceite (Singh, 1995). Esto se puede confirmar con el freído de la tortilla la cual hace una especie de costra en su superficie, en la tabla 15 se observa la disminución de humedad después de haber freído es de evidente ya que disminuye más de un 50%.

5.3.3 Análisis micro estructural y de imagen

La suposición de una estructura uniforme es la primera suposición de una red capilar lineal, misma que debe ser desarrollado después para considerar variaciones locales de la estructura (Aguilera y Stanley, 2000). Aguilera y Lillford, 1997 definen que la porosidad del alimento es un factor importante que afecta principalmente la entrada de aceite aunque también tiene efecto en la salida de agua (Moreira y Palau, 1995^a). En contraste en un alimento la porosidad generada no es de forma lineal y no está exenta de ramificaciones.

La papa es un tubérculo por tanto su estructura es porosa, contiene un porcentaje de humedad, debido que en el proceso de freído existe un intercambio de agua con aceite, en el análisis estructural que se realizó a papa cruda, papa frita y papa centrifugada se puede observar en la figura 35.



a)

b)

c)

Figura 35. Análisis micro estructural de papa

a) papa cruda b) papa frita c) papa centrifugada

En el inciso a) se presenta la papa cruda en donde se puede observar gotas de agua en su superficie, por otra parte cuando se fríe en el inciso b), se nota la presencia del aceite absorbido durante el proceso de freído por el contrario; en el inciso c) se observa una disminución de brillo que se puede apreciar en el producto frito, producido por la absorción de aceite y no solo en la parte micro estructural se puede observar en la figura 35 es una característica que se aprecia a simple vista. Sin embargo, se notan algunas erupciones provocadas también por la interacción que existe entre el aceite y el agua contenida en la papa. En la figura 36 se observa dicho producto en el corte redondo antes de centrifugar y después de centrifugar, como se aprecia el brillo que provoca el aceite durante el freído es el único cambio visible.

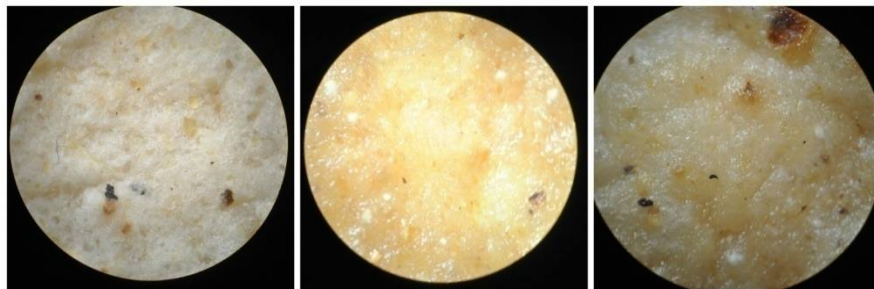


a)

b)

Figura 36. a) Papas fritas b) centrifugadas

La tortilla regularmente antes de freírla lleva una cocción previa lo que provoca que en su superficie exista una cierta porosidad, y a su vez se conforma de dos capas, una más delgada que la otra, la cual al pasar por el proceso de freído se vuelve más frágil, dado a que existe cierto espacio entre ambas capas. El aceite que se impregna durante el proceso de freído se almacena una cantidad considerable en ese espacio, y la superficie se torna de color dorado y con un brillo propio que deja el freído, por el aceite consumido, como se muestra en la figura 37, inciso b), por otra parte después de haberlo sometido al proceso de centrifugado, el brillo disminuye, lo que se puede deducir que el aceite que se queda en la superficie es la que disminuye en dicho proceso, tal se observa en el inciso c).



a)

b)

c)

Figura 37. Análisis micro estructural de la tortilla.

a) Tortilla sin freír b) Tortilla Frita c) Tortilla centrifugada

En la figura 38 podemos observar como a simple vista el único cambio es el brillo que deja el aceite en la superficie en la imagen a) y en la imagen b) es el producto que se ha centrifugado.

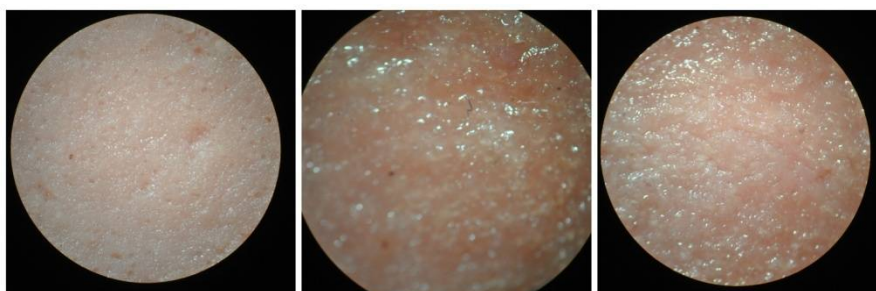


a)

b)

Figura 38. Tortilla a) frita y b) centrifugada

La salchicha se trata de un embutido con un proceso de pre –cocción, por tanto cuenta con un color rosado, al introducirlo al aceite caliente en algunas ocasiones se forman burbujas o bien una especie de grietas como se observa en la figura 39 inciso b), observándose también un brillo que como ya se ha observado es característico del aceite que se absorbe durante el proceso de freído. Así pues en el inciso c) se observa el producto después de haberse sometido al proceso de centrifugado, físicamente se puede delimitar que su apariencia, no tiene cambios notorios, solo disminuye la intensidad de brillo lo que denota que si existe una disminución de la cantidad de aceite absorbido.



a)

b)

c)

Figura 39. Análisis microestructural de Salchicha

a) Salchicha sin freír

b) Salchicha Frita

c) Salchicha centrifugada

Capítulo 6

Conclusiones

La centrifugación es una operación unitaria utilizada primordialmente en la industria como método de separación de fases, y en la industria alimentaria no es la excepción, sin embargo se intenta innovar esta técnica para darle un uso no solo a nivel industrial, sino también doméstico, ya que debido a las diversas actividades que se realizan en la vida cotidiana, la alimentación se ha hecho desordenada lo que influye que existan enfermedades.

La centrifugación en alimentos fritos produce una disminución en la cantidad de aceite que se absorbe en el proceso de freído, debido a los giros que se producen debido a la fuerza centrífuga, las condiciones de centrifugación dependerá del tipo de alimento que se requiera someter, tomando en cuenta sus características físicas, el tipo de corte, entre otros, ejemplo de ello fue la eficiencia que se obtuvo para los tres alimentos centrifugados, varía el tiempo de centrifugación así como la velocidad.

La eficiencia del equipo de centrifugación dependerá de las variables antes mencionadas (tipo de alimento y corte principalmente), sin embargo este remueve aceite, mismo que se queda almacenado en la periferia de la canasta, donde se introduce el alimento.

Así también se puede confirmar que el proceso descriptivo del freído, es decir, el intercambio que existe entre el agua contenido en los alimentos, y el aceite es correcto, así como la formación de túneles que son provocados por las altas temperaturas y cubiertos también por el aceite. Esto se observa en el porcentaje de humedad que los productos sometidos a fritura disminuye después de finalizarlo y su peso aumenta esto se puede observar en los productos que fueron sometidos a un centrifugado continuo.

Si bien a simple vista se observa que las características físicas no varían significativamente, a nivel microscópico se puede confirmar, en su mayoría los productos que pasan por proceso de freído debido a la absorción de aceite adquieren un brillo, en su superficie, al introducirlos a la centrifuga, el brillo que adquieren disminuye, es la principal característica que se observa durante la experimentación.

Se recomienda un análisis estructural más detallado para verificar los niveles de impregnación de aceite, los cuales son removidos con el proceso de centrifugación. Al igual evaluar posibles cambios sensoriales de alimentos sometidos a una centrifugación.

La centrifugación cumple con remover una cierta cantidad de grasa, sin embargo existen procesos que su función principal es disminuir la cantidad de aceite que absorben los alimentos durante el proceso de freído tal como es el secado o escaldado previos, lo que indicaría que el proceso de centrifugación pudiera ser complemento para dichos procesos.

Referencias Bibliográficas

- Aguilera J.M Y Hernández, G.1997. Determination of oil in fried potato products by differential scanning colorimetry J, Agric Food Chem.
- Aguilera J., M., Stanley D., W.2000. Microstructural Principles of Food Processing and Engineering, Aspen publishers, USA.
- Aguilera, J. M., Y Lillford, P. J.1997. Microstructural and imaging analysis as related to food engineering. In P. Fito, E. Ortega Rodríguez, & G. Barbosa-Canovas (Eds.), Food engineering 2000 (pp. 23–38). London: Chapman & Hall.
- Alvis, A., I. Caicedo Y P. Peña. 2010. Determinación del coeficiente de transferencia de calor a través de una aplicación de computadoras. Información Tecnológica 21(5), 13-20.
- Anzaldúa-Morales, A. 1994. La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la Teoría y la Práctica. Acribia. Zaragoza, España.
- Badui, Dergal S. 2006. Química de los alimentos, México: Pearson Educación.
- Baumeister, Theodore et al. Marks. 1992. Manual del ingeniero mecánico. 8ed. México: McGraw-Hill, p. 2-10, 2-15, 3-15, 3-18.
- Bouchon, P. Aguilera, J.M. y Pyle, D.L. 2003. Structure oil-absorption relationships during deep-fat frying. Journal of Food Science. 68: 2711-2716.
- Bouchon, P. 2002. Modeling oil uptake during frying. Thesis submitted as a partial fulfillment for the degree for Doctor of Philosophy. University of Reading, School of Food Biosciences.
- Centrifugación Y Centrifugadores.2014. disponible en URL: <http://www.lenntech.es/centrifugacion.htm>, [consulta 27 de abril 2014].
- Charm, Stanley E.1971. Fundamentals of food engineering. West Port, Conn.: The AVI Publishing, p.520-523.
- Costa, R.M., F.A.R., Oliveira, O. Delaney y V. Gekas.1999. Analysis of the heat transfer coefficient during potato frying, Journal of Food Engineering: 39(3), 293-299.
- ENSANUT, Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012, Disponible en URL: <http://ensanut.insp.mx>. [consulta 18 de abril 2014]
- Facultad de Química, UNAM, Procesos de Separación, Disponible en URL: <http://depa.fquim.unam.mx/procesos>, 2009. [consulta 17 de mayo 2014]

- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura, disponible en URL: <http://www.fao.org/home/es/>, [consulta 13 de mayo 2014]
- Farkas, B. E. Y L.J.2000. Hubbard; Analysis of convective heat transfer during immersion frying drying. *Journal of Food Technology*: 18(5), 145 -151.
- Farkas, B. E., Singh, R. P., Rumsey, T. R. 1996. Modeling heat and mass tranfer inimmersion frying. I, Model development, *Journal of food Engineering*. 29: 211, 226.
- Fellows. P. 1994.Tecnología del procesado de los alimentos. (Principios y prácticas), Editorial Acribia, S.A., Zaragoza-España, pp 343-352.
- Flottweg, Separation Technology, Disponible en URL: <http://www.flottweg.de/spain/inicio/home.html>, [consulta 17 de mayo 2014]
- Gamble, M. H., Rice, P., Selman, J. D. 1987. Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from., *Journal Food Science Technology*, Vol. 22, No. 6, pp. 233-241.
- Gamble, M.H. Y Rice, P.1987. Effect of pre-drying on oil uptake and distribution in potato chip manufacture. *Journal of Food Science and Technology*, 22, 535-540, 542.
- Gupta, M. K. 2004.The Effect of Oil Processing on Frying Oil Stability., En: Gupta, M. K., Warner, White P. J., (ed.), *Frying technology and practices.*, AOCS Press., Champaign.
- LACOMET, Laboratorio Costarrisense de Metrología, disponible en URL: <http://www.lacomet.go.cr/index>, [Consulta 21 de enero 2015]
- Lawson Harry. 1994. Aceites y grasas alimentarios: tecnología, utilización y nutrición. Trans. Francisco Javier Carballo García. Zaragoza: Acribia.
- Lujan-Acosta, F. J., Y Moreira, R. G. 1997. Effects Of Drying Processes On Oil Absorption And Microstructure Of Tortilla Chips. *Cereal Chem*. 74:216- 223.
- McCabe Warren L, Smith Julian C, HARRIOTT Peter. 2007. Operaciones Unitarias En Ingeniería Química. Trans. Alejandro Carlos Piombo Herrmaría Aurora Lanto Arriola. México: Mcgraw-Hill.
- McDonough, C. M., M. H. Gómez, J.K. Lee, R. D. Waniska, y Rooney, L. W. 1993. Environmental Scanning electron microscopy evaluation of tortilla chip microstructure during deep- fat frying *J. Food Sci.*, (53) (1): 199-203.
- Mellema, M. 2003. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Food Science and Technology*. 14: 364-373.

- Morales-Pérez, J., Sosa-Morales, M.E. Y Vélez-Ruiz. 2006. J.F., Study Of A Combined Method (Drying And Frying) For Toasted Tortilla Manufacturing. 13th World Congress Of Food Science And Technology (Iufost). Nantes, Francia. September 17-21.
- Moreira, R.G., Castell-Perez, M.E. Y Barrufet, M.A.1999., Low-Fat Tortilla Chips. En Deep-Fat Drying. Fundamentals And Applications. Pp. 275-313. Aspen Publishers Inc. Gaithersburg, ML, EU.
- Moreira, R.G., Palau, J. E., y Sun, X. 1995a. Deep-fat frying of tortilla chips: An Engineering Approach. Food Technology, 4, 146-150.
- Moreira, R.G., Palau, J. y Sun, X., 1995b. Simultaneous heat and mass transfer during the deep fat frying of tortilla chips. Journal of Food Process Engineering, 18, 307-320.
- Moreira, R.G., Sun, X. y Chen, Y. 1997., Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep-fat frying. Journal of Food Engineering.
- Moya Vasquinzay, K. P, 2011.Determinación de la Calidad en papa tipo french Fries mediante visión computacional y Estudio de sus propiedades Físicas, Tesis de Licenciatura, Universidad de Chile.
- Munive Reyes A. R., Santacruz Vázquez C. 2013. Operación de dispositivo de retención de aceite a microescala para alimentos.
- Norma Oficial Mexicana, NOM-187-SSA1/SCFI-2002, Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial. Métodos de prueba, disponible en URL: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/187ssa1scfi02.html> [consulta 20 de junio 2014]
- Norma Oficial Mexicana, Norma oficial mexicana nom-086-ssa1-1994, bienes y servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales. Disponible en URL: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/086ssa14.html> [consulta 20 de junio 2014]
- Pedreschi F., y Aguilera J.M., Brown CA. 2000. Characterization of food surfaces using scale- sensitive fractal analysis. Journal of food Process Engineering, 23, 127-143.

- Pedreschi F., y Aguilera J.M., y Arbildua J.J.1999. CLSM study of oil location in fried potato slices. *Microscopy and Analysis* 37; 21-22.
- Potter Norman N., Hotchkiss Joseph H. 1999.Ciencia de los Alimentos. Trans. Bernabé Sanz Pérez. [et al.]. Zaragoza: Acribia.
- PROFECO, El laboratorio PROFECO reporta: Salchicha., Diciembre 2007., disponible en http://www.profeco.gob.mx/revista/pdf/est_07/38-47%20LAB%20SALCHICHASOKMM.pdf., [consulta 27 de enero 2015]
- Ramírez P. A., Alvarez M. F. y Correa P.A. 1998.La Centrifugación como sistema separador de agua y café en un proceso continuo, *Rev .Fac.Nal.Agr.Medelln. Vol.SI NO.2. p.65 -R6.*
- Ranken. M. D. 1993. Manual de industrias de los alimentos. Trans. Perdo Ducar Maluenda. Zaragoza: Acribia.
- Reeve, R. M., y Notter, G. K., 1959. An improved microscopic method for counting ruptured cells in dehydrated potato products. *Food Technol.* 13,574.
- Revista Virtual Pro, Algunas operaciones unitarias aplicadas a la industrias de alimentos, Octubre 2011, disponible en URL: <http://www.revistavirtualpro.com/revista/algunas-operaciones-unitarias-aplicadas-a-la-industria-de-alimentos/40>, [consulta 28 de mayo
- Rice, P. y Gamble, M. H., 1989 , Technical note: Modelling moisture loss during potato slice frying, *Journal of Food Science and Technology*, 24: 183-197
- Robinson Linares, Ariane. 2010. Reducción del contenido de aceite en barras de pescado capeadas fritas, Tesis de Licenciatura, UDLAP.
- Rojas Uribe, R. H. y Narváez Rincón, P. C.2011. Método de análisis de calidad del aceite durante el freído por inmersión para pequeñas y medianas empresas, *Ingeniería e Investigación*, Vol 31, No 1.
- Saguy, I.S y Pinthus, E. J. 1995. Oil uptake during deep- fat frying: factors and mechanisms. *Food Technology*, 49 (4): 142-145, 152.
- Santacruz- Vázquez Claudia, Santacruz- Vázquez Verónica, Luna Cerón H. 2011. Determinación de los cambios morfométricos, a partir de la dimensión fractal y su relación con los parámetros fisicoquímicos de un producto de harina de trigo en forma laminar durante el proceso de freído por inmersión. *Superficies y vacío.*

- Sigurgisladdottir, S., Hafsteinsson, H., Jonsson, A., Lie O., Nortvedt, R., Thomassen, M. y Torrissen, O.1999., Textural properties of raw salmon fillets as related to sampling method. J. Food Sci., 64: 99-104.
- Singh, R. P, 1995. Heat and mass transfer in foods during deep- fat frying. Food Technology. 49 (4): 134-137
- Sosa- Morales María Elena. Vélez Ruiz Jorge F. 2009. Food processing and engineering topics New York: Nova Science Publishers.
- TRONCOSO, E., Pedreschi, F., Zúñiga, R.N. 2009. Comparative study of physical and sensory properties of pre-treated potato slices during vacuum and atmospheric frying. Food Science and Technology. 42: 187-195.
- Ufheil, G. y Escher, F. 1996. Dynamics of oil uptake during deep- fat frying of potato slices., Lebensm. Wiss. Technol, 29, 640-644.
- Whitaker, S.1977. Simultaneous heat, mass and momentum transfer in porous media: a theory of drying. In Advances in Heat Transfer: 13, 119-203.
- Yagüe, M. A., Estudio de la Utilización de Aceites para Fritura en Establecimientos Alimentarios de Comidas Preparadas., Observatorio de la Seguridad Alimentaria., Septiembre, 2003., En internet: <http://magno.uab.es/epsi/alimentaria/mangelesaylon.pdf>. [Visitada el 26 Agosto de 2008.]

Índice de Figuras.

Figura 1. Estructura química de compuestos que forman las grasas y aceites	11
Figura 2. Estructura de Ácido Oleico	12
Figura 3. Proceso de hidrólisis en triglicéridos	13
Figura 4. Los dobles enlaces característica principal de la hidrogenación	13
Figura 5. Ejemplo de mecanismo de polimerización	15
Figura 6. Proceso básico de extracción de aceite	19
Figura 7. Clasificación de Sustancias consideradas lípidos	20
Figura 8. Freidora Industrial	23
Figura 9. Freidora Casera	23
Figura 10. Esquema simplificado del proceso de transferencia de Masa y Calor durante la Fritura de alimentos.	26
Figura 11. Transferencia de masa y energía	32
Figura 12. Esquema de Fuerza centrífuga y fuerza centrípeta	37
Figura 13. Fases en la sedimentación.	38
Figura 14. Esquema de Hidrociclón.	40
Figura 15. Esquema de Campana tubular centrífuga	41
Figura 16. Esquema de Cámaras-campana de centrifugación	42
Figura 17. Esquema de Centrifugador de cesta perforada	43
Figura 18. Esquema de Separador de discos	44
Figura 19. Esquema de las partes de un decantador	45
Figura 20. Diagrama del proceso de aceite de oliva	50
Figura 21. Diagrama de elaboración de surimi	51

Figura 22. Producción de almidón	52
Figura 23. Producción de Policloruro de vinilo.	53
Figura 24. Procesamiento de lodos	54
Figura 25. Condiciones de freído (110 ± 0.5 mL / 100 ± 5 °C)	56
Figura 26. Centrifuga Prototipo vista frontal y lateral.	58
Figura 27. Centrífuga Prototipo vista superior	59
Figura 28. Diagrama de proceso de freído y centrifugado en alimentos.	62
Figura 29. Remoción de aceite en papas fritas con un corte francés, método discontinuo.	64
Figura 30. Remoción de aceite en papas fritas con un corte redondo, método discontinuo.	64
Figura 31. Remoción de aceite en tortilla frita corte redondo (tostada) método continuo	67
Figura 32. Remoción de aceite en tortilla frita corte triangular (totopo), método discontinuo.	68
Figura 33. Remoción de aceite en salchicha corte redondo método discontinuo	71
Figura34. Remoción de aceite en salchicha corte redondo método continuo,	71
Figura 35. Análisis micro estructural de papa	81
Figura 36. a) Papas fritas b) centrifugadas	82
Figura 37. Análisis micro estructural de la tortilla.	83
Figura 38. Tortilla a) frita y b) centrifugada	83
Figura 39. Análisis microestructural de Salchicha	84

Índice de Tablas

Tabla 1. Cortes de productos para experimentación	55
Tabla 2. Tiempo de fritura por producto	57
Tabla 3. Cantidad para cada producto que fue sometido al proceso de centrifugación en (g)	57
Tabla 4. rpm de cada velocidad de centrifugación	58
Tabla 5. Alimentos que se someten a método continuo y discontinuo	59
Tabla 6. Tasa de remoción de aceite en papas fritas corte redondo, método discontinuo.	66
Tabla 7. Intervalos de remoción de aceite en papa en diferentes cortes	66
Tabla 8. Intervalos de remoción de aceite en tortilla Con diferentes cortes y diferentes método.	68
Tabla 9. % de remoción total en tostada método continuo	70
Tabla 10. Comparación de la tasa de remoción de aceite en tortilla con diferente corte y diferente método a una vel. De 2905 rpm	70
Tabla 11 Intervalos de remoción de aceite en salchicha mismo corte y diferente método.	72
Tabla 12. % de remoción total en salchicha método continuo	73
Tabla 13. . Comparación de la tasa de remoción de aceite en salchicha con diferente método.	73
Tabla 14. Resumen de datos experimentales	74
Tabla 15. Análisis de composición de papas fritas	75
Tabla 16. Análisis de composición de la tortilla	76
Tabla 17. Análisis de Composición de Salchicha.	76