



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

INCORPORADA A LA UNAM

PROPUESTA DE MEJORA PARA EFICIENTAR EL PROCESO DE
FREIDO PROFUNDO EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS

T E S I S P R O F E S I O N A L

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

QUÍMICA FARMACÉUTICA BIÓLOGA

P R E S E N T A :

LAURA ESTELA MUCIÑO SOLIS

DIRECTOR DE TESIS: MTRO. MARCOS FRANCISCO BÁEZ FERNÁNDEZ

MEXICO, D. F.

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESIS

C. DIRECTOR GENERAL DE INCORPORACIÓN Y
REVALIDACIÓN DE ESTUDIOS

U N A M
PRESENTE

Me permito informar a usted que la tesis titulada: _____

PROPUESTA DE MEJORA PARA EFICIENTAR EL PROCESO DE FREIDO PROFUNDO EN LA
INDUSTRIA DE ALIMENTOS

Elaborada por:

MUCIÑO

Apellido Paterno

SOLIS

Apellido Materno

LAURA ESTELA

Nombre (s)

Alumno(a) de la carrera de QUIMICA FARMACEUTICA BIOLOGA

No. de Cta. 82716944-7

reúne los requisitos académicos para su impresión.

10. de septiembre 20 11.

MTRO. MARCOS FRANCISCO BAEZ FERNANDEZ

Nombre y firma del
Asesor de Tesis



Sello de la
Institución
UNAM

M. en C. JOSE ELIAS GARCIA ZAHOUL

Nombre y firma del
Director de la Escuela ó
Facultad

AGRADECIMIENTOS

A Dios por estar conmigo en todo momento, por lo años vividos, por la experiencia adquirida, por la fuerza y empuje que generó en mí permitiéndome concluir este ciclo.

A mi mamita linda, mi gran guerrera, mi amiga, mi confidente, mi muñequita hermosa...mi TODO. Hasta el último momento me enseñaste a seguir adelante, a ser fuerte, valiente, a luchar por lo que quiero, a no dudar, a estar segura de mí y a caminar con la frente en alto. A ti te debo lo que soy...gracias por darme la vida y compartirme contigo. Te amo!

A mi papá por todo lo que para mí representa : fortaleza, carácter, dedicación, inteligencia, tenacidad, lucha constante, seguridad. Gracias por apoyarme en los momentos difíciles, por las grandes enseñanzas que me has dado y por estar a mi lado. Sigues siendo un gran maestro para mí...te amo y te honro.

A mis hermanas, Sandra y Alejandra, por su presencia, sus oraciones, sus palabras de aliento, su amor infinito y confianza.

A mis sobrinitas, Gaby y Marianita, por existir...por darme alegría pero sobretodo por estar en mi vida.

ÍNDICE

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción	4
1.2. Objetivos	7
1.2.1. Objetivo General	7
1.2.2. Objetivos Específicos	7

CAPITULO II

ACEITES Y GRASAS

2.1. Antecedentes	8
2.2. Importancia de aceites y grasas en el proceso de freído	18
2.3. Aceites y grasas utilizadas en el proceso de freído industrial	21
2.4. Características físico-químicas en el aceite para freír	28
2.5. Impacto de tocoferoles y tocotrienoles en aceites de freído	44
2.6. Hidrogenación y ácidos grasos trans	46
2.6.1. Alternativas de ácidos grasos trans	51

CAPITULO III

PROCESO DE FREÍDO PROFUNDO

3.1. Definición del proceso	54
3.2. Cambios físicos y químicos durante el proceso de freído	59
3.2.1. Cambios físicos	60

3.2.2. Cambios químicos	64
3.3. Afectaciones en la calidad del aceite de freído y producto frito	71
3.3.1. Cambios en el aceite o grasa de freído	74
3.3.2. Cambios en el producto frito	75
3.4. Selección del aceite o grasa de freído	77
3.4.1. Medición de la calidad del aceite o grasa de freído	81
3.5. Procedimientos para el manejo del aceite o grasa en la operación de freído	83
3.6. Equipo	98
3.7. Aditivos	102

CAPITULO IV

OPTIMIZACIÓN EN EL PROCESO DE FREÍDO

4.1. Proceso de freído adecuado	108
4.1.1. Aceite	108
4.1.2. Equipo	110
4.1.3. Proceso	111
4.2. Filtración	117
4.3. Manejo del aceite usado	121
4.4. Agentes que causan la descomposición del aceite o grasa	122
4.5. Guía de solución de problemas	124

CONCLUSIONES	128
RECOMENDACIONES	131
BIBLIOGRAFIA	133
ÍNDICE DE TABLAS	141
ÍNDICE DE FIGURAS	143
ÍNDICE DE CUADROS	144

CAPÍTULO I

1.1 Introducción

El freído es una de las técnicas más antiguas en la preparación de los alimentos. Se han encontrado pruebas del uso de este proceso en las civilizaciones egipcias y romanas. El freído doméstico comúnmente utilizado por los consumidores se realiza en sartenes o planchas con una pequeña cantidad de aceite o grasa y utilizando un medio externo de calentamiento. Posteriormente se descubrió el freído por inmersión el cual hace referencia a una técnica utilizada por los Romanos que llamaron “hirviendo en aceite”. Este proceso siguió desarrollándose a través de los siglos por las diferentes culturas hasta alcanzar la era moderna. El freído comercial por inmersión se utiliza tanto en restaurantes de comida rápida como en instituciones para obtener alimentos fritos de manera inmediata.

En la industria de alimentos, el freído es el proceso de inmersión por lotes en freidores continuos de banda¹ donde posteriormente los alimentos fritos son empacados para su posterior distribución y comercialización.

¹ Becerra Riqué, José. (2008). Control de calidad de aceites y mantecas de freído. ANIAME. Vol. 13. Num. 62. México.

Las mejoras que se han realizado tanto en los materiales de empaque así como en las técnicas propias del proceso de empackado han contribuido al incremento en la vida útil de los productos fritos ayudando a su distribución y en el caso de productos pre-fritos, han permitido reducir costos y mejorar procesos de operación en restaurantes².

Los procesos de extracción y refinación de aceites y grasas comestibles han tenido cambios significativos en las últimas tres décadas incidiendo de manera positiva en su calidad y estabilidad a la oxidación. Los aceites y grasas utilizadas en el proceso de freído profundo deben cumplir con ciertas características físico-químicas, sobretodo de estabilidad, ya que las altas temperaturas a las cuales se fríe (180 – 200°C) acentúan los fenómenos de degradación repercutiendo en el proceso, rendimiento, costos y finalmente en sabor, olor, textura, valor nutrimental y vida de anaquel del producto frito.

Aún cuando se cuenta con equipos de freído eficientes, aceites o grasas de buena calidad, empaques mejorados y excelentes sistemas de distribución, se tiene muy poco avance en el entrenamiento del personal responsable de la operación de freído. De todos los componentes involucrados en el proceso de freído, el aceite o grasa es el que tiene mayor impacto en la estabilidad del sabor del producto frito. Desafortunadamente el personal operativo en las plantas industriales de

² Marsh, K.S. (2001). Influence of product orientation on shock resistance of snack foods. Packaging Technol. Eng. 8:36

alimentos no está suficientemente entrenado como para aplicar técnicas apropiadas que les permitan mantener una calidad óptima del aceite o grasa durante todo el proceso.

El personal responsable de la operación de freído necesita conocer las propiedades físicas y químicas del aceite así como el impacto del proceso de freído en la calidad del mismo para protegerlo de daños indebidos y evitar prácticas o técnicas que originen su degradación.

De lo anterior, cabe preguntarse:

- ¿Cuáles son los criterios a considerar para la selección de los aceites o grasas comestibles en el proceso de freído profundo?
- ¿Cuáles son las condiciones de proceso óptimas para asegurar y garantizar la calidad del producto frito? Y
- ¿Cómo se puede optimizar el manejo del aceite o grasa en el proceso de freído profundo redituando en un mayor rendimiento y por ende en reducción de costos?

Este documento muestra la importancia del uso adecuado de los aceites y grasas comestibles en el proceso de freído profundo dentro de la industria de alimentos desde el punto de vista físico-químico, sensorial y de estabilidad a la oxidación, así como los factores a considerar para el manejo del aceite optimizando el proceso de freído y asegurando la calidad del producto terminado.

1.2 Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Proponer mejoras para hacer más eficiente el proceso de freído profundo en la industria de alimentos desde el punto de vista de calidad del aceite o grasa, condiciones de proceso y rendimiento.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Proponer la optimización del uso adecuado del aceite o grasa comestible en el proceso de freído profundo para asegurar la calidad del producto terminado.
- Determinar los factores a controlar para realizar un adecuado proceso de freído profundo.
- Señalar, a través de una guía seleccionada, posibles soluciones a problemas frecuentes en el proceso de freído profundo.

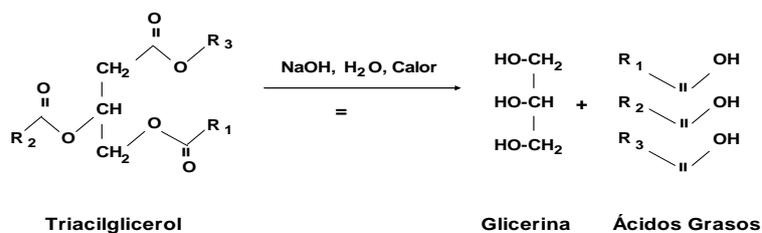
CAPÍTULO II

ACEITES Y GRASAS

2.1 Antecedentes

Los aceites y grasas comestibles son compuestos orgánicos constituidos principalmente por triglicéridos (también llamados triacilglicéridos), en donde una molécula de glicerina o glicerol se encuentra unida a tres ácidos grasos a través de un grupo acilo (ver Fig. No. 1).

Figura No. 1.- Estructura de un Triacilglicérido

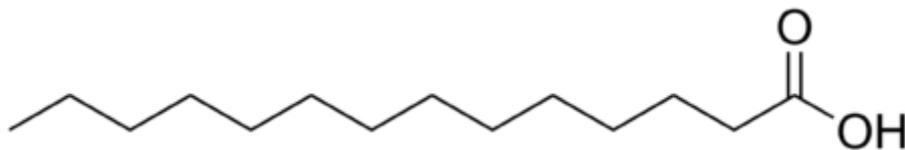


Fuente : Frank, D.G. (2004). The chemistry of oils and fats. CRC Press

Los ácidos grasos otorgan las características físicas y químicas propias a cada aceite. La longitud de cadena de los ácidos grasos varía

entre 4 y 24 átomos de carbono, además de que éstos pueden contener o no dobles enlaces; en base a ello, pueden ser³ :

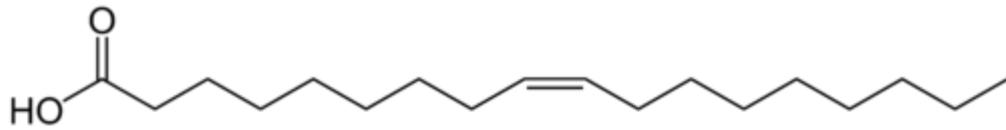
- Ácidos grasos saturados : La cadena hidrocarbonada se encuentra llena de hidrógenos por lo que todos los enlaces entre sus átomos de carbono son simples, es decir, sin ningún doble enlace, lo que se traduce en una estructura rectilínea de la molécula. Este tipo de ácidos grasos son comunes en animales y tienen punto de fusión elevado por lo que son sólidos a temperatura ambiente. Ejemplo : ácido palmítico, ácido esteárico y ácido mirístico.



Ácido Mirístico

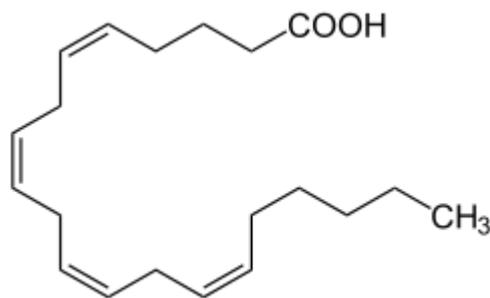
- Ácidos grasos mono-insaturados : Son aquellos que poseen un solo doble enlace carbono-carbono (-CH=CH-). Un ejemplo es el ácido oleico presente en la mayor parte de las grasas vegetales, también conocido como omega-9.

³ Rjah, K.K. (2002). Fats in Food Technology. Sheffield Academic Press.



Ácido Oleico

- Ácidos grasos poli-insaturados : Poseen más de un doble enlace entre sus carbonos. Dentro de este grupo se encuentra el ácido linolénico (conocido también como omega-3) y el linoleico (omega-6) que son esenciales para el ser humano. Se encuentran en aceites como soya, girasol, maíz y pescado.



Ácido Araquidónico

En función a los ácidos grasos y al grado de insaturación que presenten, las grasas serán saturadas o no saturadas. Las saturadas son sólidas a temperatura ambiente y están formadas por cadenas de más de ocho átomos de carbono y se considera que éstas elevan los niveles plasmáticos de colesterol asociado a las lipoproteínas LDL. Las

insaturadas son líquidas a temperatura ambiente y son beneficiosas para el cuerpo humano por sus efectos sobre los lípidos plasmáticos⁴.

Los ácidos grasos más comunes se presentan en la Tabla No. 1.

Tabla No. 1.- Ácidos grasos más comunes

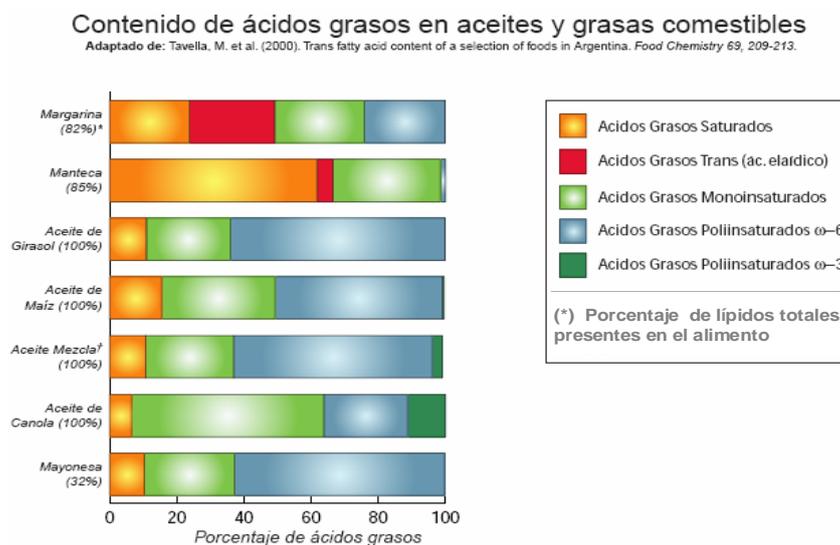
Nombre	Número de carbonos	Estructura	Punto de Fusión (°C)
SATURADOS			
Láurico	12	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ COOH	44
Mirístico	14	CH ₃ (CH ₂) ₁₂ COOH	58
Palmitico	16	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ COOH	63
Esteárico	18	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH	70
Araquídico	20	CH ₃ (CH ₂) ₁₈ COOH	75
INSATURADOS			
Palmitoleico	18	CH ₃ (CH ₂) ₅ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	32
Oleico	18	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	16
Linoleico	18	CH ₃ (CH ₂) ₃ (CH ₂ CH=CH) ₂ (CH ₂) ₇ COOH	-5
Araquidónico	20	CH ₃ (CH ₂ CH=CH) ₄ (CH ₂) ₃ COOH	-50

Fuente : Villalpando, S., Ramírez, I., Bernal, M., De la Cruz, G. (2007). Grasas, dieta y salud : Tablas de composición de ácidos grasos de alimentos frecuentes en la dieta del mexicano. 1ª. Ed. Instituto de Salud Pública de México.

⁴ Yam, D., Friedman J., Bott-Kanner G., Genin I., Shinitzky M., Klainman E. (2002). Omega-3 fatty acids reduce hyperlipidaemia, hyperinsulinaemia and hypertension in cardiovascular patients. Journal of Clinical and Basis Cardiology 5(3):229-231

La Tabla No. 2 presenta el contenido de los ácidos grasos en algunos aceites y grasas comestibles.

Tabla No. 2.- Contenido de Ácidos grasos en algunos Aceites y Grasas Comestibles



Los aceites y grasas se pueden clasificar de acuerdo a las siguientes características :

Naturaleza :

- Aceites vegetales : Es el grupo más numeroso; por su uso se clasifican en alimenticios como soya, girasol, canola, palma, algodón, oliva, maíz, palmiste (Aceite de Kernel de Palma), coco, cártamo y en no alimenticios como la linaza.
- Aceite animales : Provenientes de peces como sardinas y salmones, del hígado del tiburón y del bacalao, o de mamíferos marinos como el delfín y la ballena; de las patas de vacunos, equinos y ovinos se extraen también aceites usados como lubricantes e impermeabilizantes.

- Grasa animales : Sebo extraído del tejido adiposo de bovinos y ovinos, así como grasa de cerdo.

Apariencia :

Pueden ser líquidos o sólidos. Cuando es líquido a temperatura ambiente se llama “aceite” y cuando es sólido se le llama “grasa”. Una propiedad física de las grasas es el punto de fusión, el cual aumenta con el número de átomos de carbono en la cadena de los ácidos grasos y con la saturación de ellos. El aceite tiene una consistencia fluida a temperatura menor a 30°C y la grasa presenta una consistencia semi-sólida o sólida por encima de 30°C.

Salud :

Se clasifican como buenas o saludables y malas o no saludables. Las consideradas grasas buenas o saludables, además de ser fuente de energía y componente estructural de las células, disminuyen el riesgo de enfermedades, contienen ácidos grasos esenciales tales como linoleico (18:2), linolénico (18:3) y son portadoras de vitaminas liposolubles; en cambio, las llamadas grasas malas o no saludables contienen ácidos grasos saturados y aumentan el riesgo de enfermedades.

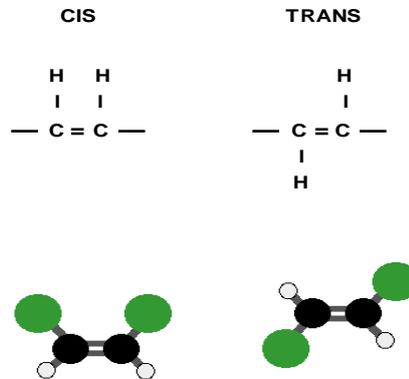
Prácticamente todos los alimentos consumibles tienen por lo menos una porción de materia grasa. De ello, uno de los temas que mayor impacto ha tenido en los últimos años es el efecto de los diferentes tipos de grasa en la nutrición y la salud humana.

Los aceites y grasas son importantes en el consumo humano pues aportan 9 Kcal/g, es decir, más del doble de la energía que otorgan los carbohidratos y proteínas. Los alimentos freídos son cada vez más consumidos debido a su practicidad, características sensoriales y a los requerimientos de energía en la dieta. Sin embargo, un elevado consumo de estos productos puede causar problemas a la salud; en este sentido, es importante también mencionar a los ácidos grasos "trans" los cuales tienen impactos negativos en ella⁵.

Los ácidos grasos insaturados pueden existir en dos formas geométricas diferentes. Estas formas se denominan "cis" y "trans" (Fig. No. 2). Los ácidos grasos insaturados existen naturalmente en la forma "cis" pero en la forma "trans" están presentes después de la hidrogenación parcial de los aceites líquidos aunque también hay formación de éstos después de tratamientos térmicos severos en aceites poliinsaturados. En la hidrogenación, se adicionan átomos de hidrógeno en los dobles enlaces modificando la apariencia física del aceite y aumentando tanto su punto de fusión como su estabilidad a la oxidación³.

⁵ Mitmesser, S.H.; Carr, T.P. (2005). Trans fatty acids alter the lipid composition and size of apoB-100 containing lipoproteins secreted by Hep G-2 cells. *J. Nutr. Biochem.* 26: 178-83

Figura No. 2.- Formas Cis y Trans



Fuente : Valenzuela, A., Morgado, N. (1999). Trans fatty acid isomers in human health and in the food industry. Biol. Res.

Más allá de las ventajas que ofrece en la producción, los ácidos grasos trans (AGT) tienen efectos contrarios a la salud, tales como⁶ :

- Aumentan el riesgo de enfermedades cardiovasculares y de muerte súbita de origen cardiaco ya que incrementan el nivel de colesterol perjudicial; disminuyen el colesterol bueno e inflaman el revestimiento de las arterias.
- Incrementan los niveles de proteína aterogénica en sangre.
- Incrementan los niveles totales de colesterol en la sangre.
- Disminuyen los niveles de testosterona.
- Son determinantes importantes de enfermedad cardiovascular.

⁶ OPS. (2008). Aceites saludables y la eliminación de ácidos grasos trans de origen industrial en las Américas: iniciativa para la prevención de enfermedades crónicas. Organización Panamericana de la Salud. Washington.

Por su parte, los efectos de los ácidos grasos trans y los ácidos grasos saturados son⁷ :

- Los ácidos grasos saturados elevan los niveles de colesterol “bueno” mientras que los trans elevan el llamado colesterol “malo”.
- Los ácidos grasos saturados disminuyen los niveles de lipoproteína aterogénica, mientras que los trans-isómeros los incrementan.
- Los saturados conservan las propiedades de los ácidos grasos omega-3 mientras que los trans provocan la pérdida de éstos por los tejidos.
- Los ácidos grasos saturados no inhiben la unión de la insulina.
- Los AGT interfieren con el sistema inmune del cuerpo, mientras que los saturados son parte de éste.

Los AGT deben sustituirse en los alimentos procesados y su presencia no debe ser mayor a 2% del total de grasas en aceites y margarinas; y no mayor al 5% del total de grasas en alimentos procesados⁸. El camino para llegar a ello debe ser definido de acuerdo a la situación de la industria alimentaria y en diálogo con autoridades de salud pública nacionales.⁹ Según Iniciativa con proyecto de ley para la prevención y combate de la obesidad en su

⁷ Hu, F.B., Mason. J. E. et al. (2001). Types of dietary fat and risk of coronary heart disease : a critical review. *Journal of the American College of Nutrition*, 20 : 5 -19.

⁸ Villalpando, S.; Ramírez, I.; Bernal, M.; De la Cruz, G. (2007). *Grasas, dieta y salud : Tablas de composición de ácidos grasos de alimentos frecuentes en la dieta del mexicano*. 1ª. Ed. México; Instituto de Salud Pública de México

⁹ OMS. (2008). *Las Américas libres de grasas trans: Declaración de Río de Janeiro*. Organización Panamericana de la Salud.

artículo 30 se indica que el contenido en AGT de los aceites y materias grasas, que bien solos o formando parte de la composición de alimentos se destinen a la alimentación humana, no excederá de 2 gramos por cada 100 gramos del total de grasas en aceites y margarinas, y no mayor al 5% del total de grasas en alimentos procesados. Esta prohibición no alcanza a los AGT que se encuentran en estado natural en las materias grasas o en los productos de origen animal.¹⁰

Por otra parte, el Senado de la República en conjunto con la Industria Nacional de Aceites y Grasas Alimenticias, está tomando medidas para acelerar la reducción gradual de las grasas trans y promover el uso de aceites y grasas más saludables en la producción de alimentos; por ello, el 25 de Mayo del 2011 se somete a consideración el decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones a la ley de salud proponiendo¹¹ :

a) En el caso de alimentos que contengan ácidos grasos trans, se deberá incluir en su etiquetado la cantidad de éstos ácidos grasos en miligramos por porción.

b) Para que los alimentos y bebidas comercializados en territorio nacional, incluidos los importados, puedan ser etiquetados como “libre de ácidos grasos trans” el porcentaje de estos no podrá exceder el 3% de la grasa total presente en dicho producto. En

¹⁰ Lázaro Mazón Alonso. Iniciativa con proyecto de ley para la prevención y combate de la obesidad. Cámara de Senadores. México. 2010.

¹¹ Senado de la República LXI Legislatura. Comisión permanente. Gaceta Parlamentaria. Miércoles, 25 de Mayo de 2011. Segundo receso comisión permanente. No. Gaceta 7

contrapartida, cuando se exceda este porcentaje deberá decir “este producto contiene ácidos grasos trans, se recomienda un consumo responsable”, escrito con letra fácilmente legible y en colores contrastantes.

2.2 Importancia de aceites y grasas en el proceso de freído

Durante el proceso de freído, los aceites y grasas juegan un papel importante debido a que¹² :

- Actúan como lubricantes
- Son un medio de transferencia de calor
- Se absorben en el alimento frito
- Forman una costra (capa exterior dorada la cual es característica de los productos fritos) por interacción química con el alimento
- No son volátiles debido a su baja presión de vapor

Sin embargo, también los aceites y grasas proveen diversos atributos a los productos fritos tales como textura, sabor y palatabilidad haciéndolos apetecibles al consumidor. La calidad de un aceite depende de su contenido de ácidos grasos libres así como de su resistencia al deterioro después de su uso continuo. La aceptación del producto, en

¹² Hamm, W y Hamilton, H (2001). Edible Oil Processing. Sheffield Academic Press

cuanto a sabor y textura se refiere, dependerá del tipo de aceite y del tiempo durante el cual ha sido utilizado.

Para el proceso de freído profundo se requiere de aceites o grasas que presenten estabilidad a la oxidación y estabilidad al sabor con el fin de lograr una vida útil aceptable del producto frito; para ello se recomienda considerar los siguientes criterios¹³ :

- Sabor del producto
- Textura del producto
- Apariencia del producto
- Sensación al paladar
- Resabio en la boca
- Vida de anaquel del producto
- Disponibilidad del aceite
- Costo
- Requerimientos nutricionales

El sabor, aroma y apariencia son generalmente los atributos que el consumidor busca en un producto frito, seguidos de textura, sensación al paladar y resabio. En conjunto, estos seis criterios marcan la aceptación de un producto determinado por parte del consumidor.

¹³ Gupta, M.K. (2005). Frying Oils. Bailey's Industrial Oil and Fat Products, Sixth Edition, Six Volume Set. Shanhidi, F. Ed. Wiley and Sons, Inc. New York, NY.

La vida de anaquel es importante por razones económicas y de calidad ya que todos los productos requieren de cierto número de semanas o inclusive meses para su distribución o venta.

La disponibilidad y costo del aceite son factores económicos importantes, e incluso llegan a ser determinantes para la toma de decisión del aceite o grasa a utilizar durante el proceso productivo¹⁴.

El valor nutricional del aceite ha adquirido mayor relevancia con el paso del tiempo, sobretodo porque actualmente se tiene un consumidor más conocedor de temas relacionados con salud y nutrición, por ello, es que se buscan productos fritos con baja cantidad de grasa saturada, estabilidad a la oxidación y estabilidad al sabor así como el uso de grasas no hidrogenadas (libre de AGT).

Todo esto es un gran reto para la industria de alimentos debido a que los aceites modificados en su composición, además de tener un costo excesivamente alto, presentan limitaciones en el suministro, tal es el caso de los aceites altos oleicos (girasol, cártamo o canola). La oleína de palma no presenta AGT pero tiene una cantidad elevada de ácidos grasos saturados. El aceite de soya y canola deben hidrogenarse para ser utilizados en el proceso de freído profundo, lo cual implica formación de AGT. Por otra parte, es importante reconocer el hecho de que la demanda conjunta de aceite de palma y soya representa casi el 80% del consumo mundial de aceites y grasas; sin embargo, en la actualidad no

¹⁴ United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service, U.S. AgExporter (<http://www.fas.usds.gov>) (2010)

se tiene suficiente producción de estos dos aceites para suplir todas las necesidades por lo que se debe recurrir forzosamente al uso de otro tipo de aceites tales como maíz, algodón o girasol¹⁵.

2.3 Aceites y grasas utilizadas en el proceso de freído industrial

La importancia del aceite utilizado en la fritura es determinante, tanto por su calidad degustativa y nutricional de la fritura resultante, así como por su rendimiento y costo.

Los aceites ricos en ácido linolénico, como el de soya y el de canola, son susceptibles a sufrir procesos de oxidación. Cuando el aceite de soya se hidrogena parcialmente para reducir el contenido de linolénico desde aproximadamente un 8% hasta valores menores al 3%, se obtiene un aceite para freído estable. Sin embargo, el uso de aceites hidrogenados se excluye de toda recomendación nutricional, debido al riesgo potencial para la salud que significa el consumo de ácidos grasos trans y saturados¹⁶.

Los aceites en los que predominan los ácidos grasos insaturados son mucho más adecuados desde el punto de vista nutricional, pero presentan desventajas en cuanto a su estabilidad, ya que a mayor grado de insaturación, el aceite será menos estable frente al efecto de la

¹⁵ Oil World (<http://www.oilworld.de>)(2011)

¹⁶ Mauger, J.F.; Lichtenstein, A.H.; Ausman, L.M.; Jalbert, S.M.; Jauhiainen, M.; Ehnholm, C.; Iamarche, B. (2003). Effect of different forms of dietary hydrogenated fats on LDL particle size. *Am. J. Clin. Nutr.* 78 : 370-75

temperatura lo cual puede deteriorar la composición química del aceite incidiendo en la salud del consumidor y en la calidad sensorial del producto frito.

El aceite de canola es una variedad vegetal que se obtuvo a través del mejoramiento genético de la colza, planta que forma parte de la familia *Brassica*. La canola ha sido promovida como un aceite saludable porque contiene 55% de ácidos grasos mono-insaturados, 25% de omega-6, 10% de omega-3 y tan sólo 4% de ácidos grasos saturados, sin embargo dada su baja estabilidad a la oxidación, no es utilizada en procesos industriales de freído. Para ello, se puede emplear el aceite de canola alto oleico, el cual es una variedad modificada que contiene arriba del 80% de ácido oleico permitiendo una mayor estabilidad a las altas temperaturas¹⁷.

El aceite de girasol es el cuarto en importancia de producción en el ámbito mundial después del de soya, palma y canola. Se obtiene por presión mecánica y/o extracción con solventes de la semilla de la planta *Helianthus annuus L.* Está constituido fundamentalmente por ácidos grasos poliinsaturados de los que destacan el ácido linoleico y el ácido linolénico. Estos ácidos grasos se consideran esenciales y deben proporcionarse diariamente a través de los alimentos ya que no pueden ser sintetizados por nuestro organismo; también presenta ácidos grasos monoinsaturados en forma de ácido oleico. El aceite de girasol, al igual

¹⁷ Canola and Sunflower Seeds.- http://www.dowagro.com/pgb/platforms/oilover/seeds/canola_sun.htm

que el de canola y cártamo, es adecuado para el freído profundo cuando presenta alto contenido de ácido oleico (80% mínimo) al ser obtenido de plantas genéticamente modificadas¹⁸.

El aceite de maíz se obtiene del germen del maíz (*Zea mays*), recuperado como subproducto de la obtención de almidón, glucosa y fructosa. Tal como se extrae, contiene alrededor de un 20% de lípidos distintos de los triglicéridos, especialmente fosfolípidos. Es rico en ácidos grasos poli-insaturados (58.7% de ácido linoleico); contiene monoinsaturados (24.2% de ácido oleico) y una menor cantidad de saturados (12.7% palmítico y esteárico). Es rico en vitamina E, la cual es un antioxidante natural, y constituye un elemento muy importante para la salud del corazón y prevención de algunas enfermedades degenerativas. También contiene una cantidad elevada de tocoferoles, hasta 1 g/kg, lo que hace que sea relativamente estable a pesar de su elevada insaturación¹⁹. Aún cuando el aceite de maíz presenta una resistencia mayor a la oxidación que el aceite de soya, el de maíz se utiliza solamente en freído industrial por el sabor característico que imparte a los productos fritos, el cual tiene gran aceptación en algunas regiones de nuestro país.

El algodón, *Gossypium hirsutum*, se cultiva como planta textil desde hace al menos 5.000 años. La parte interna de las semillas de

¹⁸ Franco, Daniel. (2006). Aceite de girasol. Cámara de la Industria Aceitera de la República Argentina. Argentina.

¹⁹ Sanibal E. A. A.; Manzini-Filho, J. (2005). Aceite para freír y la calidad de la grasa medida por análisis químicos, físicos y con equipos de ensayo de laboratorio. Revista Aceites y Grasas 1 : 170-76

algodón contiene alrededor del 30% de aceite. El aceite de algodón tiene presencia de gossipol, una sustancia fenólica que le da su color rojizo característico y que contribuye a su estabilidad durante el almacenamiento, pero es tóxica y ésta se elimina mediante el proceso de refinación. Contiene una gran cantidad de ácidos grasos omega-3 y omega-6 así como ácidos grasos mono y poli-insaturados. Se utiliza en freído profundo impartiendo sabor neutro a los productos fritos.²⁰

El aceite de palma se obtiene del fruto de la palma *Elais guineensis*. Debido a su mejor rendimiento por hectárea, sus bajos costos de producción y sus múltiples usos, la palma es la principal fuente de aceite vegetal del planeta por delante de la soya, con 37 millones de toneladas producidas el año pasado (31% de producción mundial de aceite comestible). Sin embargo, las plantaciones causan numerosos impactos ambientales sobre la biodiversidad y sobre las poblaciones locales pues para atender la demanda y contar con mayor extensión de tierra para sembrar, se talan y queman selvas. Además, se requiere de grandes cantidades de agroquímicos, fertilizantes y pesticidas, que contaminan ríos e inducen riesgos para la salud de la población local²¹. Los atributos nutricionales del aceite de palma se debe a que tiene un alto contenido de ácidos grasos mono-insaturados (40% aprox), 10% de ácidos grasos esenciales (18:2), es fuente importante de vitamina E,

²⁰ National Cottonseed Products Association http://espanol.cottonseed.com/publications/sp_csobr.asp

²¹ Esmiol, Sophie. (2008). Aceite de palma: usos, orígenes e impactos. España.

está libre de AGT, es buena fuente de carotenoides y se constituye como una alternativa sobre las grasas hidrogenadas²².

En el corto y mediano plazo la demanda mundial y por ende la demanda nacional de aceite de palma aumentará de manera considerable. Muchas de las empresas de alimentos revisan sus formulaciones y algunas ya han migrado hacia aceites más saludables. Se está produciendo una reconversión de grasas basadas en aceites hidrogenados por grasas sin hidrogenar, basadas fundamentalmente en aceite de palma.

El aceite de palma ha llegado a ser uno de los aceites vegetales más empleados en diversas aplicaciones debido a sus buenas cualidades y propiedades. A través del proceso de fraccionamiento, se obtienen dos productos: uno líquido llamado Oleína y uno sólido llamado Estearina. La oleína es la fracción más utilizada, es completamente líquida a temperatura ambiente en climas templados. Su versatilidad es bastante conocida, algunos ejemplos lo constituyen, las margarinas y su gran uso como aceite para freír.²³

La composición de ácidos grasos de los aceites o grasas utilizadas en freído profundo se muestran en la Tabla No. 3

²² Grasas saludables, aplicaciones del aceite de palma. AAK. (2009).

²³ Marcado, J.; La Rosaa y N. Salinasa. (2010) Influencia del proceso de fritura en profundidad sobre el perfil lipídico de la grasa contenida en patatas tipo "french", empleando oleína de palma. En Revista Grasas y Aceites. Venezuela. Enero-marzo

Tabla No. 3.- Porcentaje de Ácidos Grasos en Aceites para Freír

Tipo de Aceite	Ác. Grasos Saturados (%)	Ác. Grasos Mono-insaturados (%)	Ác. Grasos Poli-insaturados (%)
Soya	15	24	61
Canola	6	58	36
Girasol	11	20	69
Cártamo	7	15	77
Cártamo Alto Oleico	8	80	12
Maíz	13	25	62
Algodón	27	19	54
Palma	51	39	10

Fuente : Gupta, M. K. (2005). *Frying Oils*. Bailey's Industrial and Fat Products. Sixth Edition. Six Volume Set. Shanhidi, F. Ed. Wiley and Sons, Inc. New York, N. Y.

En el año de 2008, los mercados internacionales de semillas oleaginosas y aceites vegetales enfrentaron una situación de escasez, al sufrir un déficit en su producción. La demanda adicional derivada de la industria de la bioenergía, apoyada por programas gubernamentales en todo el mundo, es la principal causa del exceso de demanda en relación con la oferta de granos, oleaginosas y sus productos.

El déficit de la producción mundial de oleaginosas y aceites vegetales es consecuencia, además, de las poco favorables condiciones meteorológicas y de las pérdidas en las cosechas en varios países y regiones del mundo.

La industria aceitera en México depende en gran medida de las importaciones de oleaginosas para elaborar sus productos; a partir de ello procesa aceites que son utilizados por industrias de alimentos.

La producción de oleaginosas en México ha caído considerablemente durante el periodo 1990 - 2006. Para el año 2006, la superficie sembrada con soya en México fue de 77,636 ha, la de canola de 4,359 ha y la de cártamo fue de 94,954 ha²⁴.

Con el fin de dar un paso a la autosuficiencia de oleaginosas en el país, el Comité Nacional de Sistema en Producto de Oleaginosas ha elaborado una propuesta, mediante el Programa Nacional de Producción de Oleaginosas 2007 - 2012, con el fin de resolver los principales problemas que se tienen en la producción de cultivos de oleaginosas, principalmente la dependencia alimentaria de países extranjeros, ya que actualmente se importa el 95% que necesita y consume la industria aceitera, por lo tanto, el incremento en la producción mexicana de oleaginosas contribuirá a disminuir el grado de dependencia de estas importaciones otorgando además, un valor agregado nacional en beneficio de toda la cadena alimentaria de la industria de oleaginosas.

²⁴ Comité Nacional Sistema-Producto Oleaginosas. Programa Nacional de Producción de oleaginosas 2007-2012. México. 2007

2.4 Características físico-químicas en el aceite para freír

Las empresas que trabajan en la elaboración de productos fritos disponen de métodos adecuados para controlar sus procedimientos de freído los cuales les permiten asegurar una calidad sensorial óptima y una buena estabilidad en sus productos finales. Estos métodos analíticos de control deben ser sencillos y rápidos para que su aplicación pueda realizarse por parte de cualquier tipo de industria, sin excesivos requisitos tanto técnicos, humanos como materiales.

En las industrias aceiteras se utilizan los métodos basados en el American Oil Chemistry Society (AOCS), sin embargo en México se tienen normas oficiales que tienen el mismo fundamento que las emitidas por el AOCS. Los análisis físico-químicos realizados a los diferentes aceites o grasas utilizadas en el freído profundo incluyen¹³:

- **Ácidos grasos libres (AGL)** : Son ácidos grasos que tienen un grupo ácido pero que no están unidos a un alcohol²⁵. El análisis físico-químico determina la cantidad de cadenas de ácido graso que han sido hidrolizadas desde la estructura básica del triglicérido y se expresa como el número de miligramos de NaOH necesarios

²⁵ Norma Mexicana NMX-F-101-SCFI-2006. Alimentos - Aceites y grasas vegetales o animales - Determinación de ácidos grasos libres - Método de prueba (cancela a la NMX-F-101-SCFI-1987).

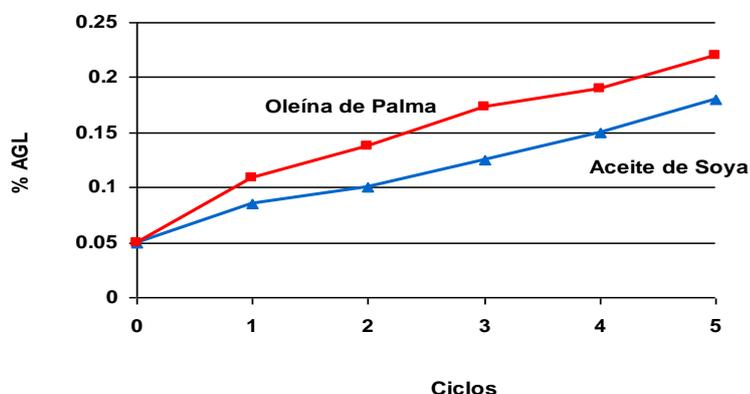
para neutralizar la acidez libre de un gramo de muestra. Los AGL son medidos en términos de ácido oleico para aceites como soya, canola, girasol, maíz y algodón así como de ácido palmítico para el aceite de palma y oleína de palma debido a que son los ácidos grasos presentes en mayor cantidad en cada caso.

Los AGL son considerados como un indicador de la estabilidad del aceite o grasa. En la Fig. No. 3 se muestra el incremento en el porcentaje de AGL durante el tiempo de freído (cinco ciclos) tanto para aceite de soya como para oleína de palma. Las grandes industrias de alimentos trabajan jornadas diarias de 3 turnos, por lo que un ciclo de freído corresponde al proceso realizado en 24 horas. Para la oleína de palma, este valor es mayor que en la soya debido a que el proceso de ruptura del enlace éster de los triglicéridos es más frecuente en aceites que contienen ácidos grasos de cadena corta o media²⁶.

La norma oficial mexicana referente a la determinación de AGL es la NMX-F-101-SCFI-2006.

²⁶ Anwar F., Shahid. S. A., Hussain, A.I. (2007) Assessment of oxidative deterioration of soybean oil at ambient and sunlight storage. Grasas y Aceites

Figura No. 3.- Porcentaje de AGL en aceites frescos (cero ciclos) y después de cinco ciclos de freído



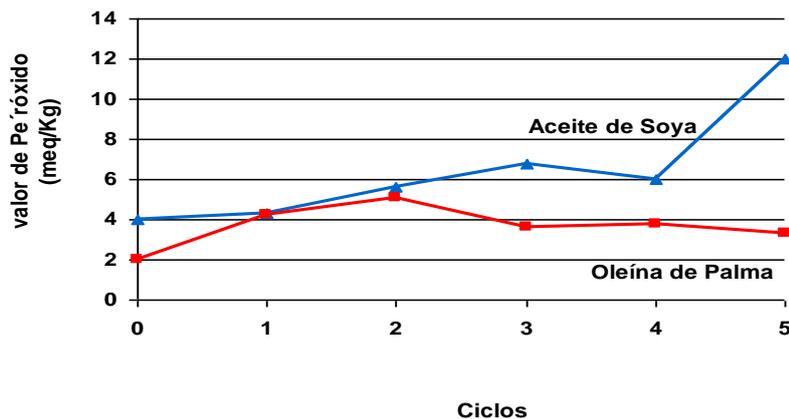
Fuente : Stier, R. F. (2004). Tests to monitor quality of deep-frying fats and oils. Eur. J. Lipid Sci. Technol. 106 : 766-71

- **Valor de peróxido (VP)** : Indica los miliequivalentes de peróxidos por 100 gramos de muestra que oxidan al yoduro de potasio bajo las condiciones establecidas en la norma mexicana²⁷. Este método mide la oxidación del aceite fresco permitiendo conocer su estabilidad y grado de evolución hacia la rancidez. En la Fig. No. 4 se muestra el comportamiento del valor de peróxido después de cinco ciclos de freído tanto para el aceite de soya como para oleína de palma. El aumento del VP en el aceite de soya es mayor que en la oleína de palma debido a que el oxígeno actúa principalmente sobre los ácidos grasos poli-insaturados y como la soya tiene en su composición más del 60% de éstos (linoleico 53.7% y linolénico

²⁷ Norma Mexicana NMX-F-154-SCFI-2010. Alimentos - Aceites y grasas vegetales o animales - Determinación del valor de peróxido - Método de prueba (cancela a la NMX-F-154-SCFI-2005).

7.6%) entonces se producen con mayor facilidad los compuestos inestables llamados peróxidos, radicales libres, o bien hidroperóxidos en presencia de luz. El proceso de oxidación no puede evitarse totalmente, pues una vez que una molécula de grasa es atacada por un radical libre, pierde un átomo de hidrógeno, convirtiéndose en otro radical libre llamado peróxido que atacará a otra molécula de grasa, dando como resultado una reacción en cadena que generará la degradación del alimento; dicha degradación se observará como cambios en el olor y color del producto debido a la formación de aldehídos, cetonas y alcoholes ocasionadas por los hidroperóxidos y peróxidos.

Figura No. 4.- Valor de Peróxido (cero ciclos) y después de cinco ciclos de freído



Fuente : Stier, R. F. (2004). Tests to monitor quality of deep-frying fats and oils. Eur. J. Lipid Sci. Technol. 106 : 766-71

El proceso de iniciación de la oxidación en el que se produce el primer radical libre está siendo favorecido por la presencia de moléculas con insaturaciones como es el caso del aceite de soya²⁸. La norma oficial mexicana referente a la determinación del VP es la NMX-F-154-SCFI-2010.

- **Índice de Yodo (IV)** : Es la medida de la insaturación de los aceites y grasas; se expresa en términos del número de centigramos de yodo absorbido por gramo de muestra (% de yodo absorbido)²⁹. El IV será tanto mayor cuanto mayor sea el número de dobles enlaces en el aceite o grasa, es por ello que se utiliza para comprobar su pureza e identidad.

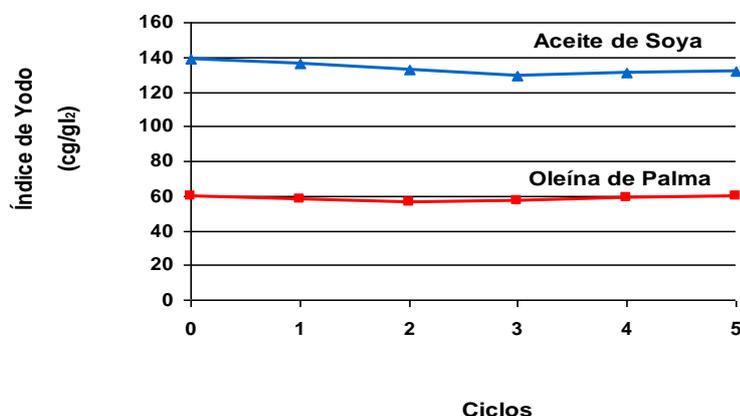
En la Fig. No. 5 se muestra el comportamiento del IV después de cinco ciclos de freído tanto para el aceite de soya como para oleína de palma. La disminución del IV en el aceite de soya se debe a que los dobles enlaces de los ácidos grasos poli-insaturados se van rompiendo a medida que avanza el proceso de freído, aumentando así la cantidad de ácidos grasos saturados³⁰.

²⁸ Grau, Anna; Guardiola, Francesc et al (2000). Evaluation of lipid ultraviolet absorption as a parameter to measure lipid oxidation in dark chicken meat. *Journal Agriculture Food Chemistry*., August . 48 : 4128-4135

²⁹ Proyecto Norma Mexicana PROY-NMX-F-152-SCFI-2010. Alimentos - Aceites y Grasas Vegetales o Animales - Determinación del Índice de Yodo por el Método Ciclohexano - Método de prueba (cancelará la NMX-F-152-SCFI-2005).

³⁰ Knothe, G. (2002). Structure indices in FA chemistry. How relevant is iodine value? *J.Am. Oil. Chem. Soc.* 79, 847-54

Figura No. 5.- Índice de Yodo (cero ciclos) y después de cinco ciclos de freído



Fuente : Stier, R. F. (2004). Tests to monitor quality of deep-frying fats and oils. Eur. J. Lipid Sci. Technol. 106 : 766-71

Dado que el IV evalúa la destrucción de ácidos grasos poli-insaturados, la diferencia en los valores de los dos aceites es debido a que el aceite de soya presenta un porcentaje alto de ácidos grasos poli-insaturados (linoleico 53.7 % y linolénico 7.6 %), mientras que la oleína de palma es más alta en ácido oleico (42,5% en contraste con 11.2% de linoleico y 0.2% de linolénico). Un elevado IV indica que el aceite tiene una gran susceptibilidad a las reacciones de oxidación³¹.

La norma oficial mexicana referente a la determinación del VI es la PROY-NMX-F-152-SCFI-2010.

³¹ Rodríguez Arzave, J.A.; Anguiano Dávalos, Z.J.; Molina Garza M.A. (2009). Microensayo para Determinación del Índice de Yodo basado en el Método de Hanus. Revista de Salud Pública y Nutrición. Ed. Especial. Vol 10

- **Estabilidad a la oxidación** : Los aceites y grasas utilizados en el proceso de freído deben tener buena estabilidad a la oxidación y bajos niveles de impurezas para prevenir la rápida hidrólisis y oxidación durante el freído.

La estabilidad oxidativa del aceite depende primordialmente del contenido de ácidos grasos poli-insaturados (linolénico y linoleico). El linolénico, dado que presenta 3 dobles enlaces, es más propenso a la oxidación. Conforme incrementa el número de dobles enlaces en el ácido graso, el grado de oxidación aumenta³² (Tabla No. 4).

Tabla No. 4.- Grados de Oxidación de Ácidos Grasos³²

Ácido Graso	Grado de Oxidación
Ác. Esteárico	1
Ác. Oleico	10
Ác. Linoleico	100
Ác. Linolénico	150

El contenido de ácido linolénico debe ser lo más bajo posible para proveer de buena estabilidad al aceite para freír. Esta es la razón por la cual el aceite de soya o canola, los cuales contienen cerca

³² Valenzuela, A. , Sanhueza, J., Nieto, S., Peterson, G., Tavella, M. (2003). Estudio comparativo, en fritura, de la estabilidad de diferentes aceites vegetales. Revista Aceites y Grasas. 4 : 568-73

del 8% de ácido linolénico, son hidrogenados para reducir el contenido de linolénico por debajo del 2%. La baja estabilidad oxidativa del aceite de girasol proviene principalmente por el alto contenido de ácido linoleico, por ello se debe hidrogenar para reducirlo por debajo del 35%.

La estabilidad oxidativa de aceites y grasas puede ser estimada utilizando pruebas aceleradas, donde el suministro de oxígeno y las elevadas temperaturas empleadas permiten una alteración más rápida. La mayor parte de los métodos empleados muestran el mismo fenómeno, es decir, que la velocidad de reacción es baja por un período inicial de tiempo tornándose posteriormente elevada. Ese período inicial de tiempo es conocido como período de inducción, que puede ser definido como el tiempo necesario para que los cambios organolépticos comiencen a ser detectados. Este período de inducción es una medida de la estabilidad oxidativa de aceites y grasas, reflejando su capacidad en resistir a la oxidación³³.

Esta resistencia en los procesos oxidativos está relacionada con la vida de anaquel de los productos y de las características propias de los mismos (insaturación, contenido de antioxidantes naturales, trazas de metales, estado inicial de oxidación) y varían de acuerdo

³³ Castro, M.; Aníbal. E. (2001). Estudio comparativo sobre la degradación de tres diferentes aceites vegetales, para determinar el más estable a utilizar en el proceso de fritura en la fabricación de botanas. Tesis Ing. Quím. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería.

con las condiciones en que se haya realizado su almacenamiento (luz, temperatura, oxígeno).

La determinación de la estabilidad a la oxidación permite estimar la rapidez con que un aceite o grasa pueden presentar rancidez³⁴.

Algunas empresas mexicanas continúan utilizando el Método del Oxígeno Activo (AOM) del AOCS donde la estabilidad es considerada como el período necesario, en horas, para que el aceite o grasa llegue a tener un valor de peróxido predeterminado (100 meq/Kg)³⁵ bajo condiciones específicas de temperatura o bien utilizan el método Rancimat, el cual está basado en el método AOM pero a temperatura más elevada (110-140°C) en donde se mide la conductividad de los compuestos volátiles permitiendo el seguimiento del proceso y la determinación del punto de inducción del aceite o grasa de manera automática.

Sin embargo, el método desarrollado más recientemente es el Índice de Estabilidad en Aceites (OSI, por sus siglas en inglés); este método considera que todos los aceites y grasas tienen una resistencia a la oxidación la cual depende del grado de saturación, de los antioxidantes naturales o añadidos, pro-oxidantes o abuso anterior.

³⁴ Frankel, E.N (2005). Lipid Oxidation. 2nd. Edition, edited by PJ Barnes & Associates. The Oily Press, Bridgwater, England.

³⁵ Official methods and recommended practices of the American Oil Chemist Society, 5th Ed. 2nd Print. Edited by D. Firestone, AOCS. Press, Champaign, USA. 2003. Method Cd 12-57 : Active Oxygen Method

La oxidación es lenta hasta que se vence la resistencia, momento en el cual se acelera la oxidación y ésta se lleva a cabo rápidamente. La duración del período antes de que se presente esta oxidación acelerada es la medida de la resistencia a la oxidación y se conoce como “período de inducción”³⁶.

Las comparaciones entre valores obtenidos de los diferentes métodos para la estabilidad a la oxidación y la determinación del período de inducción son meramente aproximadas.

El método oficial referente a la determinación del OSI es el AOCS Cd 12b-92.

- **Composición de ácidos grasos (FAC)** : Determina la composición cromatográfica de los ácidos grasos de un aceite o grasa para su identificación con fines de investigación, comerciales o industriales³⁷. La técnica cromatográfica separa y determina los ácidos grasos como ésteres metílicos. Su identificación y determinación permite detectar adulteraciones de aceites o grasas. La norma oficial mexicana referente a la determinación de la composición de ácidos grasos por cromatografía de gases en columna empacada es la PROY-NMX-F-017-SCFI-2010.

³⁶ Official methods and recommended practices of the American Oil Chemist Society, 5th Ed. 2nd Print. Edited by D. Firestone, AOCS. Press, Champaign, USA. 2003. Method Cd 12b-92 : Oxygen Stability Index

³⁷ Proyecto Norma Mexicana PROY-NMX-F-017-SCFI-2010. Alimentos - Aceites y Grasas - Determinación de la composición de ácidos grasos por cromatografía de gases en columna empacada - Método de prueba (cancelará la NMX-F-017-SCFI-2005).

En resumen, la Tabla No. 5 presenta los análisis físico-químicos más comunes realizados a los aceites utilizados en el proceso de freído industrial³⁸.

Tabla No. 5.- Análisis Físico-químicos en Aceites y Grasas para Freído Industrial³⁸

Análisis	Soya PH (a)	Canola PH	Maíz	Algodón	Girasol PH	Oleína de Palma	Grasa
% AGL	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
VP (meq/Kg)	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0
IV (cg/gl ₂)	96 - 104	88 - 92	118 - 130	98 - 118	96 - 104	55 - 58	75 - 78
AOM hrs (mínimo)	35	70	16	16	25	60	>100
% FAC							
C-14	-	-	-	-	-	1.0 - 1.5	-
C-16	10	4	11	22	7	39 - 43	-
C-18	5	2	2	2	4	4 - 5	-
C-18:1	55	75	20	19	53	40 - 44	-
C-18:2	28	12	60	53	35	12 - 14	-
C-18:3	< 1.5	< 1.5	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 0.05	-
C-20	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	-
C-22	-	-	-	-	-	-	-
C-22:1	-	< 0.05	-	-	-	-	-
% Trans	25	25	-	-	25	-	35

Nota : AGL con valores > 0.05% pueden afectar la vida de anaquel del producto frito.

Como se observa en la Tabla No. 5, los valores de AGL y VP requeridos en todos los aceites y grasas de freído son exactamente los mismos ya que por arriba de los valores mencionados, la calidad del producto terminado se verá afectada. El IV está relacionado con la apariencia física del aceite o grasa, ya que entre más saturado se

³⁸ Tiffany, T; Peitz, M.; Clark, D.; Billiter, K. & Kickle, B. (2009). Laboratory Frying Evaluation of Palm Olein and Domestic Vegetable Oil Blends. 6th Global Oils and Fats Forum

encuentre un aceite, menor será su IV y su apariencia será más sólida. Lo mismo sucede con las horas AOM, entre más saturado se encuentre un aceite, su estabilidad a la oxidación será mayor. Finalmente la cantidad de AGT está relacionada con el grado de hidrogenación de cada aceite, es decir, entre mayor sea la saturación a la que se someta, mayor será el porcentaje de AGT.

Sin embargo, se tienen otros parámetros de calidad en los que su determinación requiere de laboratorios más equipados y personal capacitado tales como :

- **Valor de p-Anisidina** : Determina la cantidad de aldehídos, principalmente 2-alkenales y 2, 4-dienales) en los aceites y grasas por la reacción química ocurrida en una solución de ácido acético entre los compuestos aldehídicos presentes en el aceite y el compuesto p-anisidina³⁹. Los aldehídos son productos de la descomposición de los ácidos grasos peroxidados; este valor mide los niveles de aldehídos utilizándolos como un indicador que determina la cantidad de material peroxidado que ha sido desdoblado. Tanto los niveles de peróxidos presentes como perfiles de degradación anterior y posterior de un aceite o grasa pueden ser mapeados o graficados, esto se determina especialmente tanto en aceites procesados por segunda ocasión

³⁹ Norma Mexicana NMX-F-051-SCFI-2008. Alimentos - Aceites y Grasas Vegetales o Animales - Determinación del Índice de Anisidina - Método de Prueba

con el fin de reducir el nivel de los AGL como en los aceites recalentados que son utilizados para freír⁴⁰.

La norma oficial mexicana referente a la determinación del valor de p-Anisidina es NMX-F-051-SCFI-2008.

- **Compuestos polares** : Son todos aquellos componentes que se encuentran en aceites y grasas los cuales son determinados por cromatografía de columna; éstos incluyen sustancias tales como monoglicéridos, diglicéridos, AGL y todos aquellos producidos por reacciones químicas durante el proceso de freído de alimentos. Los componentes polares son básicamente triglicéridos no alterados⁴¹.

Gran cantidad de procesadores consideran que la medición de las sustancias polares es la prueba individual más importante para medir la degradación del aceite. Los compuestos polares son materiales no triglicéridos solubles, emulsivos o suspendidos en el aceite de freído. Una vez que el aceite es expuesto a una determinada temperatura de freído, una porción de los triglicéridos es convertida en una innumerable cantidad de productos de degradación. Debido a que éstos también incluyen los productos

⁴⁰ Sayas Barberá; M. Estrella (2001). Manual de Laboratorio en Industria de Aceites y Grasas. Universidad Miguel Hernández de Elche, España

⁴¹ Norma Mexicana NMX-F-068-SCFI-2008. Alimentos - Aceites y Grasas Vegetales o Animales - Determinación de Materiales Polares Totales en Aceites de Freído usados - Método de Prueba

de conversión, el porcentaje de compuestos polares mide la degradación acumulativa del aceite⁴².

La norma oficial mexicana referente a la determinación de materiales polares es NMX-F-068-SCFI-2008.

- **Punto de Humeo** : Determina la temperatura a la cual el aceite o grasa emitirá humos visibles⁴³. Se refiere a la temperatura hasta la cual se puede calentar un aceite o grasa antes de que su proceso de descomposición sea evidente a la vista, con la formación de humo. Esta descomposición implica cambios físicos pues el aceite se torna más oscuro y se modifica su textura volviéndose más viscoso, incluso puede llegar a emitir un mal olor e impartir un mal sabor a los alimentos en los que se utilice.

La norma oficial mexicana referente a la determinación de punto de humeo es PROY-NMX-F-048-SCFI-2006.

- **Color** : El color es uno de los atributos que caracterizan a los aceites y grasas ya sea en su estado natural o cuando han sido sometidos a procesos de refinación. El color es causado por una mezcla de pigmentos entre los cuales se encuentran carotenos, clorofilas, luteína, licopeno, gossipol, entre otros. Este método se

⁴² Stier, R.F. (2004). Tests to monitor quality of deep-frying fats and oils. Eur. J. Lipid Sci. Technol. 106 : 766 -71

⁴³ Norma Mexicana NMX-F-048-SCFI-2006. Alimentos - Aceites y Grasas Vegetales o Animales - Determinación de Puntos de Humeo, Flama e Ignición - Método de Prueba

basa en la igualación de color de la muestra con la escala Lovibond⁴⁴. Este parámetro es utilizado como un indicador de la calidad para los aceites que son utilizados en el proceso de freído. La norma oficial mexicana referente a la determinación de color es PROY-NMX-F-116-SCFI-2006.

Por otro lado, existen otros métodos aún más especializados tales como :

- Separación cuantitativa de monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos por cromatografía en columna (Método AOCS Cd 11c-93). Este método se utiliza para verificar la pureza de las fracciones.
- Determinación de mono- y diglicéridos por cromatografía de gas (Método AOCS Cd 11b-91) el cual se utiliza para identificar dichos componentes.
- Determinación cuantitativa de monoacilgliceroles y diacilgliceroles por cromatografía de líquidos (Método AOCS Cd 11d-96)
- Determinación de fósforo (Método AOCS Ca 12b-92); éste se realiza en aceites refinados ya que la presencia de fósforo en niveles < 5 ppm minimiza los derivados que son precursores de mal sabor e inestabilidad oxidativa.

⁴⁴ Norma Mexicana NMX-F-116 -SCFI-2006. Alimentos - Aceites y Grasas Vegetales o Animales - Determinación de Color - Método de Prueba (cancela a la NMX-F-116 -1987)

La industria recurre a estos últimos métodos cuando existen problemas de calidad, principalmente sensoriales, en el producto terminado pero que han sido detectados directamente por el consumidor final (mal sabor y/u olor, textura indeseable); es en este momento cuando se toma la decisión de enviar las muestras de retención del aceite o grasa de freído a laboratorios especializados⁴⁵.

Considerando todos estos métodos analíticos, las especificaciones que debe tener un aceite o grasa para freído se presentan en la Tabla No. 6⁴⁶:

Tabla No. 6.- Especificaciones Físico-químicos en Aceites y Grasas para Freír ⁴⁶

Característica	Método	Especificación
Triglicéridos	AOCS Cd 11c-93	96 – 98 %
Monoglicéridos (a)	AOCS Cd 11b-91; AOCS Cd 11d-96	0.4 % Máx
Diglicéridos (b)	AOCS Cd 11b-91; AOCS Cd 11d-96	1.5 % Máx
Fósforo	AOCS Ca 12b-92	1.0 % Máx
Color Lovibond (c)	AOCS Cc13b – 45; NMX-F-116-SCFI 2006	Depende del tipo de aceite
Valor de Peróxido	AOCS Cd 8b – 90; NMX-F-154-SCFI-2005	1.0 meq/Kg Máx.
Índice de p-Anisidina	AOCS Cd 18 – 90; NMX-F-051-SCFI-2008	< 6.0
Ácidos Grasos Libres	AOCS Ca 5a – 40; NMX-F-101-SCFI-2006	0.05 % Máx (como ácido oleico)
Jabón	AOCS Cc 17-95	0.0 ppm

⁴⁵ Witting de Penna, E. (2002). Evaluación sensorial : una metodología actual para tecnología de alimentos. Talleres gráficos USACH. Santiago de Chile

⁴⁶ Bansal, G; Zhou, W.; Barlow, P. J.; Joshi, P.; Lo, H.L & Chung, Y.K. (2010). Review of rapid tests available for measuring the quality changes in frying oils and comparison with standards methods. Critical reviews in Food Science and Nutrition, in Press

Cont. Tabla No. 6.- Especificaciones Físico-químicos en Aceites y Grasas para Freír ⁴⁶

Característica	Método	Especificación
Punto de Humeo (d)	AOCS Cc 9a – 48; NMX-F-048-SCFI-2006	215°C Máx (ref. física) 237°C Máx (ref. quím)
Compuestos Polares	AOCS Cd 20 – 91; NMX-F068-SCFI-2008	4.0% Máx
Método de Oxígeno Activo (e)	Depende del tipo de aceite	AOCS Cd 12-57
Índice de Estabilidad Oxidativa (f)	Depende del tipo de aceite	AOCS Cd 12d-92
Sabor	> ó = 8	AOCS Cg 2-83

NOTAS :

(a) Para Aceite de Palma y Oleína de Palma, el contenido es cerca del 1%.

(b) Para Aceite de Palma y Oleína de Palma, el contenido es del 4 al 11%.

(c) < 1.0 para Aceite de Soya, Canola y Girasol; <2.0 para Maíz, < 3.0 para Algodón y Palma

(d) 237.7°C Máx para aceites refinados químicamente; 210 – 220°C para aceites refinados físicamente.

(e) 15 a 20 hrs en Maíz y Algodón; 12 – 15 hrs en Soya, Canola y Girasol (sin antioxidantes), 30 – 40 hrs para Girasol Alto Oleico; 40 . 50 hrs para Palma; 50 – 60 hrs para Oleína de Palma; 100 hrs para Soya Hidrogenada.

(f) 8 – 9 hrs a 110°C para Algodón, Maíz y Soya.

2.5 Impacto de tocoferoles y tocotrienoles en aceites para freído

Los tocoferoles son antioxidantes naturales presentes en todos los aceites vegetales. Las semillas de las oleaginosas contienen cuatro tipos de tocoferoles los cuales se encuentran en cantidades variadas (Tabla No. 7). La palma se obtiene de un fruto, y a diferencia de las oleaginosas, además de contener tocoferoles, también contiene tocotrienoles y una pequeña cantidad de la coenzima Q-10, los cuales presentan grandes propiedades antioxidantes. Gama y delta-tocoferoles así como gama y

delta-tocotrienoles protegen de manera efectiva a los aceites de la auto-oxidación⁴⁷.

Tabla No. 7.- Contenido de Tocoferoles y Tocotrienoles en Aceites para Freír⁴⁷

Antioxidantes (ppm)	Aceite de Girasol	Aceite de Algodón	Aceite de Soya	Aceite de Canola	Aceite de Palma
TOCOFEROLES					
Alfa	403-905	136 – 674	9 – 352	100 – 386	130 – 260
Beta	ND(*) – 45	ND – 29	ND – 36	ND – 140	22 – 45
Gama	ND – 34	138 – 746	89 – 2306	189 – 753	19 – 20
Delta	ND – 7	ND – 21	154 – 932	ND – 22	10 – 20
TOCOTRIENOLES					
Alfa	ND	ND	ND	ND	44 – 90
Beta	ND	ND	ND	ND	44 – 90
Gama	ND	ND	ND	ND	260 – 525
Delta	ND	ND	ND	ND	70 – 140

Fuente : Códex Alimentario

(*) ND .- No detectado

La Tabla No. 7 muestra que el aceite de algodón, soya y canola son ricos en gama-tocoferol, mientras que el girasol solamente lo contiene en pequeñas cantidades razón por la cual tiene una menor estabilidad al freído. El aceite de palma, así como su fracción llamada oleína de palma, presentan buena estabilidad al freído ya que contienen cantidades elevadas de gamma- y delta-tocotrienoles. Los tocotrienoles

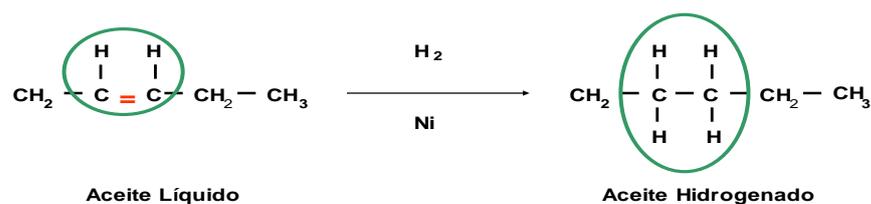
⁴⁷ Holownia, K.I.; Eickson M.C.; Chinnan M.S. and Eitenmiller R.R. (2001). Tocopherol Losses in Peanut Oil during Pressure Frying of Marinated Chicken Strips coated with Edible Films. Food Res. International 34:77

tienen tres dobles enlaces insaturados en comparación a los tocoferoles por lo que los hace más efectivos como antioxidantes.

2.6 Hidrogenación y ácidos grasos trans

El proceso de hidrogenación consiste en la adición directa de gas hidrógeno a los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados de los aceites con el objeto de modificar su punto de fusión haciéndolos sólidos o semi-sólidos a temperatura ambiente; este proceso se realiza con la ayuda de níquel como catalizador y bajo ciertas condiciones de presión y temperatura (Fig. No. 6)⁴⁸.

Figura No. 6.- Proceso de Hidrogenación

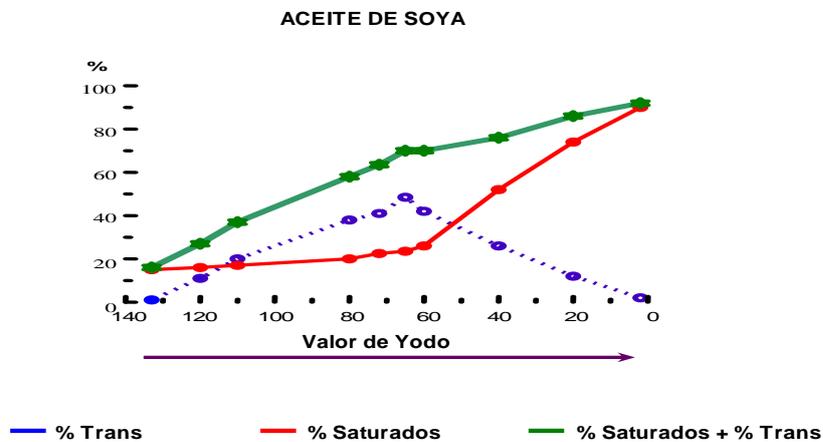


⁴⁸ King, J. W. (2001). Hydrogenation of vegetable oils using mixtures of supercritical carbon dioxide and hydrogen. Journal of American Oil Chemistry Society Vol. 78 No. 2

Los enlaces de los triglicéridos naturales se encuentran en forma cis, sin embargo durante la hidrogenación, los ácidos grasos cis, que tienen una estructura química flexible, pueden ser transformados en sus isómeros trans los cuales tienen una estructura más rígida, similar a las de los ácidos grasos saturados, y su presencia contribuye a la solidificación de las grasas que los contienen⁴⁹.

La Fig. No. 7 muestra la formación de ácidos grasos trans y ácidos grasos saturados conforme el aceite de soya se va hidrogenando a diferentes valores de yodo.

Figura No. 7.- Formación de Ácidos Grasos Trans y Saturados durante el Proceso de Hidrogenación



Fuente : Cuesta, C. y Sánchez, F. J. (1998). Quality control during repeated frying. Grasas y Aceites 49 (3-4), 326-30

⁴⁹ Valenzuela, A.; Morgado, N. (1999). Trans fatty acid isomers in human health and in the food industry. Biol. Res. 32:273-287

En este proceso, además de la saturación de los dobles enlaces, varía la configuración molecular y se modifica la geometría, número y situación de los enlaces dobles. Esta reacción resulta en algunas ocasiones selectiva, ya que preferentemente se hidrogenan los ácidos grasos altamente insaturados respecto a los menos insaturados. Los isómeros de ácidos grasos trans que habitualmente se encuentran son el ácido eláidico el cual es isómero trans del ácido oleico (C18:1n9t), los isómeros trans del ácido linoleico (C18:2 9t, 12t; C18:2 9c, 12t y C18:2 9t, 12c), y ocasionalmente, también pueden aparecer isómeros trans del ácido linolénico⁵⁰.

La hidrogenación tiene como objetivo :

- Elevar el punto de fusión reduciendo el grado de insaturación
- Mejorar la estabilidad térmica y química de los productos a la oxidación y al sabor.
- Modificar la estructura molecular del triglicérido y por consiguiente la composición del aceite y sus características físicas; por ello, se tienen formación de productos complejos utilizados fundamentalmente en la preparación de margarinas, grasas para panificación, freído profundo y otros alimentos procesados, todo ello en sustitución de aceites saturados⁵¹.

⁵⁰ Sargis R.M; Subbaiah P.V. (2003) Trans unsaturated fatty acids are less oxidizable than cis unsaturated fatty acids and protect endogenous lipids from oxidation in lipoproteins and lipid bilayers. *Biochemistry* 42: 11533-11543

⁵¹ Lawson H (2001). *Food Oils and Fats. Technology, Utilization and Nutrition..* Nueva York: Chapman and Hall

El mejoramiento en la estabilidad oxidativa se muestra en la Tabla No. 8⁵². Los aceites de soya y canola líquidos contienen 8% de ácido linolénico por lo que son propensos a la oxidación. Una hidrogenación parcial puede reducir el nivel de ácido linolénico por debajo del 2% haciéndolos adecuados para su uso en procesos de freído.

Tabla No. 8.- Estabilidad Oxidativa antes y después del Proceso de Hidrogenación⁵²

Análisis	Aceite de Soya antes de hidrogenación	Aceite de Soya después de hidrogenación	Aceite de Canola antes de hidrogenación	Aceite de Canola después de hidrogenación
IV (cgl/l2)	130	100	115	90
Punto de Fusión (°C)	-	< 23.8	-	< 23.8
AOM Hrs (mínimo)	12 – 20	> 30	12 – 20	> 70
% Ác. Palmítico	10	10	4	4
% Ác. Esteárico	5	5	2	2
% Ác. Oleico	25	55	62	75
% Ác. Linoleico	50	28	21	12
% Ác. Linolénico	8	1.5	8	1.5
% Ác. Erúcico	-	-	< 2	< 0.5
% Ác. Gadeloico	-	-	1	0
% Ác. Grasos Trans	-	> 30	-	> 20

Con la hidrogenación, se tiene formación de ácidos grasos trans (AGT) los cuales son considerados como dañinos para la salud. Estudios clínicos y epidemiológicos indican que un consumo elevado de AGT

⁵² Frank, D. G. (2004) The chemistry of oils and fats. CRC Press.

aumenta el riesgo de enfermedad cardiovascular (ECV)⁵³. Por otra parte, múltiples estudios clínicos también han revelado que los AGT elevan la lipoproteína de baja densidad (LDL) y disminuyen la de alta densidad (HLD) así como aumentan los triacilglicéridos en sangre⁵⁴.

Al respecto, las autoridades de salud de diferentes países han emitido reglamentaciones que limitan la cantidad de ácidos grasos trans en alimentos, por ejemplo, Dinamarca fijó en el año 2003 un límite del 2.0 % máximo de AGT en grasa para utilizarse en la elaboración de alimentos.

En Estados Unidos, la FDA (Food and Drug Administration) estableció que los AGT que contenga un alimento deben declararse en su etiqueta, para ello, el 11 de Julio del 2003, se emitió una regla de etiquetado nutrimental, 68FR41434, para hacerse efectivo a partir del 1ero. Enero del 2006⁵⁵. Los alimentos deben declararse como cero trans si los valores de AGT son menores a 0.5 gramos⁵⁶

En México, la norma mexicana NOM-043-SSA2-2005, menciona que se debe disminuir el consumo de alimentos que presenten grasas en general y AGT, para la prevención de enfermedades cardiovasculares⁵⁷. Sin embargo, en nuestro país existe un vacío legal en la información sobre los AGT en comparación con otros países. Si bien los cambios son

⁵³ Kim, M.K; Campos, H. (2003) Intake of trans fatty acids and low-density lipoprotein size in a Costa Rican Population. *Metabolism* 52:693

⁵⁴ Ascherio, A. (2006). Trans fatty acids and blood lipids. *Atherosclerosis* 7: 25

⁵⁵ Rules and Regulations (2003). *Fed. Register* 68 : 41433 - 41506

⁵⁶ Food and Drug Administration (2005). FDA acts to provide better information to consumers on trans fats (<http://www.fda.gov/oc/initiatives/transfat>)

⁵⁷ Norma Oficial Mexicana NOM-043-SSA2-2005. Servicios básicos de salud, promoción y educación para la salud en materia alimentaria. Criterios para brindar orientación

progresivos, hace falta contar con plazos radicales, fundamentados en análisis de riesgos a la salud⁵⁸.

2.6.1. Alternativas de ácidos grasos trans

Actualmente existen procesos alternativos a la hidrogenación que permiten obtener aceites con aplicaciones similares a los que presentan AGT tales como⁴⁸:

- **Composición modificada en aceites** : Contienen niveles muy bajos de ácido linolénico por lo que pueden ser utilizados en procesos de freído (< 3 %). Desafortunadamente éstos presentan problemas de abastecimiento además de que resultan sumamente costosos.
- **Grasas “fluídas”** : Elaboradas a partir de una mezcla de 90 – 98% de aceite líquido y 2 – 10% de aceite hidrogenado a saturación total (soya o canola). Estas mezclas sustituyen a los hidrogenaciones parciales.
- **Catalizador** : Con catalizadores de platino, paladio o cobre se pueden obtener aceites hidrogenados con menor contenido de AGT ya que estos presentan mayor cantidad de ácido esteárico comparados con los hidrogenados con níquel. Sin embargo, platino

⁵⁸ Monroy, Torres Rebeca (2009). Ácidos grasos trans : riesgos a la salud y legislación mexicana. CONCYTEG Año 4 Núm 49.

y paladio son excesivamente costosos y desde el punto de vista comercial, no son competitivos en comparación al níquel.

El cobre es más económico y tan efectivo como paladio o platino pero removerlo totalmente del aceite hidrogenado no es posible.

Aún cuando el cobre se encuentre en cantidades pequeñas en el aceite (< 0.05 ppm) puede causar una rápida hidrólisis del mismo durante el freído.

- **Modificación de las condiciones de hidrogenación** : El uso de un reactor con alta presión (10 a 20 bars) con un alto grado de agitación pueden producir resultados similares a los obtenidos con catalizadores como paladio y platino.
- **Interesterificación** : En este proceso existe un reacomodo de los ácidos grasos dentro de la molécula de triglicérido; la composición de los ácidos grasos permanece igual a la grasa o mezcla original pero las propiedades físicas tales como punto de fusión y forma de cristalización son modificadas. La interesterificación puede ser química (utilizando metilato de sodio como catalizador) o enzimática (utilizando lipasas)⁵⁹. Un aceite totalmente hidrogenado (saturado) puede interesterificarse con cualquier aceite líquido para obtener productos libres de trans.

⁵⁹ Seriburi, V; Akoh C. C. (1998). Enzymatic interesterification of lard and high-oleic sunflower oil with *Candida* *Alta* lipase to produce plastic fats. *Journal of American Oil Chemists' Society*, 75(10), 1339–1345.

- **Fraccionamiento** : Es un proceso de modificación termomecánica, donde los triacilglicéridos del aceite son separados generalmente como una mezcla de cristalización parcial, en una fase líquida y otra sólida⁶⁰. El fraccionamiento es utilizado en el aceite de palma para obtener oleína (fracción líquida) y estearina (fracción sólida). Los aceites líquidos no pueden fraccionarse debido a la falta de sólidos naturales en ellos.

⁶⁰ Arqué, Clemens J. (2008). Proceso de fraccionamiento de aceites y grasas por vía seca. Revista Alimentación, Equipos y Tecnología Págs. 40-43

CAPÍTULO III

PROCESO DE FREÍDO PROFUNDO

3.1 Definición del Proceso

El proceso de freído es una operación de transferencia simultánea de masa y calor donde el cocimiento en aceite o grasa imparte atributos de calidad deseables como el sabor, textura, apariencia y olor a los productos alimenticios. Estos cambios deseables son un efecto combinado de formación de costra, pérdida de humedad, desnaturalización de proteínas, ganancia de aceite o grasa, gelatinización de almidón y cuantiosos cambios micro-estructurales en el interior del alimento. Sin embargo, también se presentan cambios indeseables causados por el calentamiento, cocimiento, transferencia de materiales extraños al alimento y la acumulación de residuos de los mismos alimentos, los cuales son impartidos al medio de cocción donde existe interacción de aceite/agua y oxidación⁶¹.

La transferencia de calor es una combinación de convección entre el aceite caliente (180 – 200°C) y la conducción al interior del alimento.

⁶¹ Badui DS. (2006). Química de los alimentos. 3era ed. Editorial Prentice Hall. México págs. 213-273, 327-345.

La conducción inestable se realiza en el alimento sólido y depende de las propiedades físicas y de la cantidad de producto alimenticio. Inicialmente el alimento alcanza temperaturas superiores al punto de ebullición del agua debido a la presencia de solutos. Cuando inicia el burbujeo de aceite, aumenta la temperatura del alimento hasta acercarse a la temperatura del medio. La convección ocurre entre el aceite y la superficie del alimento. Continuamente hay producción de burbujas, lo cual, al provocar turbulencia en el medio, favorece la transferencia de calor. Se tienen dos mecanismos que ocurren durante el freído : evaporación continua del vapor de agua donde domina la transferencia de calor y evaporación decreciente donde domina la difusión de agua en el interior del alimento hacia la superficie⁶².

Todas las superficies del alimento reciben un tratamiento similar de calor para producir una apariencia y color uniforme. En el caso de alimentos con contornos irregulares, éstos tienden a retener una gran cantidad de aceite cuando se retiran del equipo de freído. Los coeficientes de transferencia de calor son de 250 a 300 W/m²K antes de que comience la humedad por evaporación de la superficie, pero subsecuentemente se incrementa a 800 – 1000 W/m²K debido a la violenta turbulencia causada por el vapor que escapa del alimento. Sin embargo, si la relación de evaporación es muy alta, una pequeña película

⁶² Perkins. E. (2004). Deep-Frying. 3rd. Ed. AOCS Press

de vapor de agua permanece alrededor del alimento y reduce el coeficiente de transferencia de calor⁶³.

En adición a la transferencia de calor, se lleva a cabo una transferencia de masa. Esta es una característica del movimiento del aceite dentro del producto y el movimiento del agua en forma de vapor del producto hacia el aceite⁶⁴.

Los aceites y grasas tienen capacidad calorífica alta, lo que permite la transferencia de calor a temperaturas muy por encima del punto de ebullición del agua. Debido a la evaporación en la zona límite entre el alimento y el aceite, el agua del alimento es gradualmente transportada desde sus capas internas hasta el aceite donde éste se encuentra inmerso (transferencia de masa). La velocidad de transferencia depende de la estructura de la corteza del alimento. Tan pronto como la transferencia de agua termina, la temperatura en el interior del alimento empieza a elevarse por encima de los 100°C (Cuadro No.1). Precisamente es en este punto donde los sabores, olores y colores amarillo-dorados típicos de los alimentos fritos se desarrollan. Con el incremento de temperatura en las capas internas del alimento (más de 120°C), la formación de acrilamidas comienza, particularmente en presencia de azúcares reductores o asparragina⁶⁵.

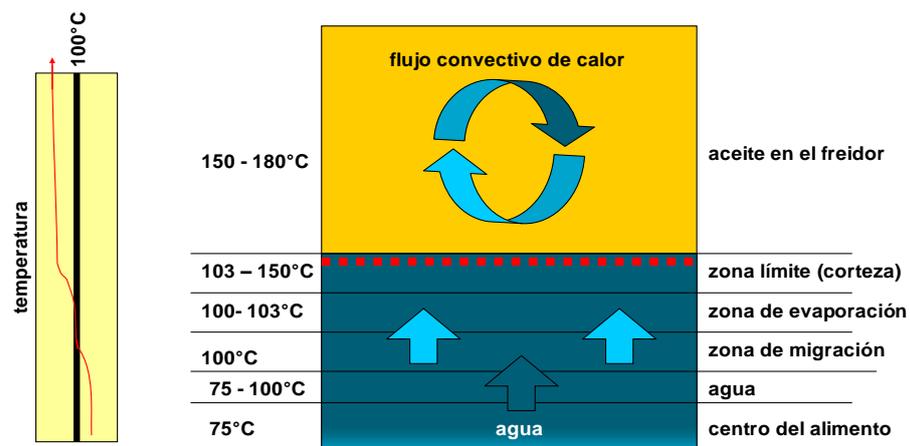
⁶³ R. Moreira, M.E. Castell-Perez, M.A. Barrufet (2001). Deep-Frying-Fundamentals and Applications. An Aspen Publication ISBN-0-8342-1321-4

⁶⁴ Farid, M.M. (2001). A Unified Approach to the Heat and Mass Transfer in Melting, Solidification, Frying and Drying Process. Chemical Engineering Science 56 : 5419 - 5427

⁶⁵ Infosan (2005). Acrilamida. Nota de información Red Internacional de Autoridades de Inocuidad de los Alimentos (INFOSAN) No. 2.

La humedad liberada de los alimentos actúa como una capa protectora previniendo el contacto directo del oxígeno con la superficie del aceite o grasa.

Cuadro No. 1 .- Transferencia de Calor y Masa durante el Proceso de Freído Profundo



Fuente : Schwarzinger Maria, Ahammer Wolfgang, Gombos János, Retbauer Helmut, Welland Peter (2008). Optimum deep-frying. Recommendations by the German Society for Fat Science.

El proceso de freído considera una fase que involucra la transferencia de humedad. En el momento en que ocurre la inmersión del alimento en el aceite, el flujo de calor se transfiere del medio de freído a la superficie del alimento. Debido a la transferencia de calor, tanto el agua de la superficie se evapora y escapa al medio de freído como el agua del interior del alimento migra hacia la superficie⁶⁶.

⁶⁶ E.J.B. Rossell (2001). Frying, improving quality. Woodhead Publishing Ltd. ISBN-1-85573-556-3

Posteriormente ocurre la transferencia de aceite; en esta etapa, el agua que sale a la superficie deja poros y capilares vacíos que son ocupados más tarde por el aceite. La velocidad de entrada del aceite en el alimento depende de la viscosidad y de la tensión superficial del mismo. En la parte externa se forma la costra de color ligeramente oscuro, como resultado de la reacción de Maillard. Por último, la parte más interna del alimento se cuece debido a la penetración del calor, más que a la absorción del aceite⁶⁷.

Cuando un alimento es freído, la energía es transferida desde el producto en proceso al aceite y después desde el aceite calentado hasta la superficie original del producto inmerso en él. En el proceso ocurre una deshidratación controlada que se observa en el oscurecimiento del alimento con aceite caliente como medio de transferencia de vapor de agua y calor⁶⁸.

El producto freído absorbe una elevada cantidad de aceite o grasa y acumula una cierta proporción de compuestos de alteración tales como morusas, los cuales, por encima de ciertas concentraciones, pueden afectar la calidad del alimento. En dicha alteración, los aceites y grasas comestibles empleados sufren termo-degradación cuando se someten a

⁶⁷ Hidalgo, F. J. y Zamora, R. (2000). El papel de los lípidos en el pardeamiento no enzimático. *Grasas y Aceites* 51 (1-2); 35 - 49

⁶⁸ Mehta U, Swinburn B.. (2001). A review of factors affecting fat absorption in hot chips. *Crit. Revs. Food Sci. and Nut.*

elevadas temperaturas y son utilizados de forma persistente, generando sustancias tóxicas⁶⁹.

Las empresas que trabajan en la elaboración de productos fritos necesitan disponer de métodos adecuados para controlar sus procedimientos asegurando de esta manera la calidad sensorial, inocuidad y estabilidad óptima de sus productos.

3.2 Cambios físicos y químicos durante el proceso de freído

En el aceite se producen una gran cantidad de cambios físicos y químicos como consecuencia de su interacción con el agua y otros componentes del alimento. Por todo ello, el aceite utilizado determina la calidad del alimento, así como las condiciones del proceso y la composición del producto⁷⁰.

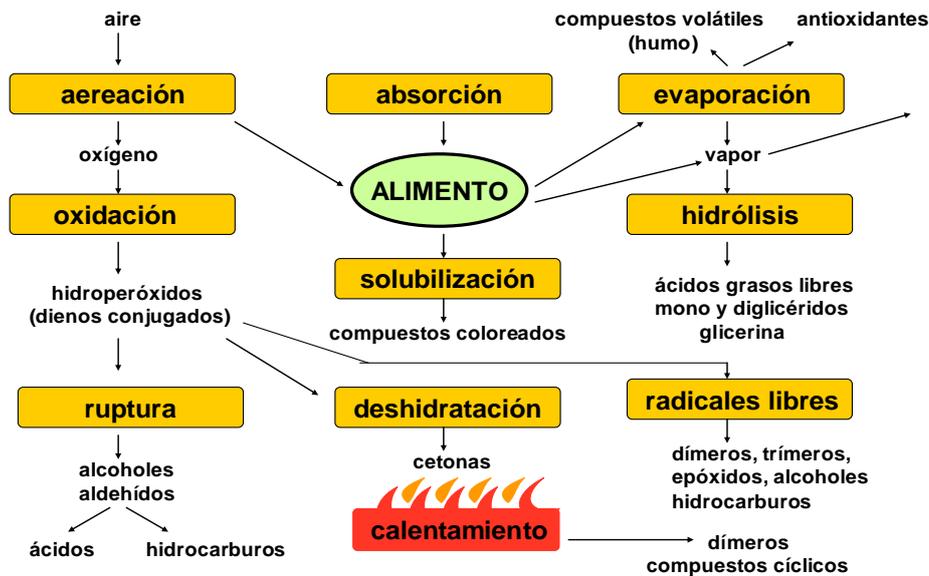
Durante el proceso de freído profundo, el calor es transferido desde el aceite hasta el alimento, mientras que el agua es evaporada del alimento y el aceite es tanto absorbido por el alimento como adsorbido en su superficie. Factores tales como forma/tamaño del alimento y temperatura del aceite afectan significativamente este proceso. Entender los cambios físicos y químicos que ocurren durante el proceso de freído

⁶⁹ Soriano J.M., Molto J.C., Mañez J. (2002). Hazard analysis and critical points in deep-fat frying. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*

⁷⁰ Yamsaengsung, R. y R.G. Moreira (2002). Modeling the transport phenomena and structural changes during deep fat frying. *Journal of Food Engineering* 53 (1) 1-10 y 11-25

ayudará a obtener alimentos fritos de buena calidad así como a incrementar la vida útil del aceite (Cuadro No. 2).

Cuadro No. 2.- Reacciones durante el Freído



Fuente: Becerra Riqué, José. Control de calidad de aceites y mantecas de freído. ANIAME. Vol. 13. Num. 62. México. 2008

3.2.1. Cambios físicos

Los cambios físicos en aceite o grasa que ocurren durante el calentamiento se refieren a un incremento en la viscosidad, oscurecimiento, aumento de espuma y disminución en el punto de humeo. En la industria de alimentos existen métodos para evaluar estos cambios físicos de manera cuantitativa, sin embargo en restaurantes de comida rápida, éstos normalmente son evaluados de manera subjetiva

por inspección visual durante el freído para descartar el aceite en el freidor.

Los cambios físicos que ocurren durante el freído de los alimentos son los siguientes ⁷¹ :

a) Humedad : Debido a las altas temperaturas de freído, el agua que contiene los alimentos hierve y escapa en forma de vapor. La generación de vapor limita la penetración del aceite de la superficie hacia el interior del alimento.

b) Temperatura : Las altas temperaturas que se manejan durante el proceso de freído (180 – 200°C) provocan reacciones entre los componentes del alimento tales como gelatinización de almidones, desnaturalización de proteínas, oscurecimiento en la superficie debido a las reacciones de Maillard entre los carbohidratos y las proteínas así como cambios en la textura. Estos cambios, aunado a la incorporación del aceite al alimento, producen las características físicas y organolépticas de los alimentos fritos. Las reacciones de Maillard también producen componentes volátiles que imparten sabor y aroma a “frito”. Los diversos aceites y grasas producen diferentes tonalidades de aromas debido a sus perfiles de ácidos grasos.

c) Corteza crujiente : Ésta se desarrolla debido a la rápida deshidratación de la superficie y es una característica importante del alimento frito ya que incrementa el placer a comerlo.

⁷¹ Anonymous Recommendations of the 3rd. International Symposium on Deep-Fat Frying (2002). Eur. J. Lipid Sci. Technol.

d) Aereación : Ocurre al penetrar el oxígeno del aire atmosférico en el aceite de freído y reaccionar por medio de los radicales libres.

e) Absorción : El alimento absorbe aceite o grasa como consecuencia de la vaporización o pérdida de agua. La velocidad de evaporación está ligada con la absorción del aceite ya que el lugar que deja el agua en el alimento al ser evaporado, es ocupado inmediatamente por el aceite.

f) Solubilización : Los alimentos que se fríen contienen sustancias liposolubles tales como grasas, fosfolípidos y carotenoides que se transfieren al aceite de freído provocando cambios en su composición y estabilidad.

g) Vaporización : La temperatura elevada provoca la vaporización de compuestos volátiles en forma de humo tales como ácidos grasos, productos de oxidación y antioxidantes como BHA y BHT. Tocoferoles y TBHQ tienen una volatilidad muy baja y gran estabilidad térmica por lo que se recomiendan ampliamente para proteger aceites y grasas de la oxidación⁷².

Las temperaturas utilizadas en el freído son generalmente de 180 a 200°C; temperaturas mayores favorecen el deterioro del aceite y temperaturas menores incrementan el tiempo de freído. Además, las temperaturas bajas son insuficientes para recuperar las pérdidas de calor por evaporación. Las piezas pequeñas de alimento se fríen más rápido

⁷² Che Man, Y.B., L. Jialong, J.L. Liu (2000). The effects of THBQ and Alpha-Tocopherol on quality characteristics of refined-bleached and deodorized palm oil during deep-fat frying. *J Food Lipids* 6:117

mientras que las piezas más grandes requieren de mayor tiempo de freído y menor temperatura para no quemar la superficie⁷³.

El aceite o grasa es el medio de transporte del calor hacia el alimento mientras que el agua lo es dentro del propio alimento. Al evaporarse, el agua remueve calor del medio de freído.

El aceite lleva el calor de la fuente hacia la superficie del alimento por convección y el agua lo transfiere dentro del alimento por conducción. Se debe regular la cantidad de calor introducida por la fuente en base a la cantidad de agua evaporada y de esta manera mantener la temperatura del aceite lo más constante posible para lograr un buen freído.

A pesar de la temperatura de freído tan alta (190°C en promedio), el alimento se está friendo a una temperatura alrededor de 100°C, es decir, la temperatura a la que hierve el agua para escapar de él. Esto protege al alimento de quemarse con el aceite o grasa tan caliente. La cantidad de humedad removida depende del tamaño de las piezas fritas, ya que a mayor superficie de transferencia, mayor será la cantidad de agua que se escape del alimento.

El aceite o grasa se absorbe en el alimento en cantidades que varían de un 5 hasta un 40% en peso. La cantidad absorbida depende de

⁷³ Juárez, M. D., Masson, L. & Sammán, N. (2005). Deterioro de aceite de soja parcialmente hidrogenado empleado en la fritura de un alimento cárnico. *Grasas y Aceites* 56 (1), 53-58.

la superficie expuesta en el freído y ésta es afectada por las condiciones previas del alimento. Un alto contenido inicial de agua en el alimento produce una alta absorción de aceite o grasa⁷⁴. Los alimentos se fríen dependiendo de sus características y gustos regionales. Algunas aplicaciones requieren rebasar los 200°C reduciendo la vida útil del aceite.

3.2.2. Cambios químicos

El propósito principal del proceso de freído es producir el sabor distintivo de los alimentos fritos y la textura crujiente tan deseables por el consumidor. Una pequeña cantidad de cambios químicos son necesarios para obtener el color amarillo-dorado y sabor característico a producto frito. Durante el freído, varios procesos de deterioro químico tienen lugar tales como hidrólisis, oxidación y polimerización; por su parte los aceites o grasas se descomponen en productos volátiles y compuestos no volátiles (monómeros y polímeros)⁷⁵. Estos cambios incrementan la cantidad de ácidos grasos libres, compuestos carbonilos y polímeros y disminuyen la insaturación de ácidos grasos. Como el calentamiento continua, éstos siguen degradándose hasta llegar a acumularse en

⁷⁴ Krokida, M.K.; V. Oreopoulou; Z.B. Maroulis (2000). Water losses and oil uptake as a function of frying time. *J. Food Engng.* 44 (1) : 39-46

⁷⁵ Nawar, W. W. (1998). Volatile components of the frying process. *Grasas y Aceites* 49 (3-4), 271-74

niveles que originan sabores desagradables y efectos potencialmente tóxicos, logrando con ello que el aceite ya no sea adecuado para el freído. La cantidad de estos compuestos que han sido formados y sus estructuras químicas dependen de factores tales como el tipo de aceite y del alimento, condiciones de freído y disponibilidad de oxígeno. En adición, estas reacciones químicas (hidrólisis, oxidación y polimerización) están interrelacionadas generando una mezcla compleja de productos⁷⁶ :

Hidrólisis

Tan pronto como el alimento es freído en el aceite, el aire y agua causan reacciones químicas. El agua y vapor hidrolizan los triacilgliceroles produciendo monoacilgliceroles, diacilgliceroles y eventualmente ácidos grasos libres y glicerol (Fig. No. 8).

El glicerol se evapora parcialmente porque se volatiliza a temperaturas menores de 150°C, y la reacción en equilibrio se desplaza a favor de otros productos de hidrólisis. El grado de hidrólisis está en función de la temperatura del aceite, del área de interfase entre las fases acuosa y grasa así como de la cantidad de agua y vapor. Productos de degradación originados por la hidrólisis disminuyen la vida útil del aceite de freído.

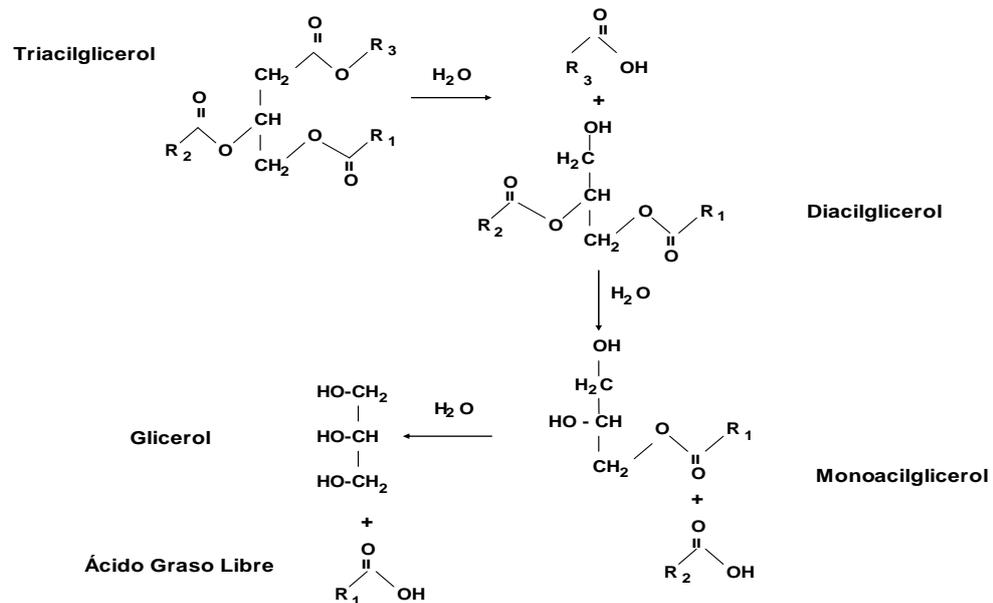
⁷⁶ Gertz C. (2000) Chemical and physical parameters as quality indicators of used frying fats. Eur.J. Lipid Sci. Technol.

El nivel de ácidos grasos libres es una medida del grado de hidrólisis en el aceite. Los derivados de hidrólisis, es decir, ácidos grasos libres, mono y diacilgliceroles, presentan una velocidad de oxidación y reactividad generalmente superior a la de los triacilgliceroles de origen, por lo que se facilita la alteración en general. La intensidad de este proceso de hidrólisis, que puede medirse mediante la acidez libre, depende de diversos factores⁷⁷:

- La cantidad de agua en contacto con el aceite o grasa de freído; el agua se introduce a través del producto que se sumerge para freír y por lo tanto, la humedad relativa del alimento es un factor clave.
- La superficie del alimento sumergido, es decir, la relación superficie/volumen de producto. A mayor valor de esta relación, mayor contacto entre el aceite y el agua del producto.
- La temperatura de freído la cual favorece la formación de ácidos grasos libres (AGL).
- La presencia excesiva de partículas sólidas residuales en el aceite de freído acelera la formación de ácidos grasos libres. En cambio, la formación de espuma en la superficie del aceite minimiza esta reacción hidrolítica. Los ácidos grasos libres además son un factor negativo que favorecen la formación de humo.

⁷⁷ Mcsavage, J., Trevisan, S. (2001) The use and abuse of frying oil. Food Service Technology.

Fig. No. 8.- Hidrólisis



Fuente : Gupta, M. K. (2005). Frying oils. Bailey's Industrial and Fat Products, Sixth Edition, Six Volume Set. Shanhidi, F. Ed. Wiley and Sons, Inc. New York, N.Y.

Oxidación

El oxígeno está presente en el aceite fresco y se incorpora aún más cuando el alimento es colocado en el freidor. El calor, aunado a la adición de alimento, produce una serie de reacciones incluyendo la formación de radicales libres, hidroperóxidos, y dímeros conjugados. Las reacciones químicas que ocurren durante el proceso de oxidación originan la formación de productos de descomposición volátiles y no volátiles. Los productos inestables de oxidación primaria (hidroperóxidos), se descomponen rápidamente a las temperaturas de freído en productos de oxidación secundaria tales como aldehídos y cetonas (Fig. No. 9). Productos de oxidación secundaria que son volátiles

contribuyen de manera significativa en el olor del aceite o grasa y en el sabor del producto frito como los aldehídos insaturados (ejemplo : 2.4-decadienal, 2,4-nonadienal, 2,4-octadienal, 2-heptanal, 2-octanal).

Los hidroperóxidos, compuestos derivados de la oxidación de ácidos grasos insaturados y de otras moléculas insaturadas, son los compuestos más característicos y abundantes; su estructura está determinada por la mezcla de ácidos grasos (especialmente los poliinsaturados) presentes en el aceite de freído⁷⁸.

La oxidación transcurre a través de reacciones en cadena mediadas por radicales libres en un proceso complejo de interacción con el oxígeno.

A las temperaturas de freído, la oxidación de los ácidos grasos depende de la concentración de oxígeno en estos aceite o grasas calentadas, siendo la disponibilidad del oxígeno un factor limitante. Por ello, a temperatura de freído, los hidroperóxidos existen de una forma transitoria debido a su baja termo-estabilidad y se descomponen en productos volátiles y no volátiles. Los dos mecanismos para la oxidación a temperaturas altas de las grasas insaturadas son⁷⁹ :

- descomposición térmica por interacción entre radicales libres, cuando los ácidos grasos insaturados son continuamente calentados a elevadas temperaturas.

⁷⁸ Frankel, E.N. (1998) Lipid Oxidation. (Frankel, E.N. Ed.) The Oily Press, Dundee, Scotland.

⁷⁹ S/A (2005). Substancias tóxicas en la oxidación de grasas y aceites. Universidad del País Vasco. Alimentaria online. Consultado en http://www.alimentariaonline.com/imprimir_notas.asp?did=807_el 7 de Abril de 2010.

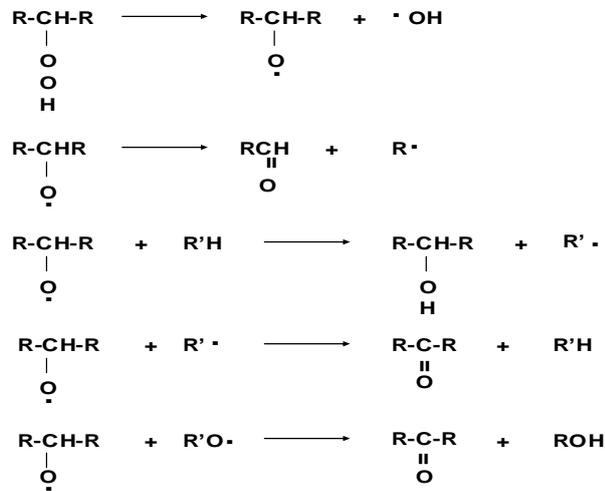
- descomposición inducida a través de la formación de hidroperóxidos a partir de ácidos grasos insaturados cuando son sujetos a calentamiento intermitente. Bajo estas condiciones, los hidroperóxidos se acumulan a bajas temperaturas contribuyendo a la formación de radicales cuando los aceites son recalentados; por ello el proceso de freído de manera “discontinua” es más destructivo que el continuo.

Los radicales libres y los hidroperóxidos son el punto de partida de la formación de numerosos compuestos de alteración (dímeros, monómeros cíclicos, compuestos carbonilos, alcoholes, hidrocarburos)²⁶.

En cuanto a la temperatura, el grupo de compuestos de alteración, presentes en los aceites de freído es el más importante desde un punto de vista cuantitativo y su formación esta también catalizada por las altas temperaturas del proceso pues la formación de radicales libres de los ácidos grasos y triacilgliceroles es mucho mayor a temperatura elevada. Estos compuestos están íntimamente relacionados con la calidad del aceite o grasa y con una pérdida significativa de su valor nutritivo⁸⁰.

⁸⁰ Dobarganes, M.C., Velasco, J. (2002). Analysis of lípid hydroperoxides. EUR. J. Lipd Techno.

Fig. No. 9.- Oxidación

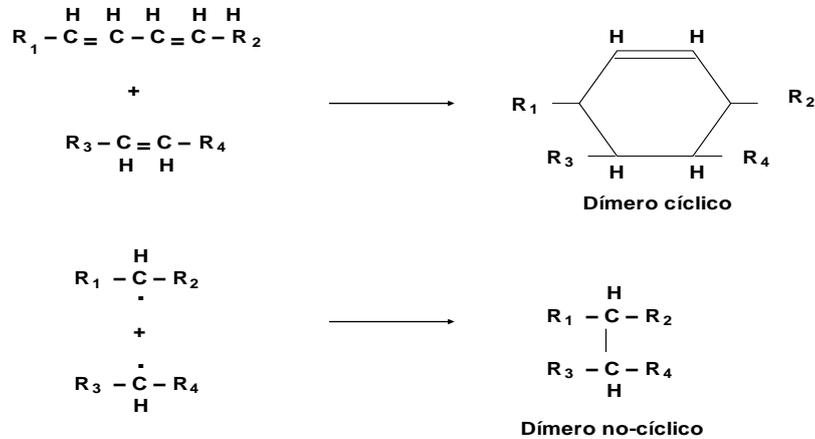


Fuente : Gupta, M. K. (2005). Frying oils. Bailey's Industrial and Fat Products, Sixth Edition, Six Volume Set. Shanhidi, F. Ed. Wiley and Sons, Inc. New York, N.Y.

Polimerización

El proceso de polimerización resulta en la formación de compuestos de alto peso molecular y polaridad (Fig. No. 10). La presencia de radicales libres que se combinan entre sí o con los ácidos grasos forman polímeros lineales (con diferente grado de longitud y ramificación) o cíclicos (sobretudo en presencia de dobles enlaces). Estos compuestos tienen mayor tamaño y peso molecular por lo que tienden a aumentar la viscosidad del aceite y a formar espuma. El calentamiento induce a la formación de dímeros entre los ácidos grasos y a la formación de compuestos cíclicos vía la reacción de Diels Alder entre un dieno y un dienófilo.

Figura No. 10.- Polimerización



Fuente : Gupta, M. K. (2005). Frying oils. Bailey's Industrial and Fat Products, Sixth Edition, Six Volume Set. Shanhidi, F. Ed. Wiley and Sons, Inc. New York, N.Y.

3.3 Afectaciones en la calidad del aceite de freído y producto frito

Durante el proceso de freído profundo, no sólo cambios deseables ocurren como la formación de corteza crujiente en el alimento o desarrollo de sabores típicos, sino también se producen cambios indeseables que finalmente resultan en el deterioro de la calidad del aceite o grasa y del alimento frito. Estos cambios se determinan a través de la medición de parámetros físicos y químicos (Cuadro No. 3). Durante el proceso de freído, las afectaciones en el aceite o grasa así como en el alimento están determinadas por los siguientes factores :

- Tipo, características y calidad del aceite o grasa a utilizar

- Tipo y características del alimento a freír
- Condiciones de proceso :
 - Temperatura
 - Tiempo
 - Presencia de metales
 - Oxígeno
 - Luz
 - Antioxidantes
 - Características del freidor
 - Grado y velocidad de renovación del aceite (descarte)

En la medida en que estos factores sean considerados, se obtendrá un producto frito de buena calidad, un buen aprovechamiento del aceite y una rentabilidad adecuada de la línea de producción.

Cuadro No. 3.- Parámetros Físicos y Químicos que impactan la Calidad del Medio de Freído y del Producto Frito.

Parámetro Físico	Cambios durante el Freído	Causados por	Correlación con el deterioro del aceite o grasa (*)
Índice Refracción/UV	Incrementa	Acumulación de ácidos grasos conjugados	Si
Densidad	Incrementa	Triacilgliceroles polimerizados	Si
Color	Se hace más intenso y oscuro	Maillard : productos de la reacción de aminoácidos (proteína) y compuestos carbonilos insaturados	No
Punto de humo	Decrementa	Descomposición de productos volátiles oxidados	Si
Viscosidad	Incrementa	Triacilgliceroles polimerizados	Si
Parámetro Químico	Cambios durante el Freído	Causados por	Correlación con el deterioro del aceite o grasa (*)
Valor de anisidina	Incrementa	Productos de oxidación secundaria	Si
Valor de Yodo	Decrementa	Formación de productos grasos oxidados	Si
Valor de Peróxido	Incrementa pero también puede decrecer	Productos de oxidación primaria	No
Compuestos polares	Incrementa	Productos de degradación oxidados y polimerizados, incluyendo componentes grasos polares sin cambios	Si
Triacilgliceroles polimerizados	Incrementa	Triacilgliceroles polimerizados oxidados y no oxidados	Si
Valor Ácido	Incrementa	Formación de productos de oxidación con grupos carboxilos libres	No

Fuente: Gertz, Christian; Matthäus, Bertrand. (2006). Deep Frying Recommendations. Food Industries Association of Austria, FIAA.

3.3.1 Cambios en el aceite o grasa de freído

Dependiendo de la temperatura y de la duración del proceso de freído, el calentamiento del aceite o grasa originará su degradación y cambiará la composición del medio. La degradación del aceite o grasa no es reversible por lo que el proceso debe ayudar a obtener y mantener las condiciones óptimas para la producción de alimentos con buen sabor el mayor tiempo posible. Los procesos físicos y reacciones químicas que tienen lugar durante el freído están influenciadas por la temperatura y por la interacción entre el aceite o grasa con el alimento (carbohidratos, proteína, azúcares, sales, agua) y con el oxígeno atmosférico.

Como ya se expresó anteriormente, la función del aceite durante el proceso de freído es ser el medio transmisor de calor y a su vez aportar sabor y textura a los alimentos. El aceite se convierte en un ingrediente del alimento frito al ser absorbido por éste, por tanto la estabilidad del aceite y su grado de alteración influirán directamente en la calidad y vida de anaquel del producto frito. Es importante tener en cuenta el sabor característico de ciertas grasas, fundamentalmente de origen animal, ya que pueden afectar la calidad del producto terminado.

El incremento de la temperatura acelera los procesos químicos y favorece los procesos enzimáticos, por tanto las grasas o los aceites calentados tienden a degradarse con bastante rapidez, en especial si en ellos se tienen sustancias o residuos que actúan como catalizador o

pontenciadores de las alteraciones o bien, si inciden en ellos otros factores propios del proceso de freído tales como⁸¹ :

- Altas temperaturas
- Exposición al oxígeno
- Mayor superficie de contacto aceite-aire (diferentes formas de los alimentos a freír)
- Presencia de contaminantes metálicos (acero al carbón y cobre)
- Acción de la luz
- Presencia de partículas orgánicas quemadas en el medio
- Contaminación por químicos provenientes del alimento (sazonadores)

3.3.2 Cambios en el producto frito

Los cambios que se producen en el alimento durante el proceso de freído dependen tanto del tipo, características y calidad del aceite y alimento así como de la temperatura y el tiempo de freído. Si el proceso se realiza de manera correcta, mejoran la textura y el aspecto de los alimentos. En la superficie del producto se producen reacciones de caramelización o pardeamiento no enzimático (reacción de Maillard) y

⁸¹ Yagüe Aylón M.A. (2003). Estudio de utilización de aceites para fritura en establecimientos alimentarios de comidas preparadas. Informes técnicos. Observatorio de la Seguridad Alimentaria. <http://magno.uab.es/epsi/alimentaria/mangeles-aylon.pdf>

tostado, lo que proporciona un color y sabor agradables al alimento, también se tiene un exterior crujiente, mientras que el interior queda jugoso pues se evita que la humedad se pierda. De igual manera se obtiene una mayor estabilidad del producto frito, es decir, mayor conservación por la destrucción de microorganismos contaminantes del alimento y la inactivación de enzimas presentes en el mismo.

No obstante también ocurren alteraciones indeseables en los alimentos tales como afectación de su calidad sensorial, presencia de sustancias potencialmente tóxicas y pérdida del valor nutritivo. Incluso ocurre caramelización o pirólisis de los azúcares monosacáridos cuando se calientan por arriba de su punto de fusión, dando lugar a la aparición de reacciones de enolización, deshidratación y fragmentación las cuales provocan la formación de derivados furánicos, que por polimerización, originan pigmentos macromoleculares oscuros, tal es el caso de la papa, en la cual llegan a aparecer manchas grises⁸².

En el freído existen pérdidas nutritivas del alimento, pero no de manera tan agresiva como sucede en otros procesos culinarios (cocción). Al mismo tiempo, es frecuente que varíe el contenido graso del producto, que en general aumenta, mientras que en alimentos muy ricos en grasa

⁸² Moncada L. M., Gualdrón L. (2005). Evaluación de la pérdida de nutrientes por cocción, freído y horneado de tres alimentos de consumo frecuente en la población colombiana. Informe Técnico científico. Universidad De La Salle, Bogotá D.C.

pueden perder parte de ella. De aquí la importancia de un buen escurrido, ya que condiciona el valor energético del alimento final.

Debido al intercambio de sustancias liposolubles entre el medio y el alimento, pueden producirse sustancias aromáticas. Esto provoca intercambios de aromas y sabores de un alimento frito a otros procedentes de productos muy distintos, lo que indudablemente contribuye a generar sabores no deseados.

Es importante que la superficie del alimento se encuentre lo más seca posible para evitar el proceso de hidrólisis por la presencia de agua y temperaturas altas así como reducir la oxidación y formación de espuma. En el caso de que se hayan generado reacciones de estos procesos, el alimento absorbe más aceite ya que aumenta la viscosidad y el escurrido se hace con dificultad. Por tanto, los componentes del aceite alterado pueden pasar al alimento y afectar su composición final en el momento del consumo.

3.4 Selección del aceite o grasa de freído

Se debe enfatizar que la calidad inicial del medio de freído es esencial para que, aunado a un proceso eficiente y bien controlado, se

obtengan óptimos resultados en la calidad de los productos fritos. La selección del aceite o grasa de freído está basada en criterios como⁸³ :

- Estabilidad frente al calentamiento y al almacenamiento así como a las condiciones reales de uso según la infraestructura con que se cuente.
- Punto de fusión; éste determina la apariencia (vista y tacto) de la superficie del producto y la palatabilidad de la grasa presente.
- Aspectos nutricionales-fisiológicos : Una amplia variedad de aceites y grasas son utilizados como medio de freído, donde los aceites mayoritariamente monoinsaturados son los más utilizados, ya que presentan ventajas respecto a las grasas saturadas o parcialmente hidrogenadas por cuestiones relacionadas con la salud, y también respecto a los aceites poliinsaturados, por aspectos de estabilidad a la oxidación y calidad sensorial. Igualmente, el uso de mezclas de aceites es una posibilidad real para conseguir una mayor flexibilidad en la disponibilidad de los mismos.

Es muy importante la selección del aceite o grasa de freído ya que éste juega un papel primordial en el desarrollo del sabor del producto frito. Toda fritura tiene requerimientos específicos de sabor, textura,

⁸³ Gertz, Christian; Matthäus, Bertrand. (2006). Deep Frying Recommendations. Food Industries Association of Austria, FIAA.

aparición y calidad. En cada caso, el aceite complementa los ingredientes base o bien realza el sabor del producto final e inclusive puede influir en la liberación del sabor de los condimentos aplicados en el producto. Se puede decir que el aceite contribuye a la aceptación del producto frito por parte del consumidor.

También se tienen criterios a considerar en la selección de un aceite o grasa en base a los atributos que imparte en un producto frito tales como⁸³ :

- a) Apariencia, Aroma y Sabor : La primera impresión del consumidor sobre un producto frito es la apariencia; posteriormente se enfoca en el aroma y después en el sabor. Si el producto no es apetecible en estos tres atributos, el consumidor ni siquiera lo prueba.
- b) Textura : Es el siguiente atributo más importante para una fritura. La dureza y crujibilidad están en función de la consistencia del aceite, la composición y espesor del alimento a freír así como de las condiciones de freído (temperatura y tiempo).
- c) Respuesta a la palatabilidad : El producto frito no debe estar seco ni pegajoso; tampoco debe dejar sensación “cerosa” en el paladar.
- d) Resabio : Éste debe persistir de forma agradable en el paladar.

- e) Vida de anaquel : Ésta es muy importante tanto para el éxito técnico como comercial del producto frito. La vida útil es afectada por :
- Desarrollo de una mala textura debido a la humedad ganada por el producto durante su almacenamiento; también puede estar acompañada del desarrollo de un sabor añejo.
 - Desarrollo de sabores rancios debido a la oxidación del aceite en el producto durante su almacenamiento; sabores rancios son encontrados en productos empacados cuando el aceite de freído utilizado es de mala calidad o bien, el aceite ha sido dañado durante el proceso de freído.

Por otro lado, cabe señalar que la selección de aceite o grasa se ve influenciada también por su precio y disponibilidad, razón por la cual muchas veces la Industria de Alimentos toma la decisión de cambiar el tipo de aceite sin afectar la calidad y vida de anaquel del producto terminado.

3.4.1 Medición de la calidad del aceite o grasa de freído

El sabor, apariencia, textura y aporte calórico de los alimentos fritos son los factores de calidad más importantes en el mercado. Los consumidores, además de buscar características sensoriales atractivas, se preocupan por el valor nutricional del alimento y el tipo de aceite o grasa utilizada⁸⁴.

El aceite o grasa contribuye a la textura y sabor característico del producto final. Sin embargo, las altas temperaturas y períodos de tiempo prolongados durante el freído pueden producir compuestos dañinos en el aceite así como un producto frito de calidad sensorial inaceptable.

La calidad inicial del aceite o grasa empleada en el freído es fundamental para obtener resultados óptimos durante la operación, esto finalmente se reflejará en la calidad del producto frito y en su vida de anaquel. Para ello, se tienen estándares analíticos comunes que son aplicados a los diferentes tipos de aceites y grasas los cuales son requeridos para su buen desempeño en el proceso de freído.

Los análisis físico-químicos requeridos por la industria de alimentos para conocer la calidad del aceite o grasa en las diferentes etapas del proceso de freído se presentan en el Cuadro No. 4.

⁸⁴ Bognár, A. (1998). Comparative study of frying to other cooking techniques influence on the nutritive value. *Grasas y Aceites* 49 (3-4), 250-260.

Cuadro No. 4.- Análisis Físico-químicos de Aceite o Grasa de Freído

Análisis físico-químico	Aceite o Grasa antes de iniciar proceso de freído	Aceite o Grasa durante proceso de freído	Aceite Usado
AGL	< 0.05%	< 0.4 %	< 0.5%
VP	< 1.0 meq/Kg	< 2.0 meq/Kg	< 5.0 meq/kg
p-AV	< 4.0	< 6.0	
Sabor	Característico, libre de sabores extraños o a rancio	Característico	
Olor	Característico, libre de olores extraños o a rancio		

Fuente : M.K.Gupta, K. Warner, P.J. White (2004). Frying Technology and Practices. AOCS Press ISBN-1-893997-31-6

Parámetros físico-químicos como punto de humeo, color , valor de yodo así como estabilidad a la oxidación son característicos de cada aceite o grasa, sin embargo éstos son requeridos por los clientes al momento de la recepción con el fin de corroborar el tipo de aceite negociado con ellos. Estos valores deben de estar reportados en el certificado de calidad emitido por el proveedor.

Por otra parte, es importante monitorear la calidad del aceite usado ya que es posible mezclarlo con aceite nuevo siempre y cuando no se comprometa la calidad del producto frito, por ello, el parámetro clave para mantener el aceite en estado óptimo para freír es la determinación de AGL.

3.5 Procedimientos para el Manejo del Aceite o Grasa en la Operación de Freído

La operación de freído requiere una selección cuidadosa de materia prima así como control de proceso y empaque para entregar productos fritos de alta calidad, por lo tanto, es importante implementar y seguir ciertos procedimientos. De esta manera se inicia con especificaciones de materia prima acompañadas de estándares de operación los cuales incluyen procedimientos para la carga del aceite en la planta procesadora (refinería) al transporte que lo llevará con el cliente, su recepción, descarga en el cliente, almacenamiento, operación de freído, apagado del freidor, sanitización de freidor y almacenamiento del aceite usado⁸⁵ :

Carga del aceite o grasa en planta procesadora : A continuación la Tabla No. 9 presenta un procedimiento recomendado a plantas procesadoras para la carga de aceite en un transporte. Dicho procedimiento se refieren a la calidad y estabilidad del aceite así como seguridad del producto y requerimientos regulatorios.

⁸⁵ M.K.Gupta, K. Warner, P.J. White (2004). Frying Technology and Practices. AOCS Press ISBN-1-893997-31-6

Tabla No. 9 .- Procedimiento de Carga del Aceite en Planta Procesadora (Proveedor) ⁸⁵

1. El interior y exterior del transporte debe estar limpio (C, SP)
2. El interior del transporte debe estar libre de olores extraños (C, SP)
3. Certificado de limpieza del transporte debe indicar el material cargado anteriormente el cual debe ser grado alimenticio (SP).
4. El certificado debe mostrar cuándo y en dónde fue lavado el transporte (SP)
5. El aceite es almacenado en un tanque con cama de nitrógeno (C).
6. El espacio libre de oxígeno en el tanque de almacenamiento debe ser <0.5% (C).
7. El tanque de almacenamiento debe tener control de temperatura (C).
8. Aceites líquidos deben tener una temperatura < 43°C (C).
9. Grasas o aceites hidrogenados deben estar a una temperatura de 10°C por arriba de su punto de fusión (C).
10. El aceite debe pasar por una malla de 25 a 100 micras antes de ser llenado el transporte (SP).
11. El aceite es saturado de nitrógeno mientras es bombeado al transporte (C).
12. El transporte es llenado por la parte inferior (C).
13. Una vez que el transporte haya sido cargado, se deben tomar muestras del aceite de la parte superior, media e inferior del tanque, posteriormente éstas son mezcladas en un contenedor o frasco y analizadas físico-químicamente (C).
14. Los análisis físico-químicos evaluados son :

Ácidos grasos libres (AGL)	< 0.05% (C)
Valor de Peróxido (VP)	< 0.5 meq/Kg (C)
Olor	Característico; libre de olor extraño (C, SP)
Sabor	Característico; libre de sabor extraño (C)
15. Parte de esta muestra es enviada junto con el transporte para que el cliente la pueda analizar también (C, R)
16. Un certificado de calidad debe ser realizado y firmado por el supervisor de Laboratorio de Control de Calidad en el cual se mencione el tipo de aceite así como los análisis físico-químicos comentados en el punto No. 14. (C, R).

En algunas ocasiones, el cliente requiere de análisis adicionales como punto de fusión, valor de yodo, cromatografía y perfil de sólidos los cuales son solicitados para corroborar el tipo de aceite embarcado.
17. El tanque del transporte debe ser llenado a su máxima capacidad. (C).
18. Una vez llenado el transporte, el espacio libre debe ser purgado con nitrógeno y posteriormente cerrada la escotilla.
19. Sellos son aplicados en escotilla y línea de descarga (SP).
20. El número de sello es registrado en la documentación de embarque enviada al cliente (SP).
21. El proveedor debe retener una muestra representativa del aceite para futuras referencias (C, SP).

(C) Calidad; (SP) Seguridad del producto; (R) Requerimiento Regulatorio

Transporte del aceite a planta del cliente : Transportes térmicos de 15

ó 30 Tons de acero inoxidable son utilizadas para este fin. En el caso de grasas o aceites hidrogenados, la temperatura del aceite en el interior del tanque debe estar 10°C por arriba de su punto de fusión para evitar solidificación.

Recepción del aceite : Cuando el aceite o grasa es recibida por el cliente, se recomienda el procedimiento mostrado en la Tabla No. 10 para garantizar la buena calidad del producto, de esta manera, el transporte estará listo para ser descargado.

Tabla No. 10 .- Procedimiento de Recepción de Aceite ⁸⁵

-
1. El transporte debe estar completamente limpio, de lo contrario se deberá rechazar (SP).
 2. Los sellos no deben estar violados. (SP)
 3. El número de los sellos deben corresponder a lo reportado en la documentación del embarque (C, SP, R).
 4. La documentación del embarque y el certificado de calidad deben coincidir; en caso de existir un desacuerdo, éste debe ser resuelto con el proveedor a través de pruebas analíticas (C, R).
 5. El aceite debe ser descargado hasta que sea totalmente identificado (C, R).
 6. Se abre la escotilla y se evalúa el interior del tanque del transporte. No se aceptará el aceite si presenta uno o más de los siguientes puntos :
 - Olor extraño (SP)
 - Materia extraña (SP)
 - Color inusual (C, SP)
 7. Evaluar la temperatura del aceite o grasa (C).
 8. Tomar muestra de la parte superior, media e inferior del tanque, mezclarlos en un contenedor o frasco y realizar análisis físico-químicos (C).
 9. Los análisis físico-químicos evaluados son :

Ácidos grasos libres (AGL)	< 0.05% (C)
Valor de Peróxido (VP)	< 1.0 meq/Kg (C)
Olor	Característico; libre de olor extraño (C, SP)
Sabor	Característico; libre de sabor extraño (C)
-

(C) Calidad; (SP) Seguridad del producto; (R) Requerimiento Regulatorio

Descarga del aceite : Una vez que el aceite ha sido liberado para su descarga, se recomiendan realizar el procedimiento descrito en la Tabla No. 11.

Cuando se tiene una grasa o aceite hidrogenado, éste debe ser calentado con presión baja y vapor saturado para evitar sobrecalentarlo o quemarlo.

Tabla No. 11.- Procedimiento de Descarga de Aceite en Planta del Cliente ⁸⁵

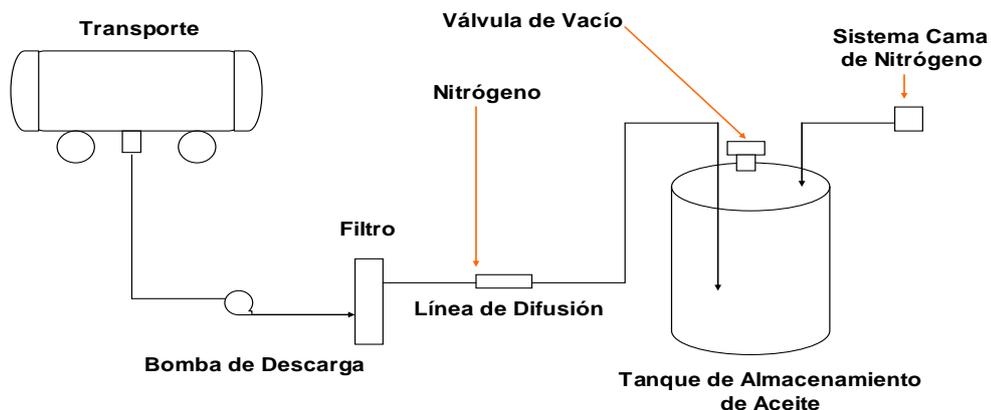
1. Verificar inventario en el tanque de almacenamiento asignado para la descarga del aceite. Se debe contar con tanques para cada tipo de aceite (Q, R).
2. Si en el tanque de almacenamiento aún queda un resto de aceite de un lote anterior, se deberá tomar muestra y realizar los siguientes análisis :

Ácidos grasos libres (AGL)	< 0.05% (C)
Valor de Peróxido (VP)	< 2.0 meq/Kg con cama de nitrógeno < 4.0 meq/Kg sin nitrógeno (C)
Sabor	Característico; libre de sabor extraño (C)
3. No se descargará el aceite fresco en el tanque que contenga aceite de un lote o embarque anterior que presente valores por arriba de lo indicado en punto No. 2 (C).
4. Se inicia la descarga del aceite; éste pasa a través de un filtro o malla de acero inoxidable de 150 mesh colocado en la línea de descarga (SP).
5. Posteriormente pasa a través de un difusor de nitrógeno para saturarlo (C).
6. Descargar todo el aceite en el tanque de almacenamiento. La línea de descarga debe extenderse hasta la parte inferior del tanque, cerca del piso (C).
7. Soplar la línea de descarga con nitrógeno para limpiarla (C, R).
8. Evaluar la cantidad de oxígeno en el tanque de almacenamiento una vez descargado el aceite; rociar el tanque con nitrógeno si el contenido de oxígeno es > 0.5% y continuar hasta que el contenido sea < 0.5%

(C) Calidad; (SP) Seguridad del producto; (R) Requerimiento Regulatorio

A continuación se muestra un esquema para el sistema de descarga de aceite en la Industria de Alimentos (Ver Figura No. 11).

Figura No. 11.- Diagrama del Sistema de Descarga de Aceite



Fuente : Cargill. Manual de manejo adecuado de aceite. México, 2008.

Almacenamiento del aceite : Durante el almacenamiento, el aceite debe ser monitoreado de manera diaria en cuanto a los siguientes parámetros :

- Espacio libre de oxígeno en el tanque : éste debe mantenerse < 0.5% y purgado con nitrógeno si se encuentra en mayor contenido.
- Valor de Peróxido : Un incremento en el VP indica la presencia de oxígeno disuelto en el aceite. Utilizando un difusor de metal en el fondo del tanque se puede esparcir el aceite con nitrógeno para remover el oxígeno disuelto. Este procedimiento se debe mantener hasta que el VP se estabilice. Si el VP continúa incrementándose, entonces el aceite debe ser utilizado rápidamente.
- Ácidos Grasos Libres : Si el aceite ha sido procesado adecuadamente, los AGL no deben incrementarse durante el almacenamiento, sin embargo, este valor debe ser reconfirmado en cada muestreo. Los AGL incrementan cuando el aceite se almacena a temperaturas altas, o se tiene fuga de vapor en el serpentín (vapor), o bien, si existe altos niveles de fósforo en el aceite (> 3 ppm). El aceite no debe ser utilizado si el valor de AGL excede el 0.05% ya que esto propiciaría un temprano desarrollo de sabor rancio en el producto empacado.

- Temperatura del aceite : Un aceite líquido debe mantenerse a una temperatura máxima de 43°C durante su almacenamiento mientras que para grasas o aceites hidrogenados, éstas debe estar 10°C por arriba de su punto de fusión. Se debe evitar por completo el sobrecalentamiento del aceite en el tanque.

Operación de freído : Controles de pre-arranque son recomendados para tener un inicio adecuado del proceso permitiendo obtener una vida de anaquel aceptable en el producto frito. Estos controles incluyen:

a) Análisis de calidad del aceite fresco :

- AGL < 0.05%
- VP < 2 meq/Kg (preferentemente <1)
- Valor de p-Anisidina (pAV) < 6 (preferentemente <4)
- Sabor Característico

Nota : Importante mencionar que VP y pAV son más altos que los mostrados en la Tabla No. 6 lo cual se debe a que siempre existe un incremento de ellos durante el almacenamiento del aceite aún cuando éste se encuentre con cama de nitrógeno.

b) Análisis de calidad del aceite usado :

- AGL < 0.5%
- VP < 5 meq/Kg

Una vez que se han realizado estos pre-chequeos con resultados satisfactorios, se procede al arranque del proceso. El procedimiento recomendado se encuentra en la Tabla No. 12.

Tabla No. 12 .- Procedimiento para el Arranque del Proceso de Freído⁸⁵

-
1. Analizar la calidad del aceite fresco (nuevo) y usado la cual deben coincidir con los requerimientos establecidos.
 2. En base a los resultados de los análisis físico-químicos, se determinará la mezcla de aceite fresco y usado a utilizar en el arranque del proceso. La relación aceite fresco/usado puede variar de 50:50 a 80:20 dependiendo en el VP y AGL del aceite usado.
 3. Checar que el freidor esté completamente limpio y asegurarse de que todas las válvulas de drenado estén cerradas.
 4. Calentar el aceite fresco a 98°C recirculándolo para separar el agua del aceite. No exceder los 104°C. En este paso se removerá el agua residual que haya quedado después de la sanitización.
 6. Mantener el aceite a temperatura baja.
 7. Comenzar a calentar el aceite a la temperatura de freído deseada; tan pronto alcance la temperatura comenzar con el proceso de freído.
 8. El aceite nuevo sólo se utilizará en las primeras dos horas de iniciado el proceso de freído, posteriormente se trabajará con la mezcla de aceite fresco/usado determinada en el paso No. 2.
-

Puntos importantes :

- Calentar el aceite a temperatura > 98°C durante la remoción del agua no disminuirá el tiempo de secado de manera significativa; en cambio, si oxidará al aceite antes del arranque del proceso.
- Utilizar una mezcla de aceite fresco/usado mejorará la vida de anaquel del producto en el arranque en comparación a si se utiliza 100% aceite usado..
- El uso del aceite 100% fresco durante todo el proceso de freído originará el desarrollo de sabor "verde" o a "hierba", razón por la cual se debe mezclar con aceite usado.

El freidor es como un reactor químico. Requiere de una alimentación constante, control de temperatura adecuada y reposición de aceite ya que éste se va agotando conforme va siendo absorbido por el producto frito. Durante una operación normal en una freidora continua, los AGL se incrementan y posteriormente alcanzan un estado constante permaneciendo prácticamente sin cambios, al menos de que se hayan producido interrupciones en el proceso. El estado constante del valor de AGL depende de factores tales como el tipo de producto a freír,

temperatura de freído, tipo de freidor e impurezas en el aceite que entra al proceso⁸⁶.

En la industria de alimentos es muy común que los operadores de las líneas de freído tengan descanso en su turno, por lo que en ese tiempo, no suministran alimento al proceso quedando el aceite sólo en el freidor y por tanto, contribuyen a su degradación rápida (Fig. No. 12).

Una forma de explicar la degradación del aceite a temperatura alta es la siguiente :

- Durante el proceso de freído, el aceite fresco introduce ciertos reactivos al freidor tales como AGL u otros compuestos oxidados. A esto se le llamará “entrada” (E).
- El freidor genera productos de reacción dependiendo de la temperatura del freidor y del producto a freir. A esto se le llamará “generación” (G).
- Algunos productos de reacción son acarreados por el producto frito. A esto se le llamará “salida” (S).
- Cantidades mínimas de compuestos de reacción se liberan a través de venteo (respiradero) o se pierden en el aceite.

⁸⁶ Coating Handbook for Prepared Food Processors (1999), Heat and Control. Inc. Hayward, Ca. p. 17

Figura No. 12.- Freidor/Reactor



Fuente : Coating Handbook for Prepared Food Processors (1999), Heat and Control. Inc. Hayward, Ca.

El balance de materia puede expresarse así :

$$\text{Salida (S)} - \text{Entrada (E)} + \text{Generación (G)} = \text{Acumulación (A)}$$

ó,

$$S - E + G = A$$

La operación en estado constante a una temperatura determinada no incrementa el valor de AGL. El producto acarrea los AGL provenientes en el aceite fresco así como los generados durante el freidor. Por tanto, no hay acumulación de AGL y el valor de A (Acumulación) en la ecuación de abajo es 0, es decir, la ecuación se reduce :

$$S - E + G = 0$$

ó,

$$S = E + G$$

Esta secuencia explica la razón por la cual los AGL no incrementan en un estado continuo.

En un paro temporal del freidor, no se tiene “entrada” ni “salida”, sólo “generación”, por tanto, si partimos de la ecuación :

$$S - E + G = A$$

Donde $S = 0$

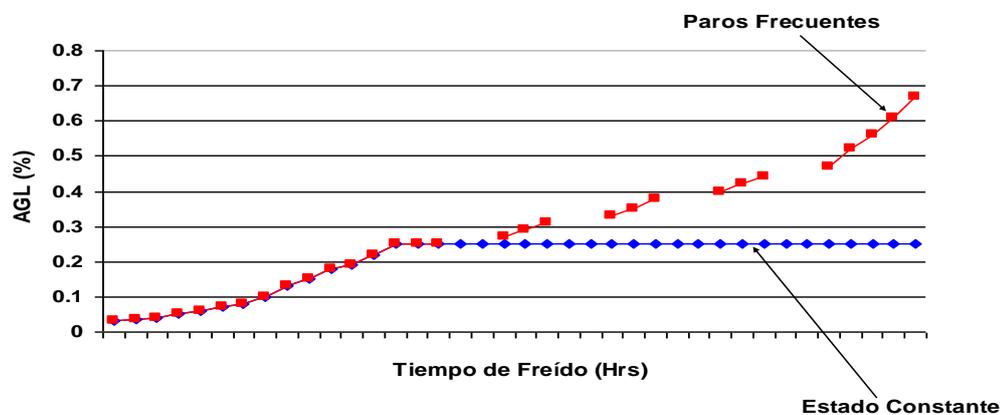
$$E = 0$$

Se tiene,

$$G = A$$

Durante un paro temporal, las reacciones en el aceite continúan y se acumulan productos de reacción ya que no se tiene alimento que los acarree. Como consecuencia de esto, los AGL se incrementan a niveles aún más altos que como anteriormente se tenían (Fig. No. 13)

Figura No. 13.- Comportamiento de Ácidos Grasos Libres en un Freidor Continuo



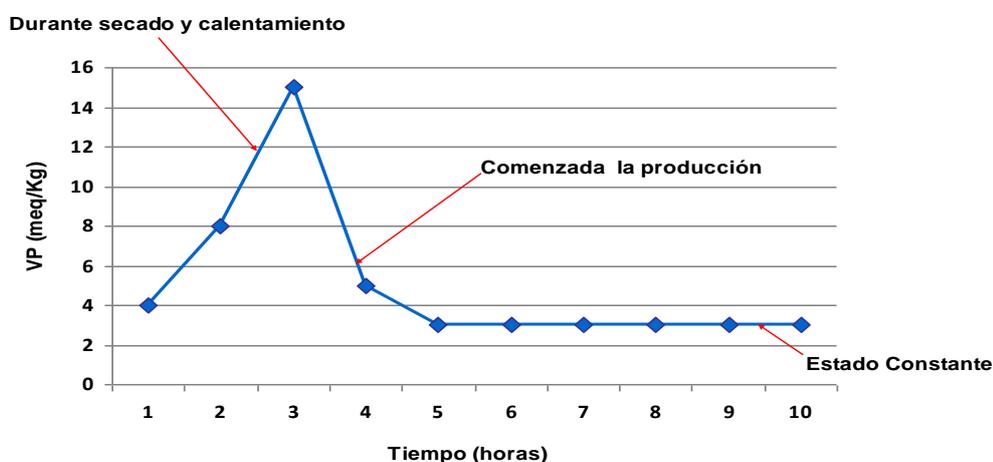
Fuente : E. J. B. Rossell (2001). Frying, improving quality. Woodhead Publishing Ltd. ISBN-1-85573-556-3

En cuanto a los peróxidos, éstos son inestables y se descomponen en aldehídos y cetonas. Muchos de ellos imparten mal sabor al producto frito y reducen su vida de anaquel. Algunos de estos compuestos son expresados en el valor de p-anisidina (pVA) los cuales pueden reaccionar para formar compuestos más complejos tales como los polímeros, ácidos grasos cíclicos y polares. Se espera que un aceite tenga un alto pVA si en un momento determinado presentó un alto nivel VP⁸⁷.

Controlar el pVA en el aceite fresco es importante, el cual debe ser < 4.0, además de que provee información sobre la estabilidad del producto frito. En la etapa inicial del proceso de freído se realiza la separación del agua (secado de aceite) por lo que el VP aumenta. Después de iniciado el freído, el VP decrece a un valor entre 2 a 4 meq/Kg (un valor mayor indicaría una oxidación adicional). Más tarde comienza una etapa en estado continuo donde el grado de formación de peróxidos y el grado de descomposición son prácticamente iguales razón por la cual el VP se mantiene a niveles bajos y constantes durante casi todo el proceso. El VP se incrementará si el aceite está en contacto con el aire en el sistema de freído o bien, se tiene una caída en la tasa de producción (Fig. No. 14).

⁸⁷ Tompkins, C y Perkins, E. (1999). The evaluation of frying oils with the p-Anisidine Value. Journal of the American Oil Chemistry Society. Volume 76, Numberr 8. 945-97.

Figura No. 14.- Comportamiento del Valor de Peróxido en el Freído Continuo



Fuente : E. J. B. Rossell (2001). Frying, improving quality. Woodhead Publishing Ltd. ISBN-1-85573-556-3

Durante la operación de freído, se recomiendan una serie de análisis físico-químicos que deben ser evaluados tanto en el aceite como en el producto y la frecuencia con la que deben realizarse. Estos análisis se presentan en la Tabla No. 13⁸³.

Tabla No. 13 .- Análisis Físico-químicos y Frecuencia recomendadas en Aceite y Producto⁸³

Análisis	Frecuencia	Límite Normal	Límite en Paro
ACEITE			
AGL	Cada 2 Hrs	0.02 – 0.035 %	< 0.5 %
VP	Cada 2 Hrs	Variable (a)	----
pVA	Cada 2 Hrs	Depende del producto	Depende del producto
PRODUCTO			
Humedad	Cada 2 Hrs	< 1.5% (b)	< 1.5 % (b)
Contenido de Aceite	Cada 2 Hrs	Depende del producto	Depende del producto
Sal	Cada 2 Hrs	Depende del producto	Depende del producto
Aderezo	Cada 2 Hrs	Depende del producto	Depende del producto
Sabor	Cada 2 Hrs	Debe cumplir especificación	Inaceptable

(a) Normalmente es de 2 a 4 meq/Kg

(b) La mayoría de los productos fritos tienen un contenido de humedad del 1.0 – 1.5%

Apagado del Freidor y Transferencia de Aceite Usado : Aunque es deseable contar con un proceso de operación continua, se presentan paros temporales con bastante regularidad por razones de problemas mecánicos u operacionales que inclusive tardan horas para ser corregidos⁸⁸. En estas circunstancias, el aceite se degrada rápidamente en el freidor. La Tabla No. 14 muestra un procedimiento recomendado para el manejo del aceite durante un paro temporal de la freidora.

Tabla No. 14 .- Procedimiento para Manejo del Aceite durante el Paro Temporal del Freidor⁸⁵

-
1. Tan pronto el freidor se apague, se deben desconectar :
 - a) Calentador de aceite
 - b) Bomba de recirculación de aceite
 - c) Sistema hidráulico de paletas
 2. Remover la línea transportadora
 3. Contar con un tiempo estimado para el paro del freidor; si éste será > 30 minutos, entonces se deberá empezar a enfriar el aceite.
 4. Continuar enfriando el aceite y mantenerlo en el freidor, cuando la temperatura alcance los 60°C, apagar la bomba de recirculación del aceite.
 5. El freidor estará listo para reiniciar el proceso cuando el aceite se encuentre frío. De esta manera, se empezará a recalentar el aceite y se procederá con la operación de freído. (a)
 6. Tomar una muestra del aceite para analizar AGL y VP para monitorear la calidad del aceite. En base a la vida de anaquel del producto frito, se establecerá una guía de calidad para el uso del mismo.
 7. Si el paro del freidor se prolongara a más de 4 – 6 horas, entonces el aceite deberá ser transferido a un tanque de retención y se utilizará el procedimiento para el paro total del freidor descrito en la Tabla No. 15.
 8. Sanitizar el freidor como se describe en la Tabla No. 16.

(a) El aceite se descompone aún más cuando está caliente que cuando se enfría y se recalienta posteriormente.

Para lograr un apagado adecuado del freidor (paro mayor de 4 a 6 horas) y mantener la buena calidad del aceite, es necesario tener un sistema de enfriamiento que permita disminuir la temperatura del aceite de manera rápida al final de la operación. El aceite usado es saturado

⁸⁸ Cuesta, C y Sánchez, F. J. (1998). Quality control during repeated frying. Grasas y Aceites 49 (3-4), 326 - 30

con nitrógeno antes de ser almacenado en el tanque de retención con el fin de minimizar la degradación oxidativa.

Esta degradación en el aceite se puede monitorear a través del VP; los cambios en el incremento del VP durante el apagado (paro) pueden ser controlados en el aceite si éste es enfriado rápidamente y de manera inmediata después de que haya sido detenido el proceso de freído.

La Tabla No. 15 muestra recomendaciones para el apagado del freidor y enfriamiento del aceite.

Tabla No. 15 .- Procedimiento para Apagado del Freidor y Enfriamiento del Aceite ⁸⁵

1. Apagar el calentamiento tan pronto el último producto haya entrado al freidor.
 2. Tomar muestra del aceite, analizar VP y AGL antes de empezar el enfriamiento.
 3. Abrir válvulas de entrada y salida del filtro y del enfriador.
 4. Comenzar el enfriamiento con la bomba de agua tan pronto salga el último producto del freidor.
 5. Abrir válvula de recirculación del aceite.
 6. Empezar a bombear el aceite usado.
 7. Abrir la válvula hacia el tanque de retención cuando la temperatura del aceite alcance 126 – 132°C.
 8. Recircular el aceite hasta que se enfríe a 60°C y transferirlo al tanque de retención.
 9. Adicionar nitrógeno a través de la línea de difusión en cuanto el aceite sea transferido.
 10. Ajustar el flujo de nitrógeno de 0.12 – 0.15 pies³/gal por minuto.
 11. Continuar la transferencia del aceite al tanque de recepción hasta que el freidor esté vacío.
 12. Cerrar la válvula de nitrógeno.
 13. Detener la bomba de agua y del aceite.
 14. Drenar el freidor, intercambiador de calor y tuberías.
 15. Preparar para la sanitización.
 16. Analizar VP y AGL del aceite en el tanque de retención.
-

Puntos importantes :

- Los valores de AGL tanto en el tanque de retención como antes de iniciar el enfriamiento, serán los mismos.
- El VP del aceite en el tanque de retención no debe ser mayor a 5 unidades por arriba del valor obtenido en el Punto No. 2.
- Aceite usado no debe ser almacenado por más de 5 días.

Sanitización del freidor : Es recomendable que el freidor y sus accesorios sean sanitizados al final de la operación. El propósito de la sanitización es remover el aceite residual y las partículas de materia acumuladas en el sistema. Si no se sanitiza, el aceite residual en el

sistema continuará siendo oxidado produciendo radicales libres que catalizan la descomposición del aceite aún más durante la operación siguiente. Las morusas actúan como esponja y absorben los componentes del aceite degradado creando una fuente concentrada de catalizador. Freidores que no han sido sanitizados presentan hidrólisis y oxidación rápidas en la operación posterior. La Tabla No. 16 presenta recomendaciones para este procedimiento⁸⁵.

Tabla No. 16 .- Procedimiento para Sanitizar el Freidor⁸⁵

-
1. Abrir las válvulas de drenaje para remover el aceite remanente del sistema.
 2. Cerrar las válvulas.
 3. Llenar el freidor con agua (no con solución caústica o detergente), calentar el agua a 76 – 82°C y recircularla por 15 minutos para remover todo el aceite del sistema.
 4. Drenar el agua.
 5. Cerrar todas las válvulas de drenaje.
 6. Llenar nuevamente el freidor con agua, calentarla de de 76 – 82°C y empezar a recircular el agua.
 7. Adicionar suficiente sosa caústica al freidor para preparar una solución al 5%.
 8. Recircular la solución caústica por 4 – 6 horas. Mantener el calentamiento.
 9. Drenar el agua del freidor.
 10. Llenar nuevamente el sistema con agua, recircular por 15 minutos y drenar.
 11. Llenar el freidor con agua para una segunda enjuagada.
 12. Adicionar de un cuarto a 2 galones de vinagre en el freidor (dependiendo del tamaño del freidor) y continuar recirculando por 15 minutos.
 13. Enjuagar el freidor una vez más.
 14. Analizar el pH del agua en el freidor durante la recirculación con un potenciómetro. El valor del pH deberá ser el mismo que el del agua suministrada en la comunidad.
 15. Vaciar el freidor.
 16. Abrir todas las válvulas de drenaje para drenar el agua residual.
 17. Cerrar las válvulas de drenaje.
-

Puntos importantes :

- Dado que el agua puede permanecer en el sistema de freído, se puede esperar también que la solución caústica esté presente después de la sanitización, por esta razón se realiza una adecuada neutralización con vinagre.
- El remanente de la solución caústica en el sistema reacciona con los AGL y el aceite neutro cuando el freidor es llenado y separada el agua del aceite. La presencia de jabón en el aceite causa un rápido incremento de los AGL, rápida oxidación y disminuye la vida de anaquel del producto frito.
- Una adecuada neutralización y drenaje cuidadoso del agua residual es muy importante para reducir tanto el tiempo de inicio del proceso de freído como el riesgo de tener solución caústica o detergente en el sistema.

Tiempo de Recambio del Aceite : El tiempo de recambio del aceite se define como el número teórico de horas requeridas para que el alimento

absorba la capacidad total del aceite contenido en la freidora. Éste se calcula en base al tipo de freidor, por ejemplo :

Aceite necesario para llenar la freidora	=	2000 lbs
Nivel de producción	=	1200 lb/hr
Absorción de aceite en el alimento	=	25%
Aceite acarreado por el alimento	=	$0.25 \times 1200 = 300$ lb/hr
Recambio teórico de aceite	=	$2000 \text{ lbs}/300\text{lb/hr} = 6.6$ hrs

Cuando existen altos tiempos de recambio, las consecuencias que se tienen son :

- AGL, VP y polímeros oxidativos incrementan rápidamente por lo que aumenta la posibilidad de desechar más aceite en el proceso.
- Reducción de la vida de anaquel de los productos fritos.

3.6 Equipo

La selección adecuada del sistema de freído es fundamental para optimizar el proceso operativo así como para obtener los atributos deseados en el producto final. Los criterios para esta selección son⁸⁹ :

⁸⁹ Quaglia, G., Comendador, J. & Finotti, E. (1998). Optimization of frying process in food safety. *Grasas y Aceites* 49 (3-4), 275-281.

- **Características del producto :**

a) Tipo de producto a freír : Una vez que el tipo de producto y sus características son definidas, se debe considerar el trabajar con equipos versátiles donde se pueda freír más de un producto sin sacrificar eficiencia ni calidad.

b) Flotación : Se necesita conocer si el producto se hunde en el aceite o si flota. Para productos “semi-flotantes”, el freidor requerirá sólo un transportador principal por si el producto se hunde; para productos que flotan, entonces se requerirá de manera adicional, un transportador sumergible ya que de esta manera el producto se mantendrá sumergido en el aceite por un cierto tiempo mientras el transportador principal acarrea el producto hacia el freidor.

c) Color de la superficie y textura deseada

d) Tipo de finos producidos : Son principalmente carbohidratos, estas migas son carbonizadas durante el freído por lo que pueden oscurecer al aceite y obtener un producto frito oscuro con sabor a quemado.

- **Volúmen de producción (Capacidad del freidor) :**

Varios factores son tomados en cuenta para determinar la capacidad de un freidor tales como el número de horas de operación por día, tiempo de freído necesario para el control adecuado de humedad y textura del producto así como frecuencia requerida de sanitización.

- **Sistema de calentamiento :**

La función primaria del freidor es remover la humedad del producto que se va a freír. El aceite provee el calor para vaporizar el agua presente en el alimento y el calor requerido para llevar al alimento a la temperatura de freído. Existen varios puntos en el proceso durante los cuales se pierde energía térmica. Por tanto, la capacidad térmica del freidor debe estar por arriba de la cantidad teórica de energía requerida para la deshidratación y calentamiento del producto. Las áreas en donde se pierde calor durante el freído deben ser consideradas para el diseño del sistema de calentamiento tales como :

- a) Calentamiento en la alimentación del producto a temperatura ambiente hasta la temperatura final del freidor.
- b) Deshidratación del producto frito.
- c) Velocidad de deshidratación del producto
- d) Calentamiento de todo el equipo incluyendo tuberías y filtros.
- e) Pérdida de la radiación de calor del freidor y horno.
- f) Pérdida de calor a través del escape del freidor.
- g) Pérdida de calor a través del conducto del calentador.
- h) Eficiencia térmica del sistema de intercambio de calor

- **Tiempo requerido para el recambio de aceite :**

Como se mencionó anteriormente, es el tiempo teórico que se requiere para que el producto absorba toda la cantidad de aceite

presente en el freidor; este es uno de los principales factores a considerar para el diseño del sistema de freído.

- **Remoción de finos y filtración de aceite :**

El sistema del freidor contiene un filtro para remover los finos del aceite. El tipo del filtro del freidor debe escogerse cuidadosamente en base al tamaño, cantidad y grado de dureza de los finos.

- **Limpieza y mantenimiento :**

El freidor debe ser sanitizado al final de la producción así como todos sus accesorios con detergentes sanitizantes o bien solución caústica. Partes inaccesibles del sistema como la campana son sanitizadas de manera automática a través de un dispositivo llamado CIP (limpieza en su lugar, por sus siglas en inglés).

- **Emisiones al ambiente :**

El freidor emite vapor, olores y químicos volátiles. Por esa razón es mandatorio instalarle un depurador para el control de emisiones.

Finalmente, y con el objeto de tener una mejor utilización del aceite en el proceso, el diseño del sistema de freído debe considerar :

- Construcción en acero inoxidable (evitar cobre y latón).
- Optimización de dimensiones para mayor superficie de contacto con el producto a freír.
- Control de la entrada de aceite y circulación para evitar puntos muertos.

- Filtración para eliminar continuamente los residuos.
- Minimizar la aireación del aceite caliente durante el bombeo.
- Eliminación eficiente de humos y condensaciones.
- Calentamiento homogéneo del sistema.
- Control del volúmen del aceite en el freidor para evitar que el recambio del aceite se incremente y se origine una rápida degradación.
- Limpieza fácil de filtros.
- Control estricto de temperaturas y tiempo de freído.
- Buena conducción del aceite hacia la freidora.
- Intercambiador de calor para reducir rápidamente la temperatura del aceite al final del periodo de trabajo.
- Almacenamiento adecuado del aceite usado.
- Limpieza regular de todo el sistema.

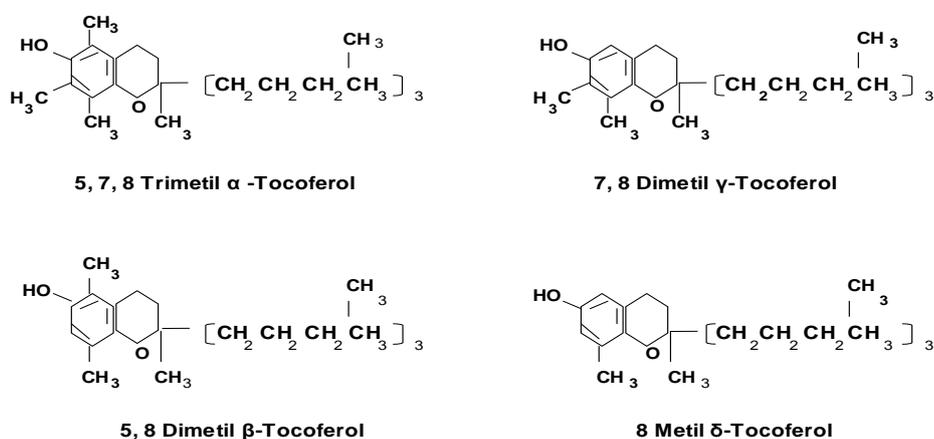
3.7 Aditivos

La estabilidad de un aceite o grasa durante el proceso de freído está determinada, en gran parte, por su composición de ácidos grasos. Sin embargo las cantidades y tipos de componentes minoritarios del aceite (tocoferoles, β -caroteno) y aditivos químicos o naturales (antioxidantes) pueden afectar su estabilidad y la calidad del producto

frito⁹⁰. Un aceite o grasa incrementa su vida útil al adicionarle antioxidantes además de que genera productos fritos de buena calidad. Los antioxidantes pueden ser naturales o sintéticos y pueden utilizarse ya sea de manera individual o en mezclas. Las mezclas de antioxidantes tienen efecto sinergista dando mayor protección.

Los tocoferoles son antioxidantes naturales que se encuentran en los aceites y están presentes en cuatro estructuras diferentes (α , β , γ , δ). Los tocoferoles son antioxidantes fenólicos que reaccionan con los radicales libres de los aceites interrumpiendo la reacción oxidativa y por tanto inhibiendo la oxidación de ácidos grasos (Fig. No. 15).

Figura No. 15.- Estructuras α , β , γ , δ -Tocoferoles



Fuente : Danisco. Curso sobre aplicación de antioxidantes. Brasil,. 2004.

⁹⁰ Malgorzata, N. K., Korcza, J., Elmadfa, I. & Wagner, H. (2005). Effect of tocopherol on the oxidative stability of a mixed hydrogenated fat under frying conditions. *European Food Research and Technology* 221 (3-4), 291-297.

Los tocoferoles se degradan más rápidamente en aceites calentados a temperaturas de freído que a temperatura ambiente por lo que la disminución de su concentración es una medida del deterioro del aceite.

De las cuatro estructuras de tocoferoles que existen, los γ -tocoferoles son los que presentan mayor actividad antioxidante; inclusive, inhiben la formación de compuestos polares y previenen la rancidez en los productos fritos⁹¹.

Algunos aceites son procesados de tal forma que mantienen los antioxidantes naturales como el aceite de oliva, canola o aceite rojo de palma.

El ascorbil-palmitato es un antioxidante natural utilizado en aceites o grasas de freído para incrementar su estabilidad ya que inhibe la formación de dímeros y retardan la pérdida de tocoferoles en el aceite.⁹²

Otro antioxidante natural es el extracto de romero el cual disminuye la formación de polímeros, compuestos polares y productos primarios de oxidación medidos a través de dienos.⁹³ En el extracto de romero se encuentran diversos diterpenos fenólicos, pero los más importantes por su actividad antioxidante son el carnosol y ácido carnósico. (Fig. No. 16).

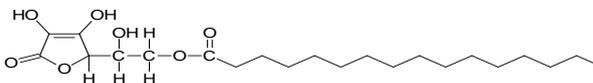
⁹¹ Warner , K., W. E. Neff, F.J. Eller (2003). Enhancing the quality and oxidative stability of aged fried food with gamma Tocopherol. J. Agric.Food Chem 51:623

⁹² Jaswir, I., Y.B. Che Man, D.D. Kitts (2000). Use of natural antioxidants in refined palm olein during repeated deep-fat frying. Food Res. Int 33:501

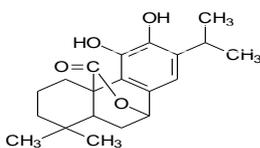
⁹³ Lalas S. Dourtoglou V. (2003). Use of rosemary extract in preventing oxidation during deep-fat frying of potato chips. J.Am. Oil Chem. Soc. 80:579 - 83

Figura No. 16.- Estructuras de Antioxidantes Naturales

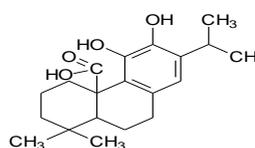
Ascorbil-palmitato



Extracto de Romero



Carnosol



Ácido Carnósico

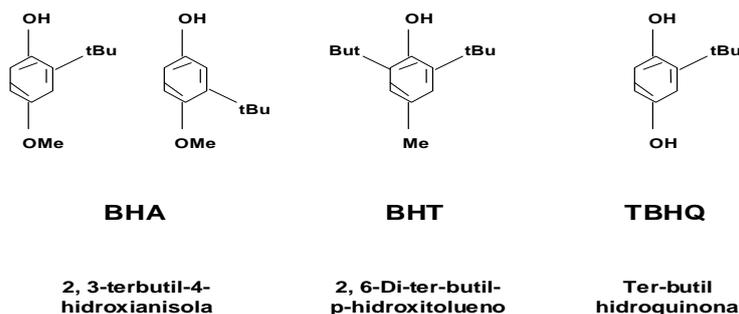
Fuente : Danisco. Curso sobre aplicación de antioxidantes. Brasil,. 2004.

Sin embargo, los procesadores de aceites usualmente adicionan antioxidantes químicos al aceite procesado para retardar los cambios indeseables durante el freído y para extender la vida útil del producto frito. Antioxidantes tales como butilato de hidroxianisol (BHA) y butilato de hidroxitolueno (BHT) son muy efectivos en la inhibición de la oxidación a temperatura ambiente, pero éstos se volatilizan rápidamente a temperaturas de freído.

Terbutil hidroquinona (TBHQ) tiene mejor estabilidad en aceites para freído que el BHA o BHT, por lo que puede proteger la vida útil del

aceite durante todo el proceso de freído e incluso protege al alimento frito durante su almacenamiento (Fig. No. 17)

Figura No. 17.- Estructuras del BHA, BHT y TBHQ



Fuente : Danisco. Curso sobre aplicación de antioxidantes. Brasil,. 2004.

TBHQ es mejor que α -tocoferol en cuanto a la reducción de AGL, compuestos polares y polímeros se refiere; sin embargo, el α -tocoferol es mejor que el TBHQ en la disminución de valores de anisidina.⁹⁴

Los antioxidantes deben cumplir con ciertas características para ser utilizados en el proceso de freído tales como⁹⁵ :

- Ser liposolubles para que puedan homogenizarse correctamente.
- Tener estabilidad térmica para que soporten las temperaturas del proceso.

⁹⁴ Jaswir, I., Y.B. Che Man, D.D. Kitts (2000). Optimization of physicochemical changes of palm olein with phytochemical antioxidants during deep-fat frying. J. Am. Oil. Chem. Soc. 77:1161

⁹⁵ Soto, R. (1999). Uso de antioxidantes en productos fritos. Soyanoicias. Marzo. Extraído en 2005 de <http://www.ag.uiuc.edu/~asala/espanol/profiles/NOTMar99.htm>

- Baja volatilidad para que no escapen del aceite durante la fritura.
- Efecto de acarreo, es decir, que el antioxidante continúe protegiendo del proceso oxidativo al aceite absorbido por el alimento frito.

Para que el efecto de los antioxidantes sea el óptimo, se debe considerar lo siguiente ⁹⁶:

- Tener una solución adecuada del antioxidante.
- Uso de la concentración correcta del antioxidante (la máxima concentración permitida por la legislación generalmente proporciona una protección adecuada y normalmente se refiere a 200 ppm).
- Utilizar el antioxidante correcto (depende del producto frito).
- Agregar antioxidante lo más pronto posible.

Otros aditivos utilizados en los aceites o grasas de freído son las siliconas los cuales son polímeros inorgánicos empleados como anti-espumantes. El más común es el polidimetilsiloxano, el cual, si se utiliza en una concentración de 0.03 ppm inhibe la oxidación del aceite de freído en un período de calentamiento prolongado.⁹⁷

⁹⁶ Danisco. Curso sobre aplicación de antioxidantes. Danisco Brasil, 2004.

⁹⁷ Dow Corning Corporation, Corporate Center, Midland, MI, Dow Corning Corporation Material Data Safety Sheet : 1 - 7 (2003).

CAPÍTULO IV

OPTIMIZACIÓN EN EL PROCESO DE FREÍDO

4.1 Proceso de freído adecuado

Existen tres factores que se deben controlar para realizar un adecuado proceso de freído; éstos son igualmente importantes y la falla en alguno de ellos repercutirá en la calidad del producto final⁸³ :

- Aceite
- Equipo
- Proceso

4.1.1 Aceite

La principal función del aceite empleado para freír es la de cocinar el alimento; sin embargo, durante el proceso de freído el aceite pasa de ser solamente el medio de cocción a ser un ingrediente más del producto. También contribuye en el producto final otorgándole textura, cuerpo, estructura y sabor. Por ello, el aceite es uno de los factores limitantes en la vida de anaquel del producto frito.

La calidad inicial del aceite empleado es de suma importancia para obtener buenos resultados durante la operación reflejándose en la calidad del producto final y en su vida de anaquel.

El cumplimiento de las especificaciones de calidad no es negociable ya que representa la base del desempeño de la operación.

Las características físico-químicas, sensoriales y físicas que un aceite o grasa debe tener para su adecuado desempeño en el proceso de freído son :

- Valor inicial de acidez bajo (0.05% máximo)
- No humear a bajas temperaturas (215°C máx en refinación física / 237°C máx en refinación química)
- Ser resistente a la degradación oxidativa
- No dejar resabio a grasa
- No proporcionar sabor al alimento o competir con su sabor
- Almacenarse en condiciones controladas para evitar deterioro y conservar las características de calidad

Por otro lado, si se consideran las condiciones de freído tales como temperatura, duración y la naturaleza de los alimentos a freír se podrá obtener un óptimo aprovechamiento del aceite.

4.1.2 Equipo

Con el fin de optimizar el proceso operativo, la selección del sistema de freído debe ser adecuado considerando :

- Características del producto a freír
- Necesidades de producción
- Sistema de calentamiento
- Recambio de aceite
- Remoción de finos
- Bandas transportadoras
- Emisiones al ambiente
- Limpieza y mantenimiento
- Soporte técnico por parte del proveedor

También se deben tomar en cuenta equipos alternos, los cuales son indispensables para lograr un buen manejo del aceite :

- Filtración
- Sistema de enfriamiento
- Controles de nivel de aceite
- Sistema de mezclado de aceite nuevo y usado

Para tener un eficiente proceso de freído, es importante que el equipo trabaje a su máxima capacidad ya que si trabaja por debajo de

ésta o de manera intermitente se tendrá problemas sensoriales y de vida de anaquel en el producto frito. Los productos de mejor calidad y consistencia se obtienen cuando el freidor trabaja a toda su capacidad y de manera continua, deteniéndose sólo para mantenimiento y limpieza ya programados.

Es importante también considerar que cuando se acerca el final de la producción, se debe de interrumpir el calentamiento y mantener la circulación del aceite. El soplador de aire del sistema de calentamiento debe mantenerse encendido para facilitar el enfriamiento de la freidora. Se recomienda emplear intercambiadores de calor aceite-agua para enfriar rápidamente el aceite y facilitar su envío para su almacenamiento.

4.1.3 Proceso

En el proceso de freído profundo existen tareas recurrentes y cíclicas tales como la limpieza del freidor así como cuidados tanto en el arranque como en la operación; con la realización de dichas tareas es posible asegurar que el sistema de freído logre los objetivos establecidos.

Limpieza : Por acción del aceite, y dado que es una materia prima sometida a altas temperaturas, se generan residuos que deben eliminarse. Igualmente, el producto que se fríe también genera residuos

que se adhieren a las paredes de los contenedores los cuales también deberán ser retirados. En la medida en que estos residuos no se mezclen con el producto nuevo y el aceite reciente, la calidad del producto final se mantendrá.

El proceso de limpieza debe realizarse con regularidad dentro y fuera de los equipos, ello contribuirá a que el sistema de freído incida positivamente en el manejo del aceite y el producto.

Una mejora para hacer más eficiente el proceso de freído implica precisamente el desarrollo de un programa de limpieza que especifique los productos químicos a utilizar, enjuagues, zonas de drenado de líneas, freidor e intercambiador de calor así como prueba de pH en el agua al inicio del lavado y al final de la operación⁹⁸.

La Tabla No. 17 muestra un formato con actividades, utensilios, detergentes o sanitizantes recomendados y algunas notas pertinentes que deben ser consideradas para la limpieza del sistema de freído⁹⁸ :

⁹⁸ CARGILL. Manual de manejo adecuado del aceite. México 2008

Tabla No. 17.- Instructivo para la Limpieza del Freidor⁹⁸

ACTIVIDAD	UTENSILIOS	DETERGENTE SANITIZANTE	NOTAS
<p>Recoger el material necesario al cuarto de Sanidad.</p>	<p>Bolsa de plástico.</p>		<p>Para tallar la parte de arriba del freidor deberá utilizar la escoba.</p>
<p>Cubrir con plástico los motores y tableros electrónicos.</p>			
<p>Remover y sacar la morusa o sólido del freidor.</p>	<p>Mangueras.</p>	<p>ZXW-100 Removedor de grasa,</p>	<p>Quitar todo el cochambre que se encuentra en las cadenas, con una espátula. También limpiar las paletas con espátula.</p>
<p>En caso de bajar las mallas, asegurar los gatos para evitar que pudieran lastimar al operador que realiza la limpieza adentro del freidor; éste deberá colocar unos cartones extendidos para recostarse y hacer la limpieza.</p>	<p>Cubeta.</p>	<p>Dilución: 50%, un litro de detergente por un litro de agua.</p>	
<p>En caso de bajar las mallas, asegurar los gatos para evitar que pudieran lastimar al operador que realiza la limpieza adentro del freidor; éste deberá colocar unos cartones extendidos para recostarse y hacer la limpieza.</p>	<p>Escoba.</p>		
<p>Llenar el freidor con agua a modo que recircule bien para así mandar el enjuague a la tina recuperadora de aceite que está en el cuarto de sólidos.</p>	<p>Hidrolimpiadora.</p>		<p>La evaporación queda concluida cuando ya no salga vapor y recircule bien el aceite (115°C).</p>
<p>Enjuagar el interior del freidor para que quede la menor cantidad posible de aceite.</p>	<p>Equipo</p>		
<p>Raspar y enjuagar los costados del freidor para eliminar los residuos de morusa que puedan estar pegados.</p>	<p>Espumador.</p>	<p>Divosan, Sanizante Dilución: 10%</p>	
<p>Llenar de agua el freidor, recircular y ponerla a calentar.</p>	<p>Espátula.</p>		<p>Los residuos que se le hayan quedado de morusa, quitárselos con hidrolimpiadora</p>
<p>Espumar la parte interior del equipo.</p>	<p>Pistola.</p>		
<p>Cuando el agua alcance la temperatura de 50°C, agregar Delvak (sosa), bajar la campana del freidor y dejar hervir durante 90 minutos a 85°C.</p>	<p>Ahorrador de agua.</p>		
<p>Quitar la tapa de la caja de los filtros para así poder bajarlos.</p>			
<p>Enjuagar la caja y espumarla.</p>			
<p>Espumar el exterior del freidor con la espumadora y tallarlo con un escobillón de cerdas de plástico (autorizadas por FDA).</p>			<p>Al terminar de enjuagar, tener cuidado de no dejar agua en la tubería de aceite, ya que al contacto con el aceite caliente, éste tiene un choque térmico muy peligroso que puede llegar a causar un accidente.</p>

Cont. Tabla No. 17.- Instructivo para la Limpieza del Freidor ⁹⁸

ACTIVIDAD	UTENSILIOS	DETERGENTE SANITIZANTE	NOTAS
<p>Después de haber dejado hervir el tiempo suficiente apagar el freidor y remojar los filtros en el agua contenida para lavarlos.</p> <p>Enjuagar los filtros con abundante agua para que no queden residuos del detergente.</p> <p>Enjuagar el freidor por lo menos tres veces recirculando el agua y verificar la prueba de ph para el enjuague.</p> <p>Colocar los filtros en su lugar.</p> <p>Eliminar los residuos restantes con agua fría.</p> <p>Dejar escurrir y purgar tuberías.</p> <p>Sanitizar y esperar a que seque el equipo.</p> <p>Realizar la validación de limpieza a través de la prueba de pH.</p> <p>Agregar el aceite suficiente para la recirculación y poderlo evaporar.</p> <p>Quitar el plástico de los motores y controles.</p> <p>Dejar el freidor evaporado.</p> <p>Avisar al maestro de sanidad en turno para que revise el funcionamiento y la limpieza, si el equipo muestra alguna avería, reportarlo a Mantenimiento.</p> <p>Al finalizar la limpieza de la línea llenar un formato respectivo.</p>			<p>La disposición final de los residuos que son eliminados de la línea es el cuarto de basura.</p> <p>La disposición final del agua ocupada en los enjuagues es el cuarto de sólidos.</p>

Arranque y operación : Para lograr un arranque y operación apropiados, es recomendable que antes de iniciar la producción se realice un formato de control o inspección. Con ello, se podrá confirmar

que toda la línea de producción está lista evitando paros innecesarios y permitiendo llegar al nivel de producción máximo establecido en el menor tiempo posible.

Un ejemplo del formato de control o inspección se muestra en la Tabla No. 18⁹⁹:

Tabla No. 18.- Formato de Control para el Arranque del Proceso⁹⁹

PLANTA :			
LINEA DE PRODUCCION :	TURNO :	PRODUCTO :	FECHA :
CONFIRMAR CALIDAD/ FUNCIONAMIENTO	SATISFACTORIA	NO SATISFACTORIA	COMENTARIOS
Calidad del aceite nuevo			
Bandas de alimentación			
Bandas de salida del freidor			
Sazonador			
Alimentación de empaque			
Limpieza del freidor			
Máquinas de llenado			
REVISÓ :	SUPERVISOR :		

⁹⁹ Schwarzinger Maria, Ahammer Wolfgang, Gombos János, Retbauer Helmut, Welland Peter (2008). Optimum deep-frying. Recommendations by the German Society for Fat Science

Con el llenado de este formato de control así como con las siguientes recomendaciones, se logra hacer más eficiente tanto el arranque como la operación de freído⁹⁹ :

a) Arranque :

- Llenar el freidor aproximadamente 2 horas antes de iniciar con el proceso de freído
- Evaporar por debajo de los 110°C (sólo en caso de ser necesario)
- Evitar el calentamiento excesivo durante la evaporación
- Calentar el aceite a temperaturas de freído tan pronto como el agua se ha eliminado.

En algunas ocasiones durante esta etapa, puede presentarse la aparición de una capa de espuma en la superficie del aceite lo que indica presencia de residuos de sosa o jabón en el sistema. Para ello, y con el fin de garantizar un manejo eficaz del proceso de freído, se debe desechar el aceite, enjuagar la freidora y reiniciar. Un aspecto lechoso durante el llenado es indicio de que no se drenó adecuadamente el agua de lavado.

b) Operación :

- Llegar al máximo de producción tan rápido como sea posible

- Mantener el control de temperatura y volúmen de aceite durante todo el turno de producción
- Operar el freidor sin interrupciones al menos de que se requieran reparaciones o bien, cambios de producto

Arrancar y parar el equipo diariamente produce variaciones en la calidad del producto frito así como stress oxidativo en el aceite; esto se debe a que se producen más peróxidos durante el calentamiento para alcanzar la temperatura de freído en el aceite, que durante la operación continua a la temperatura de freído.

Las altas temperaturas aceleran el proceso de freído y la descomposición del aceite. Temperaturas más bajas desarrollan colores más claros, provocan mayor absorción del aceite y hacen lento el proceso de freído. Por lo tanto, esta situación implica encontrar una óptima relación tiempo-temperatura de freído para cada producto a freír.

4.2 Filtración

Durante el freído, el alimento llega a desprender algunos fragmentos que continúan calentándose hasta perder toda su humedad y pueden terminar carbonizándose, formando lo que comúnmente se conoce como cenizas, las cuales afectan la coloración del aceite y el

sabor de los alimentos fritos. Las cenizas insolubles en el aceite deben retirarse mediante un sistema de filtración.

La filtración es un paso crítico en el proceso de freído. El alimento acumulado formará carbones, los cuales serán facilitadores de las reacciones de descomposición del aceite.

Existen dos sistemas de filtración para el aceite de freído:

- Pasiva
- Activa

Filtración Pasiva :

En la filtración pasiva, se remueven las partículas insolubles en el aceite; ésta puede ser a su vez absoluta o profunda.

- Absoluta : Se remueven las partículas mediante películas, hojas, membranas de plástico y papel o mediante cartuchos metálicos
- Profunda : Se remueven las partículas mediante un lecho o torta de ayuda-filtro, como tierra diatomácea u otro polvo inerte.

Filtración Activa :

En este tipo de filtración, se va más allá de la separación mecánica de impurezas. Durante el freído se producen compuestos volátiles y no volátiles. Los volátiles escapan del medio de freído mediante el arrastre

de vapor. Los no volátiles formados en el aceite son básicamente ácidos grasos, mono- y diglicéridos, dímeros y polímeros, entre otros. Mediante la filtración activa se remueven también una parte de estos productos de degradación de aceite no volátiles que son solubles en el aceite.

A su vez, existen dos tipos de filtración activa: separación de fase-ruptura de emulsión y de adsorción.

- Separación de fase-ruptura de emulsión : El aceite se pone en contacto con una solución acuosa. Las impurezas polares se extraen a la fase acuosa; posteriormente esta fase acuosa se separa y el aceite se devuelve a la freidora.
- Adsorción : El adsorbente atrae a los productos de degradación polares, los retiene y se remueven del aceite al filtrar mecánicamente el adsorbente usado. Al aplicar una filtración activa se mejora la calidad del aceite.

En cuanto al adsorbente, éste se selecciona en base a¹⁰⁰ :

- Costo del material
- Capacidad de adsorción del material
- Selectividad de la adsorción
- Cantidad de aceite absorbido
- Velocidad de filtración
- Seguridad

¹⁰⁰ ASA. El arte y la ciencia del freído con aceite de soya. American Soybean Association. ASA. US. 2009

Los adsorbentes principales disponibles en el mercado son :

- Carbón activado (marca Darco T-88)
- Alúmina acidificada (Brockmann).
- Alúmina neutra (ABA 6000)
- Alúmina básica (A-2)
- Tierra de Blanqueo (Tonsil Supreme)
- Silicato de calcio (Silasorb)
- Tierra diatomácea (FW-18)
- Silicato de magnesio (Magnesol XL)
- Sílica (Trisyl)

Para que la etapa de filtración contribuya de manera eficiente al proceso de freído se deberá seleccionar un sistema de filtración continua en base a :

- Tamaño de partícula de los sólidos a remover
- Flujo
- Características del producto de flotar o hundirse

La filtración es una operación que debe practicarse diariamente de forma obligatoria.

4.3 Manejo del aceite usado

Para que el manejo de aceite usado sea eficaz, se recomienda realizar lo siguiente⁸³ :

a) Transferir el aceite a un tanque : Una vez que el aceite haya sido removido del freidor y pueda conservar la calidad requerida en producción, el aceite debe ser filtrado y transferido a un tanque cuando la temperatura alcance valores de 65 – 70°C. La calidad del aceite se controla diariamente para determinar la mezcla idónea de aceite nuevo y usado.

b) Mezclas de aceite nuevo y usado : Con el fin de hacer más eficientes los costos, se pueden realizar mezclas de aceite nuevo y usado cuidando de mantener el aceite en un estado óptimo para freír (Tabla No. 19). Durante la mezcla se debe lograr que la degradación del aceite sea mínima, y aunque ésta continúa incrementándose, la calidad del producto no se encontrará comprometida¹⁰⁰.

Con los valores mostrados en la Tabla No. 19⁹⁸, se podrá seleccionar la mezcla de aceite nuevo y usado más adecuada, sin embargo, también se debe tomar en cuenta lo siguiente :

- Se deberá iniciar con aceite nuevo después de una limpieza profunda
- La recuperación de aceite usado se debe realizar con la línea estabilizada

- No se debe esperar a tener aceite con alto grado de degradación para iniciar la recuperación

Tabla No. 19.- Mezcla de Aceite Nuevo y Usado ⁹⁸

**PROPORCIONES DE MEZCLA DE ACEITE USADO Y NUEVO
(% ACIDOS GRASOS LIBRES)**

ACEITE EN TANQUE (% AGL)	MENOR A 0.22	0.23 A 0.32	0.33 A 0.41	0.42 A 0.50
ACEITE EN FREIDOR (% AGL)	% MEZCLA	% MEZCLA	% MEZCLA	% MEZCLA
Menor 0.2	50-50	40-60	30-70	20-80 (*)
0.21-0.35	40-60	30-70	20-80	10-90 (*)
0.35-0.45	30-70	20-80	10-90	0-100 (*)
0.45-0.55	0-100 (*)	0-100 (*)	0-100 (*)	0-100 (*)

NOTA :

Aceite Usado

Aceite Nuevo

(*) Una vez que el aceite se encuentre en esta zona, deberá evaluarse la necesidad de inyectar al freidor solamente aceite nuevo hasta que pueda realizarse el paro para limpieza y desalojo del aceite quemado

4.4 Agentes que causan la descomposición del aceite o grasa

Es de suma importancia conocer los agentes que originan la descomposición del aceite durante el proceso de freído con el fin de

evitarlos en lo posible. La Tabla No. 20 presenta los agentes que originan degradación así como las posibles causas⁹⁸ :

Tabla No. 20.- Agentes que causan la Descomposición del Aceite o Grasa⁹⁸

AGENTE	ORIGEN
Aire	<ul style="list-style-type: none"> - Almacenamiento inadecuado - Freidoras abiertas - Bombas en mal funcionamiento
Calor	<ul style="list-style-type: none"> - Sobrecalentamiento - Nivel bajo de aceite no controlado
Humedad	<ul style="list-style-type: none"> - Fugas en el sistema - Falta de drenado en líneas, intercambiador o freidor - Alimentos
Metales	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento inadecuado, usando metales como cobre, bronce.
Filtración inadecuada	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de equipo de filtración - Filtros rotos - Filtros de tamaño de malla inadecuado.
Agentes de limpieza	<ul style="list-style-type: none"> - Enjuague deficiente durante la limpieza - Contaminación accidental por limpieza en zonas cercanas.
Deficiente mantenimiento del aceite	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de filtración
Calidad inicial del aceite	<ul style="list-style-type: none"> - Aceite de calidad inferior a la que se indica en la especificación
El tipo de alimento que será frito	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentos altos en humedad - Alimentos con gran cantidad de grasa.
Aditivos / Ingredientes específicos	<ul style="list-style-type: none"> - Ingredientes o aditivos con altos contenidos en sal, metales - Inadecuada adición de antioxidantes.

En la medida en que se prevea la descomposición del aceite, se asegurará el óptimo desarrollo del proceso.

4.5 Guía de solución de problemas

En el proceso de freído profundo pueden ocurrir una serie de problemas relativos a los elementos que lo integran, tal como la maquinaria, el aceite, el producto a freír, el proceso de limpieza, entre otros¹⁰¹. En seguida se presenta una guía que contiene alertas, causas y soluciones (Tabla No. 21)⁹⁸.

La Tabla No. 21 muestra los problemas más frecuentes en el freído industrial por lo que pretende ser una guía para la solución de los mismos contribuyendo en mejoras para hacer más eficiente el proceso de freído profundo en la industria de alimentos.

¹⁰¹ Navas Sánchez, José Antonio. (2005). Optimización y control de la calidad y estabilidad de aceites y procesos de fritura. Universidad de Barcelona. Departamento de Nutrición y Bromatología

Tabla No. 21.- Guía para la Resolución de Problemas ⁹⁸

Alerta	Causa	Solución
Aceite humeando	<p>Aceite nuevo fuera de especificación.</p> <p>Exceso de morusa (alimento quemado) en el freidor.</p> <p>Filtración inadecuada.</p> <p>Presencia de químicos extraños o en exceso como:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Residuos de productos empleados para limpiar. - Sobredosificación de antioxidante <p>Sistema agotado. Los datos de control de calidad: índice de peróxido, ácidos grasos libres o valor peróxidos se incrementan rápidamente.</p> <p>Bajo nivel de producción.</p> <p>Exceso de humedad en el producto. Se observa abundante formación de vapor de agua al ponerse en contacto el producto con el aceite.</p> <p>Ciertos ingredientes (especias, azúcar y proteínas).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Revisar que el aceite cumpla con el punto de humeo que marca la especificación. - Comunicar al proveedor. - Revisar el equipo de retención de finos (catch box). - Parar la línea para eliminar producto retenido. - Revisar que se haya realizado el procedimiento de filtración. - Revisar los filtros y su funcionamiento. - Retirar el aceite, limpiar el freidor y enjuagar perfectamente. - Retirar el aceite y revisar la proporción de adición de antioxidante al freidor. - Cambiar lo más pronto posible el aceite para evitar pasar esta mala calidad al producto terminado. - Alcanzar el máximo nivel de producción programado lo más pronto posible para evitar largas permanencias del aceite en el freidor, mantener la temperatura en los límites mínimos del rango permitido. - Controlar la humedad del producto dentro de los rangos establecidos. - Evaluar el efecto de algunos ingredientes sobre las reacciones de descomposición del aceite, procurar adición mínima de ellos dentro de las bases a freír.

Alerta	Causa	Solución
<p>Formación de espuma en el freidor.</p> <p>Espuma blanca al inicio de producción después de una limpieza profunda.</p> <p>Espuma amarilla con burbujas que se rompen lentamente.</p>	<p>Deficiencia en el enjuague del freidor.</p> <p>Aceite agotado que ha llegado a su grado mínimo de calidad.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Desechar el aceite (para evitar sabores jabonosos en el producto) enjuagar y llenar nuevamente el freidor. - Desechar el aceite y cambiar por nuevo.
<p>Degradación rápida</p>	<p>Limpieza incorrecta, esta degradación es frecuente después de haber realizado una limpieza y cuando no se ha enjuagado adecuadamente el freidor.</p> <p>Falta de drenado después de una limpieza. El agua residual que queda en los equipos o tuberías acelera la degradación por hidrólisis.</p> <p>Exposición a metales desde el diseño del equipo y durante los trabajos de mantenimiento pueden haberse usado metales que en contacto con el aceite servirán de catalizadores a las reacciones de degradación.</p> <p>Freidoras con pobre mantenimiento. Con el tiempo el freidor va sufriendo deformaciones y se van incrustando polímeros (cochambre) que van provocando zonas de degradación del aceite.</p> <p>Temperatura calibraciones termostatos con falla en la detección.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cambiar el aceite por aceite nuevo para evitar sabores indeseables y no acortar la vida del producto terminado. - Revisar que los equipos tengan el dren en el lugar adecuado para permitir la completa eliminación del agua. - Revisar que el procedimiento de lavado indique la acción y los lugares de drenado. - Revisar si el freidor o todo el sistema en contacto con el aceite, especialmente con aceite caliente, tuvo algún trabajo de mantenimiento. Es recomendable que todo metal en contacto con el aceite sea de acero inoxidable. - Mantener un programa de mantenimiento preventivo semestral que deberá apoyarse semanalmente con las limpiezas del freidor. - Incluir dentro del programa de mantenimiento preventivo la revisión a los sensores de temperatura, limpiar correctamente los sensores para evitar que envíen datos erróneos al panel de control.

Alerta	Causa	Solución
Alimento demasiado claro	<p>Baja temperatura de aceite</p> <p>Aceite nuevo</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Confirmar que la temperatura del freidor es la adecuada. - Después de algunas horas el aceite se habrá oscurecido. - Ligeramente y contribuirá al dorado del producto.
Alimento demasiado oscuro	<p>Alta temperatura en el freidor</p> <p>Tiempo de freído prolongado</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Confirmar que la temperatura del aceite se encuentra dentro de los rangos establecidos. - Revisar que los tiempos de freído corresponden a los rangos establecidos.
Alimento grasoso	<p>Temperatura de freído baja.</p> <p>Aceite agotado por uso, el aceite se pone más espeso con el uso y se adhiere al producto.</p> <p>Alimento alto en humedad. detección.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Confirmar que la temperatura de aceite es la adecuada en base a los rangos establecidos y que se recupera el calor de acuerdo con el volúmen de alimento que ingresa a la freidora. - Cambiar el aceite en cuanto sea posible. - Disminuir lo más posible la humedad en el producto para evitar exceso en el intercambio agua-aceite.

CONCLUSIONES

1. Los cambios físicos y químicos que ocurren durante el proceso de freído están determinados por el aceite a utilizar (calidad, tipo y características), alimento a freír (tipo y características), condiciones de proceso (temperatura y tiempo), presencia de metales, oxígeno, luz, características del freidor así como grado y velocidad de renovación de aceite.

2. Las reacciones de hidrólisis, oxidación y polimerización, causantes del deterioro del aceite o grasa, pueden ser controlados y sus efectos limitados a través del manejo cuidadoso en las condiciones de freído tales como temperatura y tiempo.

3. Los factores que favorecen las alteraciones del aceite durante el proceso de freído son :
 - altas temperaturas
 - exposición al oxígeno del aire
 - mayor superficie de contacto aceite-aire
 - presencia de agua desprendida por el alimento
 - largo tiempo de proceso
 - presencia de contaminantes metálicos

- acción de la luz
 - presencia de partículas quemadas (morusas) en el medio de freído
 - contaminación por especias químicas provenientes del alimento
4. Los criterios para la selección del aceite, tipo de antioxidante a utilizar, eliminación del aceite quemado y tipo de freidor son necesarios para optimizar el proceso de freído y obtener alimentos fritos con calidad sanitaria y sensorial.
5. La guía de soluciones de los problemas más frecuentemente encontrados en el proceso de freído continuo contiene información relevante que contribuye a detectar y corregir, de manera asertiva, anomalías tanto en proceso como en producto terminado, por lo que ésta podría ser considerada como material didáctico en la capacitación de personal y formar parte de un programa integral para el manejo y cuidado del aceite o grasa de freído.
6. El conocimiento adecuado del proceso de freído permitirá el diseño de equipo y procesos que conduzcan a :
- una mejor calidad de los alimentos fritos

- un mejor aprovechamiento de la energía calorífica suministrada al equipo, y por ende, de los recursos energéticos
- un menor grado de contaminación del aceite o grasa utilizada y residuos generados
- la eliminación o disminución de riesgos para el operador
- la minimización de los costos involucrados en el proceso
- completa satisfacción por parte del consumidor

RECOMENDACIONES

1. Utilizar en el proceso de freído profundo un aceite que no presente los efectos negativos atribuidos a los ácidos grasos trans y ácidos grasos saturados. Los aceites altos oleicos (canola o girasol) o bien, soya baja en linolénico son una buena opción pero su uso está en función al costo total del producto final.
2. Realizar una lista de chequeo o inspección antes de iniciar el proceso de freído para evitar paros innecesarios y llegar en el menor tiempo posible a un nivel de producción máximo establecido.
3. Aplicar buenas prácticas durante el proceso de freído para asegurar la calidad sanitaria y sensorial del producto frito tales como :
 - aceite de buena calidad y estabilidad oxidativa
 - alimentos con las condiciones propicias para el proceso
 - temperatura adecuada
 - proporción correcta entre aceite y alimento
 - filtrado frecuente del aceite
 - vaciado y limpieza frecuente del equipo

- recambio del aceite
- análisis frecuentes del aceite durante su uso
- reutilización adecuada de aceite usado
- uso de antioxidantes
- preparación y educación del personal involucrado

BIBLIOGRAFIA

1. Anonymous recommendations of the 3rd. International Symposium on deep-fat frying (2002). Eur. J. Lipid Sci. Technol.
2. Anwar F., Shahid. S. A., Hussain, A.I. (2007). Assessment of oxidative deterioration of soybean oil at ambient and sunlight storage. Grasas y Aceites.
3. Arqué, Clemens J. (2008). Proceso de fraccionamiento de aceites y grasas por vía seca. Revista Alimentación, Equipos y Tecnología Págs. 40-43
4. ASA. El arte y la ciencia del freído con aceite de soya. American Soybean Association. ASA. US. 2009.
5. Ascherio, A. (2006). Trans fatty acids and blood lipids. Atherosclerosis 7: 25
6. Badui D. S. (2006). Química de los alimentos. 3^a ed. Prentice Hall. México.
7. Bansal, G; Zhou, W.; Barlow, P. J.; Joshi, P.; Lo, H.L & Chung, Y.K. (2010). Review of rapid tests available for measuring the quality changes in frying oils and comparison with standards methods. Critical reviews in Food Science and Nutrition, in Press.
8. Becerra Riqué, José. (2008). Control de calidad de aceites y mantecas de freído. ANIAME. Vol. 13. Num. 62. México.
9. Bognár, A. (1998). Comparative study of frying to other cooking techniques influence on the nutritive value. Grasas y Aceites 49 (3-4), 250 - 60
10. Canola and Sunflower Seeds.- http://www.dowagro.com/pgb/platforms/oilover/seeds/canola_sun.htm
11. Cargill. Manual de manejo adecuado del aceite. México. 2008.
12. Castro, M.; Aníbal. E. (2001). Estudio comparativo sobre la degradación de tres diferentes aceites vegetales, para determinar el más estable a utilizar en el proceso de fritura en la fabricación de botanas. Tesis Ing. Quím. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería.
13. Che Man, Y.B., L. Jialong, J.L. Liu (2000). The effects of THBQ and Alpha-Tocopherol on quality characteristics of refined-bleached and deodorized palm oil during deep-fat frying. J Food Lipids 6:117

14. Coating Handbook for Prepared Food Processors. (1999). Heat and Control. Inc. Hayward, Ca. p. 17
15. Comité Nacional Sistema-Producto Oleaginosas. Programa Nacional de Producción de Oleaginosas 2007-2012. México. 2007.
16. Cuesta, C y Sánchez, F. J. (1998). Quality control during repeated frying. *Grasas y Aceites* 49 (3-4), 326-30
17. Danisco . Curso sobre aplicación de antioxidantes. Danisco. Brasil 2004.
18. Dobarganes, M.C., Velasco, J. (2002). Analysis of lipid hydroperoxides. *Eur. J. Lipid Techno.*
19. Dow Corning Corporation, Corporate Center, Midland, MI, Dow Corning Corporation Material Data Safety Sheet : 1 - 7 (2003)
20. E.J.B. Rossell. (2001). *Frying, improving quality.* Woodhead Publishing Ltd. ISBN-1-85573-556-3
21. Esmiol, Sophie. (2008) *Aceite de palma: usos, orígenes e impactos.* España.
22. Farid, M.M. (2001). A unified approach to the heat and mass transfer in melting, solidification, frying and drying process. *Chemical Engineering Science* 56 : 5419 – 5427
23. Food and Drug Administration (2005). FDA acts to provide better information to consumers on trans fats (<http://www.fda.gov/oc/initiatives/transfat>)
24. Franco, Daniel. (2006). *Aceite de girasol.* Cámara de la Industria Aceitera de la República Argentina. Argentina.
25. Frank, D. G. (2004) *The chemistry of oils and fats.* CRC Press.
26. Frankel, E.N. (1998) *Lipid Oxidation.* (Frankel, E.N. Ed.) The Oily Press, Dundee, Scotland.
27. Frankel, E.N (2005). *Lipid Oxidation. 2nd. Edition,* edited by PJ Barnes & Associates. The Oily Press, Bridgwater, England.
28. Gertz, C. (2000). Chemical and physical parameters as quality indicators of used frying fats. *Eur.J. Lipid Sci. Technol.*
29. Gertz, Christian; Matthäus, Bertrand. (2006). *Deep Frying Recommendations.* Food Industries Association of Austria, FIAA.
30. *Grasas saludables, aplicaciones del aceite de palma.* AAK. (2009).

31. Grau, Anna; Guardiola, Francesc et al. (2000). Evaluation of lipid ultraviolet absorption as a parameter to measure lipid oxidation in dark chicken meat. *Journal Agriculture Food Chemistry.*, August 48 : 4128-4135
32. Gupta, M.K. (2005). *Frying Oils*. Bailey's Industrial and Fat Products, Sixth Edition, Six Volume Set. Shanhide, F. Ed. Wiley and Sons, Inc. New York, NY.
33. Hamm, W y Hamilton, H. (2001). *Edible Oil Processing*. Sheffield Academic Press
34. Hidalgo, F. J. y Zamora, R. (2000). El papel de los lípidos en el pardeamiento no enzimático. *Grasas y Aceites* 51 (1-2); 35 – 49
35. Holownia, K.I.; Eickson M.C.; Chinnan M.S. and Eitenmiller R.R. (2001). Tocopherol losses in peanut oil during pressure frying of marinated chicken strips coated with edible films. *Food Res. International* 34:77
36. Hu, F.B.; Mason, J. E., et al., (2001). Types of dietary fat and risk of coronary heart disease: a critical review. *Journal of the American College of Nutrition*, 20:5-19.
37. Infosan (2005). Acrilamida. Nota de información Red Internacional de Autoridades de Inocuidad de los Alimentos (INFOSAN) No. 2.
38. Jaswir, I., Y.B. Che Man, D.D. Kitts (2000). Optimization of physicochemical changes of palm olein with phytochemical antioxidants during deep-fat frying. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 77:1161
39. Jaswir, I., Y.B. Che Man, D.D. Kitts (2000). Use of natural antioxidants in refined palm olein during repeated deep-fat frying. *Food Res. Int* 33:501
40. Juárez, M. D., Masson, L. & Sammán, N. (2005). Deterioro de aceite de soja parcialmente hidrogenado empleado en la fritura de un alimento cárnico. *Grasas y Aceites* 56 (1), 53-58
41. Kim, M.K; Campos, H. (2003). Intake of trans fatty acids and low-density lipoprotein size in a Costa Rican Population. *Metabolism* 52:693
42. King, J. W. (2001). Hydrogenation of vegetable oils using mixtures of supercritical carbon dioxide and hydrogen. *Journal of American Oil Chemistry Society* Vol. 78 No. 2
43. Knothe, G. (2002). Structure indices in FA chemistry. How relevant is iodine value? *J.Am. Oil. Chem. Soc.* 79, 847-854
44. Krokida, M.K.; V. Oreopoulou; Z.B. Maroulis (2000). Water losses and oil uptake as a function of frying time. *J. Food Engng.* 44 (1) : 39-46

45. Lalas S. Dourtoglou V. (2003). Use of rosemary extract in preventing oxidation during deep-fat frying of potato chips. *J.Am. Oil Chem. Soc.* 80:579 - 83
46. Lawson, H (2001). *Food oils and fats. Technology, utilization and nutrition.* Nueva York: Chapman and Hall.
47. Lázaro Mazón Alonso. (2010). *Iniciativa con proyecto de ley para la prevención y combate de la obesidad.* Cámara de Senadores. México. 2010.
48. Malgorzata, N. K., Korczak, J., Elmadfa, I. & Wagner, H. (2005). Effect of tocopherol on the oxidative stability of a mixed hydrogenated fat under frying conditions. *European Food Research and Technology* 221 (3-4), 291-297.
49. Marcado, J.; La Rosaa y N. Salinasa. (2010). Influencia del proceso de fritura en profundidad sobre el perfil lipídico de la grasa contenida en patatas tipo "french", empleando oleina de palma. En *Revista Grasas y Aceites.* Venezuela. Enero-marzo
50. Marsh, K.S. (2001). Influence of product orientation on shock resistance of snack foods. *Packaging Technol. Eng.* 8:36
51. Mauger, J.F.; Lichtenstein, A.H.; Ausman, L.M.; Jalbert, S.M.; Jauhiainen, M.; Ehnholm, C.; lamarche. B. (2003). Effect of different forms of dietary hydrogenated fats on LDL particle size. *Am. J. Clin. Nutr.* 78 : 370-75
52. Mcsavage, J., Trevisan, S. (2001). The use and abuse of frying oil. *Food Service Technology.*
53. Mehta U, Swinburn B.(2001). A review of factors affecting fat absorption in hot chips. *Crit. Revs. Food Sci. and Nut.*
54. Mitmesser, S.H.; Carr, T.P. (2005). Trans fatty acids alter the lipid composition and size of apoB-100 containing lipoproteins secreted by Hep G-2 cells. *J. Nutr. Biochem.* 26: 178-83
55. M.K.Gupta, K. Warner, P.J. White (2004). *Frying Technology and Practices.* AOCS Press ISBN-1-893997-31-6.
56. Moncada L. M., Gualdrón L. 2005. Evaluación de la pérdida de nutrientes por cocción , freído y horneado de tres alimentos de consumo frecuente en la población colombiana. Informe Técnico científico. Universidad De La Salle, Bogotá D.C.
57. Monroy, Torres Rebeca (2009). Ácidos grasos trans : riesgos a la salud y legislación mexicana. *CONCYTEG Año 4 Núm 49.*

58. National Cottonseed Products Association
http://espanol.cottonseed.com/publications/sp_csobr.asp
59. Nawar, W. W. (1998). Volatile components of the frying process. *Grasas y Aceites* 49 (3-4), 271-274.
60. Navas Sánchez, José Antonio. (2005). Optimización y control de la calidad y estabilidad de aceites y procesos de fritura. Universidad de Barcelona. Departamento de Nutrición y Bromatología.
61. Norma Mexicana NMX-F-048-SCFI-2006. Alimentos - Aceites y Grasas Vegetales o Animales - Determinación de Puntos de Humeo, Flama e Ignición - Método de Prueba.
62. Norma Mexicana NMX-F-051-SCFI-2008. Alimentos - Aceites y Grasas Vegetales o Animales - Determinación del Índice de Anisidina - Método de Prueba.
63. Norma Mexicana NMX-F-068-SCFI-2008. Alimentos - Aceites y Grasas Vegetales o Animales - Determinación de Materiales Polares Totales en Aceites de Freído usados - Método de Prueba.
64. Norma Mexicana NMX-F-101-SCFI-2006. Alimentos - Aceites y grasas vegetales o animales - Determinación de ácidos grasos libres - Método de prueba (cancela a la NMX-F-101-SCFI-1987).
65. Norma Mexicana NMX-F-116-SCFI-2006. Alimentos - Aceites y Grasas Vegetales o Animales - Determinación de Color - Método de Prueba (cancela a la NMX-F-116 -1987).
66. Norma Mexicana NMX-F-154-SCFI-2010. Alimentos - Aceites y grasas vegetales o animales - Determinación del valor de peróxido - Método de prueba (cancela a la NMX-F-154-SCFI - 2005).
67. Norma Oficial Mexicana NOM-043-SSA2-2005. Servicios básicos de salud, promoción y educación para la salud en materia alimentaria. Criterios para brindar orientación.
68. Official methods and recommended practices of the American oil Chemist Society, 5th edn 2nd print., edited by D. Firestone, AOCS Press, Champaign, USA. 2003. Method Cd 12-57 : Active Oxygen Method.
69. Official methods and recommended practices of the American oil Chemist Society, 5th edn 2nd print., edited by D. Firestone, AOCS Press, Champaign, USA. 2003. Method Cd 12b-92 : Oil Stability Index (OSI)

70. Oil World (<http://www.oilworld.de>) (2011)
71. OMS. (2008). Las Américas libres de grasas trans: Declaración de Río de Janeiro. Organización Panamericana de la Salud.
72. OPS. (2008). Aceites saludables y la eliminación de ácidos grasos trans de origen industrial en las Américas: iniciativa para la prevención de enfermedades crónicas. Organización Panamericana de la Salud. Washington.
73. Perkins, E. (2004). Deep-Frying. 3rd. Ed. AOCS Press.
74. Proyecto Norma Mexicana PROY-NMX-F-017-SCFI-2010. Alimentos - Aceites y Grasas - Determinación de la composición de ácidos grasos por cromatografía de gases en columna empacada - Método de prueba (cancelará la NMX-F-017-SCFI-2005).
75. Proyecto Norma Mexicana PROY-NMX-F-152-SCFI-2010. Alimentos - Aceites y Grasas Vegetales o Animales - Determinación del Índice de Yodo por el Método Ciclohexano - Método de prueba (cancelará la NMX-F-152-SCFI-2005).
76. Quaglia, G., Comendador, J. & Finotti, E. (1998). Optimization of frying process in food safety. *Grasas y Aceites* 49 (3-4), 275-281
77. R. Moreira, M.E. Castell-Perez, M.A. Barrufet. (2001). Deep-frying-fundamentals and applications. An Aspen Publication ISBN-0-8342-1321-4
78. Rjah, K.K. (2002). *Fats in Food Technology*. Sheffield Academic Press
79. Rodríguez Arzave, J.A.; Anguiano Dávalos, Z.J.; Molina Garza M.A. (2009). Microensayo para determinación del Índice de Yodo basado en el Método de Hanus. *Revista de Salud Pública y Nutrición*. Ed. Especial. Vol 10
80. Rules and Regulations (2003). Fed. Register 68 : 41433 – 41506
81. S/A (2005). Substancias tóxicas en la oxidación de grasas y aceites. Universidad del País Vasco. *Alimentaria online*. Consultado en : http://www.alimentariaonline.com/imprimir_notas.asp?did=807 el 7 de Abril de 2010.
82. Sanibal E. A. A.; Manzini-Filho, J. (2005). Aceite para freír y la calidad de la grasa medida por análisis químicos, físicos y con equipos de ensayo de laboratorio. *Revista Aceites y Grasas* 1 : 170-76

83. Sargis R.M; Subbaiah P.V. (2003) Trans unsaturated fatty acids are less oxidizable than cis unsaturated fatty acids and protect endogenous lipids from oxidation in lipoproteins and lipid bilayers. *Biochemistry* 42: 11533-11543
84. Sayas Barberá; M. Estrella. (2001). *Manual de Laboratorio en Industria de Aceites y Grasas*. Universidad Miguel Hernández de Elche, España.
85. Schwarzinger Maria, Ahammer Wolfgang, Gombos János, Retbauer Helmut, Welland Peter. (2008). Optimum deep-frying. Recommendations by the German Society for Fat Science.
86. Senado de la República LXI Legislatura. Comisión permanente. *Gaceta Parlamentaria*. Miércoles, 25 de Mayo de 2011. Segundo receso comisión permanente. No. *Gaceta* 7
87. Seriburi, V., and Akoh, C. C. (1998). Enzymatic interesterification of lard and high-oleic sunflower oil with *Candida Alartica* lipase to produce plastic fats. *Journal of American Oil Chemists' Society*, 75(10), 1339–1345.
88. Soriano J.M., Molto J.C., Mañez J. Hazard analysis and critical points in deep-fat frying. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2002
89. Soto, R. (1999). Uso de antioxidantes en productos fritos. *Soyanoticias*. Marzo. Extraído en 2005 de <http://www.ag.uiuc.edu/~asala/espanol/profiles/NOTMar99.htm>
90. Stier, R.F. (2004). Tests to monitor quality of deep-frying fats and oils. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 106 : 766-71
91. Tiffany, T; Peitz, M.; Clark, D.; Billiter, K. & Kickle, B. (2009). Laboratory Frying Evaluation of Palm Olein and Domestic Vegetable Oil Blends. 6th Global Oils and Fats Forum.
92. Tompkins, C y Perkins, E. (1999). The evaluation of frying oils with the p-Anisidine Value. *Journal of the American Oil Chemistry Society*. Volume 76, Number 8. 945-47.
93. United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service, U.S. AgExporter (<http://www.fas.usds.gov>) (2010).
94. Valenzuela, A.; Morgado, N. (1999). Trans fatty acid isomers in human health and in the food industry. *Biol. Res.* 32:273-287
95. Valenzuela, A. , Sanhueza, J., Nieto, S., Peterson, G., Tavella, M. (2003). Estudio comparativo, en fritura, de la estabilidad de diferentes aceites vegetales. *Revista Aceites y Grasas*. 4 : 568-73

96. Villalpando, S., Ramírez, I., Bernal, M., De la Cruz, G. (2007). Grasas, dieta y salud : Tablas de composición de ácidos grasos de alimentos frecuentes en la dieta del mexicano. 1ª Edición. México: Instituto de Salud Pública de México.
97. Warner , K., W. E. Neff, F.J. Eller. (2003). Enhancing the quality and oxidative stability of aged fried food with gamma Tocopherol. J. Agric.Food Chem 51:623
98. Witting de Penna, E. (2002). Evaluación sensorial : una metodología actual para tecnología de alimentos. Talleres gráficos USACH. Santiago de Chile.
99. Yagüe Aylón M.A. (2003). Estudio de utilización de aceites para fritura en establecimientos alimentarios de comidas preparadas. Informes técnicos. Observatorio de la Seguridad Alimentaria. <http://magno.uab.es/epsi/alimentaria/mangeles-aylon.pdf>
100. Yam, D., Friedman J., Bott-Kanner G., Genin I., Shinitzky M., Klainman E. (2002). Omega-3 fatty acids reduce hyperlipidaemia, hyperinsulinaemia and hypertension in cardiovascular patients. Journal of Clinical and Basis Cardiology 5(3):229-231
101. Yamsaengsung, R. y R.G. Moreira (2002). Modeling the transport phenomena and structural changes during deep fat frying. Journal of Food Engineering 53 (1) 1-10 y 11-25

INDICE DE TABLAS

No. 1.- Ácidos grasos más comunes	11
No. 2.- Contenido de ácidos grasos en algunos aceites y grasas comestibles	12
No. 3.- Porcentaje de ácidos grasos en aceites para freír	26
No. 4.- Grados de oxidación de ácidos grasos	34
No. 5.- Análisis físico-químicos en aceites y grasas para freído industrial	38
No. 6.- Especificaciones físico-químicas en aceites y grasas para freír	43
No. 7.- Contenido de tocoferoles y tocotrienoles en aceites para freír	45
No. 8.- Estabilidad oxidativa antes y después del proceso de hidrogenación	49
No. 9.- Procedimiento de carga del aceite en planta procesadora (proveedor)	84
No.10.- Procedimiento de recepción de aceite	85
No.11.- Procedimiento de descarga de aceite en planta del cliente	86
No.12.- Procedimiento para el arranque del proceso de freído	89
No.13.- Análisis físico-químicos y frecuencia recomendadas en aceite y producto	94
No.14.- Procedimiento para manejo de aceite durante el paro temporal del freidor	95

No.15.- Procedimiento para apagado del freidor y enfriamiento del aceite	96
No.16.- Procedimiento para sanitizar el freidor	97
No.17.- Instructivo para la limpieza del freidor	113
No.18.- Formato de control para el arranque del proceso	115
No.19.- Mezcla de aceite nuevo y usado	122
No.20.- Agentes que causan la descomposición del aceite o grasa	123
No.21.- Guía para la resolución de problemas	125

INDICE DE FIGURAS

No. 1.- Estructura de un triacilglicérido	8
No. 2.- Formas cis y trans	15
No. 3.- Porcentaje de AGL en aceites frescos (cero ciclos) y después de cinco ciclos de freído	30
No. 4.- Valor de peróxido (cero ciclos) y después de cinco ciclos de freído	31
No. 5.- Índice de yodo (cero ciclos) y después de cinco ciclos de freído	33
No. 6.- Proceso de hidrogenación	46
No. 7.- Formación de ácidos grasos trans y saturados durante el proceso de hidrogenación	47
No. 8.- Hidrólisis	67
No. 9.- Oxidación	70
No.10.- Polimerización	71
No.11.- Diagrama del sistema de descarga de aceite	86
No.12.- Freidor/Reactor	91
No.13.- Comportamiento de ácidos grasos libres en un freidor continuo	92
No.14.- Comportamiento del valor de peróxido en el freidor continuo	94
No.15.- Estructuras α , β , γ y δ -tocoferoles	103
No.16.- Estructuras de antioxidantes naturales	105
No.17.- Estructuras del BHA, BHT y TBHQ	106

INDICE DE CUADROS

No. 1.- Transferencia de calor y masa durante el proceso de freído profundo	57
No. 2.- Reacciones durante el freído	60
No. 3.- Parámetros físicos y químicos que impactan la calidad del medio de freído y del producto frito	73
No. 4.- Análisis físico-químicos de aceite o grasa de freído	82