

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**ESTUDIO TEÓRICO Y EXPERIMENTAL PARA LA
CONSERVACIÓN DE ACEITES VEGETALES EN
EMPAQUES FLEXIBLES POLIMÉRICOS**

BOGOTÁ, ENERO DE 2005

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**ESTUDIO TEÓRICO Y EXPERIMENTAL PARA LA
CONSERVACIÓN DE ACEITES VEGETALES EN
EMPAQUES FLEXIBLES POLIMÉRICOS**

Juvenal Benítez Palmeth

**Proyecto de grado desarrollado para optar el título de
Magíster en Ingeniería Mecánica**

**Ase sor:
Jorge Alberto Medina Perilla
Dr. Ing. Industrial**

BOGOTÁ, ENERO DE 2005

Agradezco de manera muy especial a Jorge Alberto Medina por la confianza que me depositó para el desarrollo de éste proyecto, sus recomendaciones fueron muy útiles. A el Ing. José Rafael Gutiérrez por toda la disposición de tiempo y conocimiento para encontrar soluciones lógicas en el desarrollo del proyecto. A José Mauricio Gómez, director de calidad y desarrollo de productos de la empresa Promociones Industriales S.A. por compartir toda la experiencia que tiene en el área de empaques y facilitar la obtención de resultados. A Carlos Andrés Rodríguez por sus consejos. A todo el equipo humano del CIPP por la ayuda prestada.

De igual forma agradezco a mis padres y hermanas por todo el apoyo incondicional que me han brindado siempre y de cual no estuvo exento éste proyecto.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
2. MARCO TEÓRICO.....	13
2.1 LÍPIDOS Y ACEITES VEGETALES.....	13
2.1.1 Lípidos saponificables.....	14
2.1.1.1 Acilglicéridos.....	14
2.1.2 Agentes y mecanismos de degradación en aceites.....	15
2.1.2.1 Rancidez hidrolítica.....	15
2.1.2.2 Rancidez oxidativa o auto-oxidación.....	16
2.1.3 Polimerización.....	19
2.1.4 Aceites vegetales comestibles.....	19
2.1.4.1 Características principales.....	20
2.1.4.2 Propiedades funcionales.....	20
2.1.5 Normatividad Colombiana para Aceites.....	20
2.2 PERMEABILIDAD DE POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS.....	23
2.2.1 Ecuaciones de transporte.....	23
2.2.2 Flujo de masa.....	23
2.2.3 Ecuación diferencial de la difusión.....	24
2.3 TERMO-SELLADO DE PELÍCULAS PLÁSTICAS.....	26
3. ESTADO DEL ARTE.....	26
3.1 DESARROLLO DE EMPAQUES FLEXIBLES EN EL MUNDO.....	26
3.2 DISTRIBUCIÓN DE ACEITES COMESTIBLES EN COLOMBIA.....	27
3.3 CONSUMO DE ACEITES COMESTIBLES EN COLOMBIA.....	29
3.4 INTEGRACIÓN A TECNOLOGÍA LOCAL DISPONIBLE.....	30
3.4.1 Equipos.....	30
4. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA FLEXIBLE.....	30
4.1 ANÁLISIS DE LOS REQUERIMIENTOS DEL ACEITE.....	31
4.1.1 Relación costo/beneficio.....	31
4.1.2 Barrera al oxígeno.....	31
4.1.2.1 Determinación de la ganancia máxima de oxígeno permisible en una mezcla de aceites vegetales.....	32
4.1.3 Sellado.....	33

4.2 DESARROLLO DE LA ESTRUCTURA EN CUANTO A BARRERA AL OXIGENO.....	34
4.2.1 Estructuras de referencia.....	34
4.2.1.1 Caracterización de las estructuras de referencia.....	34
4.2.2 Selección de resinas para barrera al oxígeno.....	37
4.2.3 Cálculos teóricos de las vidas útiles de un aceite cuando se almacena en diferentes estructuras y envases.....	38
4.2.3.1 Vidas útiles de un aceite cuando se almacena en diferentes estructuras.....	39
4.2.4 Resultados obtenidos en cuanto a barrera al oxígeno.....	40
4.3 DESARROLLO DE LA ESTRUCTURA EN CUANTO A CAPACIDAD DE SELLADO.....	40
4.3.1 Ensayos experimentales.....	40
4.3.2 Resultados obtenidos en la capacidad de sellado.....	42
4.3.3 Prueba de sello en caliente.....	42
4.4 RELACIÓN COSTO-BENEFICIO.....	42
4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	43
4.5.1 Relación costo beneficio.....	43
4.5.2 Capacidad de sellado.....	44
4.5.3 Materiales de barrera al oxígeno.....	44
4.6 ESTRUCTURA FINAL.....	45
5 CONCLUSIONES.....	46

LISTA DE CUADROS

Quadro1. Cantidades de aditivos permitidos para el aceite de soya, oleina de palma y mezcla de aceites vegetales de NTC 254, 3748 y 400.....	21
Quadro2. . Porcentajes de ácidos grasos para aceite de soya y oleina de palma de acuerdo a las NTC 254 y 3748.....	21
Quadro3. Especificaciones del ICONTEC para aceites comestibles, de las NTC 254, 3748,400.....	21
Quadro 4. Normatividad colombiana para aceites vegetales comestibles.....	22
Quadro 5. Características de los envases y aceites de 500, 250 y 120 cc comercializados en los estratos 1,2 y 3 de Bogotá.....	28
Quadro 6. Producción y consumo aparente de aceites crudos y refinados en Colombia	29
Quadro 7. Costo y material de los envases utilizados actualmente.....	31
Quadro 8. Espesores de botellas de PET de 125, 250 y 1000c.c.....	35
Quadro 9. Valores de permeabilidad al oxígeno de las estructuras y envases de referencia.....	36
Quadro 10. Gramaje de botellas de PET de 125 y 250c.c.....	37
Quadro 11. Posibles resinas a utilizar para barrera al oxígeno.....	37
Quadro12. Vidas útiles calculadas del aceite almacenado en diferentes estructuras.....	39
Quadro 13. Estimación de costos de estructuras.....	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los lípidos.....14
Figura 2. Estructura molecular de los aceites comestibles.....14
Figura 3. Esquema de difusión en un volumen diferencial.....25
Figura 4. Esquema de flujo unidireccional.....38

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Curvas de sellado de cada uno de los materiales estudiados con y sin aceite como agente contaminante.....42

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Bolsas tipo Doypack.....	27
Imagen 2. Envases semirrígidos encontrados en el mercado colombiano en presentaciones de 250 y 120 c.c.....	28
Imagen 3. Equipo para medición de permeabilidad al oxígeno.....	36
Imagen 4. Equipo de sellado DTC Hot Tack Tester y probetas.....	41

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Morfología de la película de Honduras.....	48
Anexo 2. Morfología de la película de Ecuador.....	49
Anexo 3. Ensayo de Calorimetría de Barrido Diferencial al empaque de Honduras.....	50
Anexo 4. Ensayo de Calorimetría de Barrido Diferencial al empaque de Ecuador.....	51
Anexo 5. Espesores de botellas de PET.....	52
Anexo 6. Permeabilidad al oxígeno de la película utilizada en Honduras para la comercialización de aceites vegetales.....	53
Anexo 7. Permeabilidad al oxígeno de la película utilizada en Ecuador para la comercialización de aceites vegetales.....	54
Anexo 8. Cálculo de la vida útil de una mezcla de aceites comestibles cuando se almacena en HDPE.....	55
Anexo 9. Fuerza de sellado del polietileno lineal de baja densidad (Dow lex 2045 G) en presencia de aceite como agente contaminante.....	56
Anexo 10. Fuerza de sellado del polietileno lineal de baja densidad (Dow lex 2045 G).....	57
Anexo 11. Fuerza de sellado del polietileno lineal de baja densidad-metaloceno (elite 5401 G) en presencia de aceite como agente contaminante...58	
Anexo 12. Fuerza de sellado del polietileno lineal de baja densidad-metaloceno (elite 5401 G).....	59
Anexo 13. Resultados de la prueba de sellado del ionómero (Surlyn 1601B) con aceite como agente contaminante.....	60
Anexo 14. Resultados de la prueba de sellado del ionómero (Surlyn 1601B)..	61
Anexo 15. Resultados de la prueba de sellado del polietileno de baja densidad (polifén 641) con aceite como agente contaminante.....	62
Anexo 16. Resultados de la prueba de sellado de la mezcla de polietileno de baja densidad (Polifén 641) con polietileno lineal de baja densidad-metaloceno (elite 5401G).....	63
Anexo 17. Curva de Hbt Tack ionómero.....	64
Anexo 18. Curva de Hbt Tack Mezcla de polietilenos.....	65
Anexo 19. Curva de Hbt Tack m-LLDPE.....	66

NOM ENCLATURA

Resinas poliméricas

LDPE	Poliétileno de baja densidad
LLDPE	Poliétileno lineal de baja densidad
m-LLDPE	Poliétileno lineal de baja densidad catalizado con metalocenos
EVOH	Etilen vinil alcohol
PET	Poliétileno tereftalato
HDPE	Poliétileno de alta densidad
PVC	Policloruro de vinilo
PVDC	Polivinilideno cloruro
EVA	Etilen vinil acetato

Símbolos en las ecuaciones

J_x	Flujo de masa en dirección x
c	Concentración de masa
D	Coficiente de difusividad
A	Área superficial
p	Presión parcial de un gas
P	Permeabilidad
S	Solubilidad
t	Tiempo de vida útil
l	espesor
ρ	densidad
V	Volumen de gas que permea

1. INTRODUCCIÓN

Las tendencias de innovación y desarrollo en el sector de empaques apuntan a la sustitución de envases semirrígidos por materiales flexibles gracias a la adaptabilidad respecto a los requerimientos de protección y distribución de los alimentos, la vida útil programada, la disponibilidad técnica de procesadores de empaques, el costo reducido, las costumbres de uso, los frecuentes cambios en la demanda alimenticia y las estrategias de mercado. Las propiedades inherentes de los diferentes materiales en este tipo de aplicación tienen la ventaja de poderse combinar entre sí mediante capas, de forma casi ilimitada, con el fin de cumplir con la mayoría de las exigencias del producto, los consumidores y los fabricantes.

En Colombia los aceites vegetales comestibles son empacados en envases semirrígidos fabricados en procesos de extrusión-soplado o inyección-soplado, usando como materias primas PVC, PET o HDPE. No hay actualmente en el mercado colombiano una aplicación de empaque flexible para aceites que garantice una protección adecuada al producto.

En el contexto anteriormente descrito cobra importancia la fabricación de una estructura flexible obtenida a partir de materiales poliméricos para el empaque de aceites vegetales comestibles. Ésta permitiría reemplazar los envases actuales semirrígidos que tienen un costo relativo mayor respecto al producto, por empaques flexibles donde el costo del empaque es menor. Dicho reemplazo generaría sobre el producto un ahorro significativo que podría trasladarse directamente al consumidor final y facilitaría la penetración en mercados de menudeo manejado en estratos menos favorecidos. La estructura desarrollada debe entonces garantizar la integridad del producto durante un periodo de tiempo que se estime seguro y benéfico, buscando unos costos de fabricación menores frente a los actuales envases semirrígidos y debe permitir a las empresas productoras de empaques flexibles en el país una ampliación de los mercados nacionales, a través del aprovechamiento de su capacidad tecnológica instalada.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una estructura flexible obtenida a partir de materiales poliméricos, capaz de garantizar la pureza y estabilidad en las propiedades de los aceites vegetales durante el tiempo de almacenamiento que se estime sea necesario contener éste producto dentro del empaque

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar un modelo teórico que permita calcular la vida útil de los aceites vegetales cuando están almacenados en diferentes estructuras.

- Establecer las propiedades y requerimientos que debe cumplir la película a utilizarse para la construcción del empaque flexible, con el fin de prevenir la oxidación y la acidez de los aceites vegetales

2. MARCO TEÓRICO

En el marco teórico se identificará la familia a la cual pertenecen los aceites vegetales comestibles (lípidos) mostrando como se clasifican y cuales son las características distintivas de éstos. De tal forma que se pueda conocer los principales elementos constitutivos de las moléculas de los aceites y entender por qué se produce la degradación durante los periodos de almacenamiento. Lo anterior permitirá definir cuales son los agentes que el empaque debe aislar del contacto con los aceites.

Se mostrará la normatividad colombiana utilizada para evaluar la calidad y frescura de un aceite, permitiendo conocer cuales son los parámetros que debe tener un aceite para poder ser expuesto a la venta.

2.1 LÍPIDOS Y ACEITES VEGETALES¹

Se identificará cuales son los factores a tener en cuenta en las evaluaciones de la capacidad de conservación del empaque. Cuales son los cambios químicos y físicos que se presentan en el proceso de degradación de los aceites comestibles durante el tiempo de almacenamiento y cuales son los agentes responsables de la degradación de los aceites vegetales comestibles.

Los aceites vegetales comestibles hacen parte de una familia más amplia que son los lípidos. Éstos son un conjunto heterogéneo de moléculas hidrocarbonadas (principalmente hidrógenos y carbonos) de cadenas largas cuya característica distintiva aunque no exclusiva ni general es la insolubilidad en agua, siendo por el contrario, solubles en disolventes orgánicos como el éter, hexano o benceno (Kates M, 1986).

Esta definición cubre un gran rango de compuestos que incluyen alcoholes, aldehídos y ácidos grasos como los glicéridos, esterres, ceras, fosfolípidos, glicolípidos y sulfolípidos, así como también las vitaminas A, D, E y K solubles en grasas y sus derivados. En la figura 1 se muestra la clasificación de los lípidos y se puede ver la diversidad de compuestos que pueden ser incluidos en esta clasificación.

¹ La información suministrada en este capítulo fue desarrollada por Maria Franco Cadena, estudiante de pregrado del departamento de Ing. Química de la Universidad de los Andes en un problema especial.

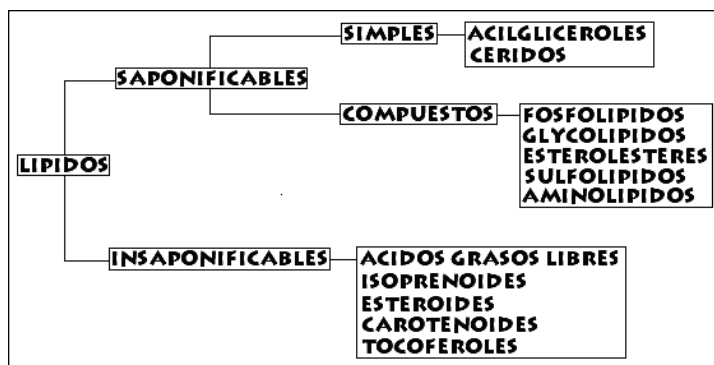


Figura 1. Clasificación de los lípidos.

En este trabajo solo nos interesan los lípidos saponificables simples que componen los triglicéridos, ya que los aceites vegetales comestibles están constituidos principalmente por acilglícidos, los cuales resultan de la reacción que ocurre entre la glicerina y los ácidos grasos. La glicerina es un alcohol de tres carbonos $C_3H_5(OH)_3$ en cada uno de ellos posee un grupo hidróxilo (OH). Cada OH se combina con el hidrogeno del grupo carboxilo de un ácido graso y de esta forma el ácido graso se “ensambla” en la molécula de glicerina. De la unión de la glicerina con un ácido graso se forma un monoglicérido, con dos ácidos grasos un diglicérido y con tres ácidos grasos se forma un triglicérido. De estos últimos los más importantes son las grasas y los aceites los cuales en aproximadamente un 95% son triglicéridos (Bello, 2000). En la figura 2 se muestra la molécula de un triglicérido.

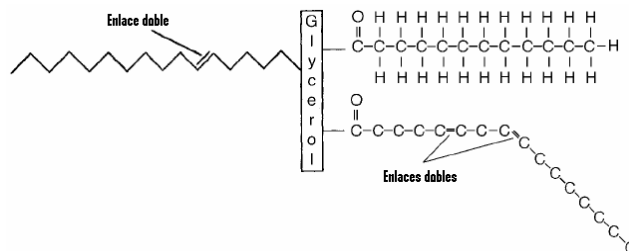


Figura 2 Estructura molecular de los aceites comestibles (triglicéridos)

2.1.1 Lípidos saponificables

Los lípidos saponificables son los lípidos que contienen ácidos grasos en su molécula y producen reacciones químicas de saponificación. La saponificación es básicamente la interacción que hay entre un ácido graso y un álcali, lo cual produce miscelas. Éstas tienen la particularidad de ser bipolares, tienen una parte polar y otra apolar, con lo cual pueden interactuar con diferentes sustancias. Los jabones y detergentes por ejemplo se obtienen mediante saponificación.

2.1.1.1 Acilglícidos

Dependiendo del grado de saturación², los ácidos grasos (OR-) se pueden clasificar como insaturados³ si tiene dobles enlaces ó saturados⁴ de lo contrario. Cuando estos tres (OH-) se sustituyen, se obtienen triglicéridos.

A mayor número de ácidos insaturados, menor punto de fusión de la grasa y mayor facilidad de alteración de la misma, puesto que los hidrógenos cercanos a los dobles enlaces tienen más tendencia a reaccionar químicamente que los hidrógenos de enlaces saturados.

Los aceites vegetales están formados en su mayoría por los glicéridos de los siguientes ácidos grasos (BRAUN, 1959).

- Ácido esteárico $C_{18}H_{36}O_2$: con glicerina es estearina. abunda sobre todo en las grasas de los rumiantes y se extrae por saponificación. Se funde a $69,2^{\circ}C$ y se parece mucho al palmítico. cuando se obtiene de solución alcohólica forma cristales blancos nacarados insolubles en agua.
- Ácido palmítico $C_{16}H_{32}O_2$: con glicerina es palmitina. se asocia siempre con el aceite de palma. Se funde a $62^{\circ}C$ y ésta temperatura es el mejor criterio para juzgar su pureza. Forma agujas cristalinas blancas insolubles en agua y muy solubles en alcohol y éter.
- Ácido oleico $C_{18}H_{34}O_2$: con glicerina es oleína. Industrialmente se obtiene como subproducto de la fabricación del ácido esteárico. Cuando es puro se solidifica por enfriamiento y permanece sólido hasta la temperatura de $14^{\circ}C$. es este estado no tiene reacción ácida, no tiene olor ni sabor.

2.1.2 Agentes y mecanismos de degradación en aceites

El principal problema de las reacciones de hidrólisis y oxidación que pueden ocurrir en los lípidos reside en la formación de compuestos volátiles de olor desagradable, lo que puede limitar el tiempo de conservación de numerosos alimentos, así tengan menos de 1% de lípidos. Los primeros sustratos de oxidación son los fosfolípidos insaturados como las lecitinas. Después vienen los carotenoides y tocoferoles no solo generando malos olores sino pérdidas de actividad vitamínica, de color y valor nutritivo. Los resultados de esta degradación como los compuestos carbonílicos e hidroperóxidos alteran más la situación; ellos reaccionan con las proteínas favoreciendo el pardeamiento no enzimático. A continuación se presenta un sumario de mecanismos y agentes que producen el enranciamiento del aceite.

2.1.2.1 Rancidez Hidrolítica

Este proceso ocurre espontáneamente o por acción de enzimas. Cuando el aceite en almacenamiento entra en contacto por accidente con la humedad y temperaturas superiores a la ambiente, los triglicéridos se descomponen en

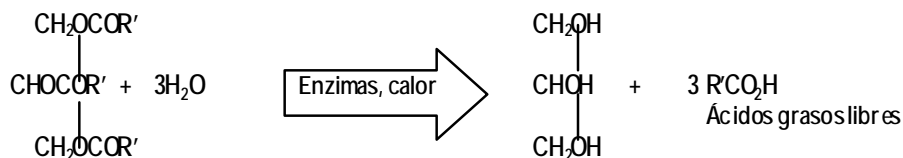
² Presencia o no de dobles enlaces, menos estables que los enlaces simples ya que son fáciles de romper.

³ ácidos grasos insaturados tienen uno o varios enlaces dobles en su cadena y sus moléculas presentan todos, con cambios de dirección en los lugares donde aparece un doble enlace. Son ejemplos el oleico (18C, un doble enlace) y el linoleico (18C y dos dobles enlaces).

⁴ ácidos grasos saturados tienen uno o varios enlaces dobles en su cadena y sus moléculas presentan todos, con cambios de dirección en los lugares donde aparece un doble enlace. Son ejemplos el oleico (18C, un doble enlace) y el linoleico (18C y dos dobles enlaces).

diglicéridos o monoglicéridos por acción de hidrolasas⁵, liberando una o dos cadenas de ácidos grasos.

Esto aumenta la acidez del aceite y también la formación de metilcetonas y lactonas que producen aromas desagradables. La siguiente es la reacción típica, catalizada por enzimas o calor.



Un aceite protegido de la humedad ambiental no presentara estos problemas ya que los porcentajes de agua típicos (0,5-1,5 %) son muy pequeños y durante el calentamiento a 180-190°C toda esta se evapora, además que durante el almacenamiento no se someten a altas temperaturas.

El proceso de rancidez hidrolítica difícilmente puede presentarse durante el periodo de almacenamiento de los aceites vegetales, ya que para que se produzca es necesario que se presenten condiciones de temperatura extremas (~ 50°C), humedad (> 20%) y acidez (10-20% de ácidos grasos libres) (Bello, 2000). Las condiciones anteriormente descritas son muy difíciles de obtener durante el almacenamiento de aceites vegetales, por lo cual se descarta la degradación de los aceites refinados por este mecanismo. Una prueba realizada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos a un aceite refinado de soya para evaluar la formación de radicales libres, consistió en mantener durante cuatro años el aceite confinado en un tanque a una temperatura entre 21 y 49°C y permitió identificar que la formación de ácidos grasos libres varió ligeramente con un cambio del índice de acidez de 0.058% hasta 0.135% (Bermúdez A. et al. 1999).

Se puede concluir que las condiciones necesarias para que se presente la degradación y pérdida de la calidad de los aceites debido a la degradación hidrolítica difícilmente se pueden alcanzar durante el almacenamiento. Ya que los aceites refinados deberían estar libres de enzimas que puedan actuar como catalizadores y los contenidos de humedad necesarios para que se de este tipo de reacciones son más altos que los límites máximos permitidos por la normatividad colombiana. Los contenidos de humedad máximos durante el almacenamiento se mostrarán más adelante cuando se expondrán los parámetros establecidos por las normas técnicas colombianas para los aceites.

2.1.2.2 Rancidez oxidativa o auto-oxidación

Ácidos grasos como el oleico, linoleico y linoico poseen enlaces dobles o triples muy reactivos que en presencia de otras moléculas mas reactivas como el O₂ pueden oxidarse fácilmente a hidroperóxidos. Por esto, los ácidos grasos insaturados no pueden considerarse como constituyentes estables de los aceites a condiciones normales de almacenamiento. La peroxidación produce

⁵ Otras enzimas que actúan son las lipasas, las fosfolipasas y glicolipasas dependiendo del sustrato.

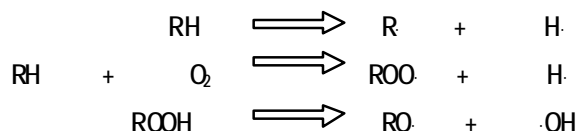
numerosos compuestos volátiles y no volátiles que tienen olores desagradables, parecidos a los de pescado vencido o cartón viejo mojado (Belitz et. al.1999)

La generación de peróxidos se debe a tres procesos: la formación de radicales libres, la foto-oxidación y la peroxidación lipofítica.

Formación de radicales libres

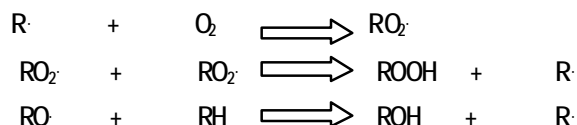
Es un proceso no enzimático que ocurre casi siempre en ácidos insaturados. Es una reacción en cadena de tres pasos: iniciación, propagación y terminación (Cheftel et. al.1976)

Iniciación: esta etapa da lugar a la formación de radicales libres⁶ a partir de ácidos grasos insaturados con intervención del oxígeno, por eso lo primero que ocurre en la oxidación es un periodo de inducción hasta que la concentración de radicales alcanza un determinado nivel. Las reacciones de iniciación son del siguiente tipo:



Estas reacciones tienen energías de activación elevadas (146,5kJ/mol) lo que hace que sean poco probables aunque siempre se favorecen por catalizadores como el calor, la luz o las trazas de metales.

Propagación: esta fase es muy rápida ya que los radicales libres portadores de un electrón no apareado son muy reactivos. Las reacciones son:



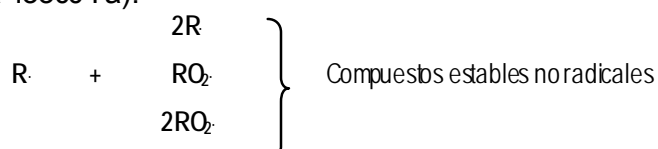
La propagación se traduce en una oxidación de los ácidos grasos insaturados, que va paralela con el consumo de oxígeno gaseoso. Al principio se acumulan peróxidos, pero generalmente su proporción termina por descender. Por consiguiente el índice de peróxidos no es una medida efectiva del grado de oxidación, excepto al principio de la degradación.

Si el aporte de oxígeno no es limitado, se pueden oxidar la totalidad de lípidos insaturados. Este proceso también se conoce como auto-oxidación ya que la energía de activación baja por la alta concentración de radicales libres que acelera el consumo de oxígeno. Por esto, la auto-oxidación no puede prevenirse manteniendo el aceite almacenado a temperaturas medias o fuera del alcance de la luz.

⁶ Se forman radicales peroxi (RO₂·), alcoxi (RO·) y alcohol (R·).

Otro aspecto importante es la manifestación de diferentes velocidades de oxidación, dependientes del número de dobles enlaces en la cadena del ácido graso insaturado. Experimentalmente se ha encontrado que, a temperatura ambiente, aceites con grandes cantidades de ácido linoléico poli-insaturado se oxidan en tiempos más cortos que los aceites con ácido oleico mono-insaturado. Por lo tanto, el conocimiento de la composición y cantidades de ácidos grasos en el aceite es importante para establecer la cinética de oxidación durante el almacenamiento.

Terminación: al mismo tiempo que las reacciones de iniciación y propagación, se da la desaparición de radicales libres durante la terminación. La primera de las reacciones que se enuncian a continuación, predomina cuando la presión parcial de oxígeno es elevada (mayor a 13300 Pa).



Por lo general, la medida del contenido de ciertos productos finales no permite valorar el grado de oxidación, pues la naturaleza de estos varia según el sustrato y la presión parcial de oxígeno.

Este mecanismo de formación de radicales libres, se favorece e incrementa por la incidencia de la luz, presencia de metales pesados⁷ como Fe, Cu y Co que actúan como catalizadores y por la presencia de sustancias fotosensibles como la riboflavina y la eritrosina.

A temperatura ambiente, un solo radical puede iniciar la formación de 100 hidroperóxidos antes ocurra la terminación. En presencia de aire (atmósferas con presión parcial de O₂ mayor a 13000 Pa), todos los radicales alcoilo (R·) se transforman a radicales peroxi inmediatamente y puede que el proceso termine con la unión entre un par de radicales.

Durante el proceso de auto oxidación van apareciendo cambios organolépticos (alteración del sabor, palatabilidad, oscurecimiento), físicos (aumento de la viscosidad) y químicos (formación de espuma y compuestos volátiles).

Foto-oxidación

Se basa en la generación de *singlets*⁸ muy reactivos de oxígeno, a partir del oxígeno disuelto en la atmósfera, que normalmente se encuentra en tripletes. La diferencia entre un *singlet* y un triplete es la configuración electrónica. Los *singlets* facilitan y agilizan la reacción entre el oxígeno y los electrones alrededor de los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados para dar hidroperóxidos inmediatamente. Para que se forme un *singlet* debe existir energía de una fuente lumínica y moléculas fotosensibles como pigmentos (clorofila y riboflavina) o iones de metales pesados (Kristott, 2003). En aceites

⁷ El límite de concentración de metales pesados es de 0,2ppm de Co y 2ppm de Fe para aceites con alto contenido de ácidos oleicos o estéricos (BELITZ & GROSH, 1999).

⁸ *Singlet* refiriéndose a solo una molécula de O₂.

refinados no debe existir la presencia de moléculas fotosensibles debido a que éstas deberían ser eliminadas en el proceso de refinamiento de los aceites. Por lo cual no se toma este proceso como prioritario en el diseño del empaque.

Peroxidación lipolítica

Sob ocurre en la presencia de enzimas específicas como la lipo-oxigenasa. Como otras enzimas, las lipo-oxigenasas son altamente específicas respecto a las reacciones que catalizan. Como los hidroperóxidos que se forman por esta ruta son de diferente naturaleza a los de los otros mecanismos y porque es muy difícil que estas enzimas sigan activas después de los tratamientos, no se profundizara en este proceso.

De los mecanismos por medio de los cuales se puede dar la oxidación de los aceites vegetales el más importante a considerar en el diseño del empaque para los aceites es la formación de radicales libres, ya que solo se necesita la presencia de moléculas de oxígeno en contacto con el aceite para que se den las reacciones necesarias que desencadenan la formación de compuestos desagradables y limitan la calidad sensorial durante el almacenamiento. Es por esto, que el diseño del empaque tomará como un requerimiento fundamental para garantizar la calidad del aceite la barrera al oxígeno.

2.1.3 Polimerización

Bajo condiciones de altas temperaturas para fritura por ejemplo, la recombinación de radicales libres con ácidos grasos y hasta entre ellos mismos, forman compuestos lineales, más o menos largos y ramificados, o compuestos cíclicos, especialmente en caso de que existan dobles enlaces.

Estos compuestos o polímeros, al ser de mayor tamaño y peso molecular tienden a aumentar la viscosidad del aceite lo que favorece la formación de espuma (gracias a compuestos de grupos OH sulfoactivos) y por lo tanto la oxidación.

Otro suceso es que los monómeros y dímeros de estos compuestos, al ser diminutos son fácilmente absorbidos por las paredes intestinales del consumidor; esto es peligroso debido a que la mayoría de estos polímeros son tóxicos o potencialmente cancerígenos, como por ejemplo la ciclación del ciclohexano, que una vez deshidrogenado a un anillo aromático puede formar benzopireno⁹.

2.1.4 Aceites vegetales comestibles

Con el nombre genérico de *aceites* (Minsalud, 2004) se denomina una serie de compuestos de origen vegetal o animal que son químicamente triglicéridos y que son fluidos a 20°C, también se designa a los "Aceites Vegetales Comestibles" (Minsalud, 2004) como los glicéridos o frutos sanos y limpios de olor y sabor agradables que contendrán solamente los elementos propios del

⁹ El benzopireno es un tipo de hidrocarburo aromático poli cíclico (HAP) que contienen algunos alimentos, como las carnes o el pescado, que puede ser precursor de la carcinogénesis

aceite y que correspondan a la composición de las semillas o frutos de los cuales se han extraído.

2.1.4.1 Características principales

Los aceites vegetales extraídos de las semillas oleaginosas y frutos, se utilizan principalmente como aceites comestibles, de fritura y para mezcla de mantequillas y margarinas. Son de color amarillento a pardo y su densidad específica varía entre 0,88 y 0,96.

Al estar compuestos de algunos triglicéridos de ácidos grasos no saturados o de cadena corta, el punto de fusión es bajo y se presentan como líquidos a temperatura ambiente (depende de la mayor proporción de oleína ante palmitina o estearina). Por acción de temperaturas muy elevadas los glicéridos se descomponen y la glicerina libre se deshidrata tomando olor desagradable.

Algunos aceites al exponerse al aire y luz, sufren un desdoblamiento hidrolítico dando así ácidos grasos libres o AGL's que rancian el aceite (Chetfel et. al. 1976).

En conclusión, de los mecanismos de degradación que se pueden presentar en los aceites vegetales refinados el más importante a considerar durante el almacenamiento es la formación de radicales libres. Éste proceso es una reacción en cadena que se presenta debido a la interacción entre los aceites y el oxígeno y que finaliza en la generación de peróxidos que limitan la calidad de los aceites formando compuestos volátiles de mal olor y sabor.

2.1.4.2 Propiedades Funcionales

La identificación y determinación de la calidad de un aceite se puede definir por una serie de constantes físicas y químicas que estiman cuantitativamente las propiedades, grupos funcionales o constituyentes de los aceites. Algunas de estas constantes son:

- ♦ Densidad específica NTC336
- ♦ Índice de acidez NTC218-ISO 660:96.¹¹
- ♦ Índice de refracción NTC 289.
- ♦ Índice de rancidez o de Kreiss NTC219
- ♦ Índice de saponificación NS NTC 219¹⁰.
- ♦ Porcentaje de humedad NTC 287
- ♦ Índice de peróxidos NTC 236
- ♦ Índice de Yodo NTC 236¹²

2.1.5 Normatividad colombiana para aceites

Existen varios tipos de aceites disponibles para fritura. En Colombia se comercializa la mezcla de aceites vegetales que es la constituida por la mezcla

¹⁰ Es el número de mg de KOH capaces de saponificar un gramo de aceite. Entre más alto el NS, más bajo el peso molecular de los ácidos grasos en el triacilglicerol.

¹¹ Esta medida significa el número de mg de NaOH 0.1N necesarios para neutralizar los AGL's que contiene un gramo de aceite.

¹² Indica número de gr. de halógeno aceptados por 100 gr. de aceite. Mide el contenido de compuestos insaturados que pueden oxidarse.

de dos o más aceites comestibles puros. En este trabajo solo nos interesa la mezcla de aceite de oleína de palma con frijol de soya. En el cuadro 1 y 2 se encuentran las cantidades máximas de aditivos y porcentajes de ácidos grasos permitidos en aceites comestibles refinados, blanqueados y desodorizados RBD, valores regulados por las normas NTC. También en el cuadro 3 están consignadas las constantes químicas y físicas que deben presentar los aceites normalizados para salir al mercado. En el cuadro 4 se encuentran las normas técnicas colombianas obligatorias de consulta para este trabajo.

Cuadro 1. Cantidades de aditivos permitidos para el aceite de soya, oleína de palma y mezcla de aceites vegetales de NTC 254, 3748 y 400

ADITIVO (mg/kg)		
ANTIOXIDANTES	Tocoferoles naturales o sintéticos	500
	Galato de propilo	100
	BHA	175
	BHT	75
	TBHQ	120
	Mezclas anteriores antioxidantes	200
	Estearato de escorbilo	500
SINERGISTAS	Palmitato de escorbilo	500
	Tiodipropionato diláurico	200
ANTIESPUMANTES	Citrato de isopropilo	100
	Citrato de monoglicerilo	100
	Dimetil polixilosano	10
	Dióxido de sílice amaro	10

Cuadro 2. Porcentajes de ácidos grasos para aceite de soya y oleína de palma de acuerdo a las NTC 254 y 3748.

ACIDO GRASO		% EN ACEITE DE SOYA	% OLEINA DE PALMA
C16:0	Palmitico	7 - 14	35 - 42,9
C18:0	Estearico	1,4 - 5,5	3 - 5
C18:1	Oleico	19 - 30	39,8 - 46
C18:2	Linoléico	44 - 62	10,4 - 13,4
C18:3	Linolenico	4 - 11	-

Cuadro 3. Especificaciones para aceites comestibles, de las NTC 254, 3748,400

ESPECIFICACION	ACEITE DE SOYA		OLEINA DE PALMA		MEZCLA DE ACEITES	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
Densidad específica ¹³	0,924	0,917	0,920	0,899	-	-
Índice de Yodo	141	120	61	56	-	-
Índice de saponificación	195	188	202	194	-	-
Índice de refracción ¹⁴	1,4760	1,4720	1,460	1,458	1,476	1,448
Materia insaponificable	1,5	-	1,3	-	1,5	-
Acidez como % ácido oleico	0,1	-	0,1	-	0,1	-
Índice peróxido ¹⁵ en fabrica	1	-	1	-	1	-

¹³ la densidad se mide correspondientemente para el aceite de soya como 25°C/25°C de agua, oleína de palma como 40°C/20°C de agua y para mezcla de aceites como 25°C/25°C de agua.

¹⁴ Para el aceite de soya y mezclas se mide a 25°C y para la oleína a 40°C/n^op.

Fuera de fabrica	5		5		5	
Humedad	0,1	-	0,1	-	0,1	-
Impurezas insolubles	0,05	-	0,05	-	0,05	-
Jabones residuales	Negativo		Negativo		10	
Hierro (mg/kg aceite)	1,5	-	1,5	-	1,5	-
Cobre (mg/kg aceite)	0,1	-	0,1	-	0,1	-
Pbmo (mg/kg aceite)	0,1	-	0,1	-	0,1	-
Fósforo (mg/kg aceite)	3	-	-	-	3	-
Temperatura de muestreo	25°C	20°C	35°C	32°C	20°C	35°C

Cuadro 4. Normatividad colombiana para aceites vegetales comestibles

NORMA	TITULO	RESUMEN
NTC254	Grasas y aceites comestibles. Aceite de soya	Conllevan requisitos generales, cantidades máximas permitidas de aditivos. Requisitos para identificación, físico-químicos, toma de muestras, criterios de aceptación o rechazo.
NTC3748	Grasas y aceites comestibles. Oleína de palma	
NTC400	Industrias alimentarias. Mezclas de aceites vegetales	
NTC218	Grasas y aceites comestibles. Determinación de índice de acidez	Contempla aparatos, reactivos, procedimiento e interpretación de resultados.
NTC289	Determinación índice de refracción	Conllevan aparatos, reactivos, procedimiento e interpretación de resultados.
NTC 236	Determinación índice de peróxidos.	
NTC219	Método cualitativo determinación de rancidez- índice de Creés	
NTC287	Determinación de porcentaje de humedad y materia volátil	
NTC283	Determinación índice de yodo	
NTC335	Determinación índice de saponificación	
NTC2710	Estabilidad de las grasas y aceites. Método de oxígeno activo MOA	
NTC4197	Monoglicéridos y diglicéridos totales. Método de Brkaw.	

Los parámetros de mayor importancia en el diseño del empaque son los límites máximos de peróxidos que debe tener una mezcla de aceites comestibles al salir de la fabrica (1 mEq/kg) de refinación y el límite máximo que puede alcanzar cuando está expuesto a la venta (5mEq/kg). Ya que estos se usarán como indicativos de la calidad del aceite y permitirán establecer la ganancia máxima de oxígeno que puede tolerar el aceite sin que se produzca pérdida de la calidad. De manera que el valor de permeabilidad al oxígeno que tenga el empaque no debe permitir que la cantidad de oxígeno que pueda entrar al interior de la bolsa sea mayor a la ganancia máxima de oxígeno permitida. Más adelante se explicará mejor cómo se calcularán los valores de ganancia de oxígeno máximos.

A continuación se explicaran conceptos de permeabilidad básicos que servirán para calcular la cantidad de oxígeno que puede permear por diferentes estructuras.

¹⁵ en miliequivalentes de peróxido /kg.

2.2 PERMEABILIDAD DE POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS (Bird, 1960; Gordon, 1993; Piringer, 2000)

El transporte de sustancias de bajo peso molecular a través de materiales poliméricos es de gran importancia en el desarrollo de estructuras que se desean utilizar en el empaque de alimentos. Por tal razón es necesario poder controlar el intercambio de gases, vapores y otras sustancias entre los productos almacenados y el medio ambiente para garantizar los periodos de almacenamiento o estancia deseados. Existen dos procesos por medio de los cuales las sustancias pueden pasar a través de la matriz polimérica estos son:

- a. El efecto de poros, en el cual los gases y vapores fluyen o “viajan” por medio de micro porosidades o micro grietas que pueden estar presentes dentro de los materiales; y
- b. Efecto de solubilidad-difusión, en el cual los gases y vapores se disuelven en la superficie del polímero, posteriormente difunden a través de este debido a la presencia de un gradiente de concentración y finalmente se evaporan al otro lado de la superficie del polímero. Este proceso de solubilidad-difusión es conocido como la verdadera permeabilidad.

Los cálculos realizados en este estudio se concentrarán en la difusión, solución y permeación de gases y vapores en materiales no porosos.

2.2.1 Ecuaciones de transporte

Un proceso de transporte es entendido de forma general como el movimiento de masa, energía u otra cantidad de un lugar a otro (Piringer, 2000). La interacción entre los empaques y los productos que estos contienen, está siempre relacionada con los procesos de transporte que ocurren dentro del sistema empaque-alimento. El transporte de masa por difusión está afectado por el movimiento aleatorio de moléculas dentro del medio en donde el transporte se está llevando a cabo. De manera que, son las vibraciones de átomos y grupos de átomos transmitidas a los “vecinos” las responsables de que el transporte de masa se realice.

2.2.2 Flujo de masa

Para la descripción matemática y entendimiento de los procesos de transporte, es ventajoso estudiarlos a partir de cantidades que se pueden medir cuantitativamente a nivel macroscópico, en lugar de utilizar propiedades a nivel molecular que están relacionadas con los procesos de transporte pero que son más difíciles de cuantificar. Una de las cantidades fáciles de medir es el flujo de masa.

El flujo J se debe entender como el número de moléculas de una sustancia que son transportadas por unidad de tiempo a través de un área perpendicular a la dirección en la que se está llevando a cabo el transporte de las moléculas. De manera que, dada una cantidad de masa m que es transportada durante un tiempo t a través de un área A , J representa la contribución de flujo de masa.

El flujo es un vector, de manera tal que se debe especificar la dirección adicionalmente a la cantidad o contribución \mathbf{J} .

$$\mathbf{J} = J_x + J_y + J_z = J_x i + J_y j + J_z k \quad (2-1)$$

J_x , J_y y J_z son las componentes de los vectores en las direcciones x, y y z del sistema de coordenadas cartesianas e i , j y k son los correspondientes vectores unitarios en cada una de esas direcciones.

En forma general, el flujo de una cantidad G es proporcional en un lugar específico al gradiente del escalar motivo de estudio (concentración, temperatura, velocidad) que ha producido el flujo. Matemáticamente las contribuciones en las tres componentes espaciales del flujo de masa se obtiene con las derivadas parciales del escalar motivo de estudio, por ejemplo si la variable motivo de estudio es $a(x,y,z)$ el flujo de G se obtiene así:

$$\mathbf{J}(G) = -b * \text{grada} = -b \left(\frac{\partial a}{\partial x} i + \frac{\partial a}{\partial y} j + \frac{\partial a}{\partial z} k \right) \quad (2-2)$$

Donde b, es una constante de proporcionalidad que es independiente de la ubicación, en el caso de la presencia de un flujo másico por difusión, la constante de proporcionalidad es el coeficiente de difusión D. El signo negativo indica que el flujo va en la dirección del decremento de a.

Para simplificar la expresión del flujo másico debido a la difusión, éste se puede expresar solo en una dirección espacial (ej. x) por lo cual la derivada parcial se utiliza como una derivada total, quedando la expresión así:

$$J_x(\text{masa}, \text{difusión}) = -D \frac{dc}{dx} i \quad (2-3)$$

Debido al desarrollo histórico individual, la expresión (3-3) es conocida como la primera ley de Fick en honor al fisiólogo Adolf Fick el cual estudió la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre y, descubrió (en 1855) las similitudes existentes entre los procesos de difusión y conducción de calor, en este caso en estado estable.

2.2.3 Ecuación diferencial de la difusión

La difusión, se entiende como (Serrano, 2003) el movimiento de solutos a través de un determinado sistema (mezcla gaseosa, solución binaria), que transcurre con una velocidad la cual está dada por la influencia de un estímulo físico: un gradiente de concentración (estrictamente, potencial químico), una diferencia de presión o temperatura. El flujo de masa causado por la difusión se representa por medio de un vector, donde la concentración c y su derivada con respecto al tiempo t son cantidades escalares y se relaciona con el flujo con la ayuda del operador divergencia.

Si se toma un elemento diferencial de una película de barrera en donde toma lugar un flujo de masa debido a la presencia de una diferencia de

concentraciones entre una cara de la película y otra, se puede deducir la ecuación general que gobierna el fenómeno de transporte de masa generado por un gradiente de concentración. A continuación se muestra el desarrollo de la ecuación que gobierna el fenómeno, tomando un volumen diferencial de lados Δx , Δy y Δz , como se muestra en la figura 3.

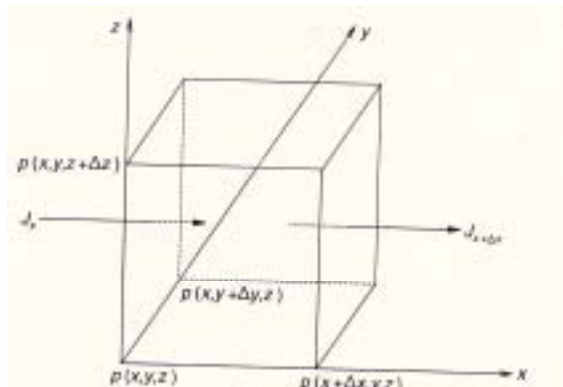


Figura 3. Esquema de la difusión en un volumen diferencial

Las moléculas difunden hacia los lugares con menor concentración hasta alcanzar el equilibrio. La concentración es también función del tiempo $c(x, y, z, t)$. De manera que, la derivada parcial de la concentración con respecto al tiempo $\frac{\partial c}{\partial t}$ aplicada al volumen diferencial $\Delta V = \Delta x \Delta y \Delta z$, representa el flujo neto saliendo del cubo y se designa como el divergente del flujo J .

Matemáticamente la divergencia se obtiene como la suma de las diferencias entre las componentes del flujo entrando y saliendo del cubo.

$$-\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{[J_x(x + \Delta x) - J_x(x)]\Delta y \Delta z}{\Delta x \Delta y \Delta z} + \frac{[J_y(y + \Delta y) - J_y(y)]\Delta x \Delta z}{\Delta x \Delta y \Delta z} + \frac{[J_z(z + \Delta z) - J_z(z)]\Delta x \Delta y}{\Delta x \Delta y \Delta z}$$

(2-4)

Sabiendo que las longitudes de los lados del cubo son infinitamente pequeñas entonces, las diferencias del lado derecho de la ecuación (2-3) son las derivadas parciales de las componentes de las contribuciones del flujo en el punto $P(x, y, z)$ por lo cual se obtiene:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\left(\frac{\partial J_x}{\partial x} + \frac{\partial J_y}{\partial y} + \frac{\partial J_z}{\partial z}\right) = -D\left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2}\right) \quad (2-5)$$

La contribución del flujo difusivo en la dirección de las tres coordenadas espaciales de acuerdo con la ecuación (2-3) y (2-5) está dada como:

$$J_x = -D\frac{\partial c}{\partial x}; J_y = -D\frac{\partial c}{\partial y}; J_z = -D\frac{\partial c}{\partial z} \quad (2-6)$$

Si se utilizan los operadores matemáticos gradiente y divergencia, se puede llegar a los mismos resultados de la ecuación (2-5)

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\text{div}J = D\text{div}[\text{grad}(c)] = D\nabla^2 c = D\left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2}\right) \quad (2-7)$$

Las ecuaciones 2-5 y 2-7 pueden ser utilizadas para calcular la cantidad de masa que puede permear a través de un material polimérico cuando existe un gradiente de concentración, cuando el transporte se da en las tres direcciones espaciales y cuando se considera que existe una velocidad a la cual cambia la concentración en el tiempo.

2.3 TERMO-SELLADO DE PELÍCULAS PLÁSTICAS

La integridad de los empaques está condicionada al buen sello que se pueda obtener con el material que se utilice en la capa interior de la estructura.

La teoría de interdifusión sugiere que durante el proceso de sellado de polímeros semicristalinos ocurren secuencialmente los siguientes fenómenos (Muller et al, 1996; Nicastrol, 1993):

- Fusión de los polímeros: temperaturas y calores de fusión bajos mejoran la sellabilidad.
- Mojado de las interfaces: la reducción de las distancias para maximizar las fuerzas de atracción intermoleculares. Una apropiada compatibilidad en la interfase es importante para una buena integridad del sello.
- Difusión de segmentos de cadenas a través de la interfase: para obtener la mejor resistencia del sello, se requiere un gran grado de interdifusión en las cadenas.
- Recristalización de algunos de los segmentos de las cadenas.

De acuerdo con la teoría de interdifusión para obtener un buen sello son requeridas las siguientes propiedades: Suficiente transferencia de calor que permita la fusión y movilidad de los segmentos de las cadenas a través de la interfase, un contacto entre las dos superficies, suficiente tiempo y compatibilidad para que se de un alto grado de interdifusión de los segmentos de las cadenas y un grado de cristalización no tan alto que fragilice el sello.

Las características identificadas anteriormente sumadas a la economía en costos que pueda representar la utilización de un material u otro permitirán tomar una decisión en cuanto al material de sello que se empleará para este propósito. El sello será otro requerimiento que debe cumplir la estructura.

3 ESTADO DEL ARTE

Para el desarrollo de un empaque se debe conocer, cuales son los requerimientos que exige el producto para su conservación, los requerimientos que exige o debe cumplir el fabricante del empaque como son la facilidad y rentabilidad en la fabricación, la capacidad de conversión de las materias primas y por último, se debe conocer cuales son las exigencias del mercado,

entendidas como las características que debe tener el empaque para que el producto goce de una buena aceptación de los consumidores finales.

El objetivo de la siguiente investigación será desarrollar una estructura flexible obtenida a partir de materiales poliméricos capaz de garantizar la calidad de los aceites vegetales durante un periodo de almacenamiento determinado. Para tal fin, en este trabajo de investigación se han llevado a cabo determinadas actividades experimentales y de consultas bibliográficas, las cuales se describirán en el estado del arte. Además, se mostrará el contexto bajo el cual se han realizado o tomado ciertas decisiones para poder justificarlas.

3.1 DESARROLLO DE EMPAQUES FLEXIBLES EN EL MUNDO

Un breve recuento histórico de la evolución de los empaques flexibles en este sector demuestra que esta idea nos es nueva en el mundo (Soutar A M, 1987). En 1965 se dio la primera experiencia de comercialización de aceites en empaques flexibles. La configuración de la bolsa era de forma tetrahedral y fue empacada por Aceite Casa de México DF. El tamaño de la bolsa era de 0.5 litros y el aceite almacenado era de Ajonjolí. La estructura era: 20 gr. de un recubrimiento de cera con un contenido de 15% de Etilen Vinil Acetato (EVA), una flexo-impresión en tres colores, 50 gr. de papel sulfito, 20 gr de polietileno de baja densidad (LDPE), 125 gr. de papel sulfito semiblanqueado y 50 gr. de un ionómero. La aplicación estuvo por tres años en el mercado y después fue retirada por sus altos costos.

En 1973 en Rhodesia (ahora Zimbabwe) y en Malawi se desarrolló una bolsa en forma de Doypacks (la imagen 1 muestra la forma empleada en la bolsa) por la empresa Unilever. La estructura empleada fue: 12 micras de polietileno tereftalato (PET) marca Mylar® de DuPont, 75 micras de LDPE y una capa de selo de un ionómero marca Surlyn® de DuPont. La impresión se hacía entre la capa de PET y la de LDPE



Imagen 1. Bolsas tipo DoyPack

En 1978 compañías de aceite de Perú y Chile empacaron en tamaños de 0.2 a 1 litro utilizando una película de PVDC de Dow Química. La estructura era de Polietileno (PE), EVA, Polivinilideno cloruro (PVDC), EVA y PE. Los empaques fueron realizados en máquinas Prepac (bolsas de tres sellos).

Hacia 1983 Tetra Pak de Italia, Brasil y México comercializaron empaques Tetra Briks para aceites comestibles en presentaciones de un litro.

En 1986 en Filipinas un distribuidor de aceites comestibles, Semexco Marketing, en conjunto con una empresa de la conversión de empaques Solmac Inc. comercializa el aceite Tita Frita en presentaciones de 90, 180 y 400 gr. La bolsa de 90 gramos utiliza sello en los cuatro lados, mediante el empleo de una máquina de llenado/sellado Rovema. Las bolsas de 180 y 400 gr. se sellan utilizando un sistema de empaque Thimonnier/Doy Pack. La estructura utilizada en el empaque fue de 15 micras de Nylon biorentado, 30 micras de LDPE y 50 micras de un ionómero Surlyn® de DuPont.

El conocimiento de la manera como se ha dado en otros países la distribución de aceites vegetales será referencia obligada para el desarrollo del presente trabajo, ya que permitirá identificar posibles materiales a utilizarse en la conformación de la estructura que se desea construir:

3.2 DISTRIBUCIÓN DE ACEITES COMESTIBLES EN COLOMBIA

Se hace necesario conocer la forma como se da actualmente en Colombia el almacenamiento y distribución de los aceites vegetales comestibles, debido a que esto permitirá evaluar la competitividad de la alternativa de empaque que se desea construir en comparación con los envases semirrígidos utilizados en la actualidad para éste propósito.

Los aceites comestibles son distribuidos en Colombia, en botellas fabricadas por procesos de inyección-soplado y extrusión-soplado. Éstas son elaboradas en Tereftalato de Polietileno (PET), Policloruro de vinilo (PVC) y Polietileno de alta densidad (HDPE) imagen 2. De un estudio de mercado que se realizó en el transcurso de este trabajo en la localidad de Tunjuelito en Bogotá y, cuyo principal propósito era identificar las preferencias de los consumidores de estratos bajos a la hora comprar un aceite.



Imagen 2. Envases semirrígidos encontrados en el mercado colombiano en presentaciones de 250 y 120 c.c.

Para tal estudio de mercado, se realizó un muestreo estratificado, en donde la población se dividió en subgrupos mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivos (Kinnear, 1982) suponiendo que un estrato contiene la totalidad de variables para definir la población. Se seleccionó una muestra aleatoria simple e independiente, en cada uno de los estratos del uno al tres. La selección aleatoria se realizó en 20 tiendas ubicadas dentro de la población y se realizó una entrevista informal a cada una de las personas encargadas de la venta de los productos. Según el Departamento Administrativo de Planeación Distrital de

Bogotá (DAFD, 2001), el número de habitantes de la localidad seleccionada para la realización de las entrevistas en el año 2001 fue de aproximadamente 204.367 personas, de los cuales el 61% pertenece a los estratos 1 y 2 y el 27,5 al estrato 3. El cuadro 5 presenta características relevantes de los envases en los cuales se realiza la comercialización de los aceites comestibles encontrados en la zona evaluada.

Cuadro 5. Características de los envases y aceites de 500, 250 y 120 cc comercializados en los estratos 1,2 y 3 de Bogotá.

Volumen c.c.	Marca del aceite	Empresa Fabricante	Composición	Material del envase	Costo (\$Col)
500	Sabrosóni	Producido para Ivercadenas S.A. por Duquesa S.A.	Mezcla de aceites vegetales de soya y oleína de palma	PET	2000
	Riquísimo	Lloreda S.A.		PVC	2150
	Premier	Lloreda S.A.	Aceite de Girasol	PVC	2800
	Gourmet	Alianza Team	Aceite de Girasol	PVC	2900
250	Sabrosóni	Producido para Ivercadenas S.A. por Duquesa S.A.	Mezcla de aceites vegetales de soya y oleína de palma	PET	1150
	Campo Sol	Fabricado por Duquesa S.A. para Ventas y Marcas Ltda..	Mezcla de aceites de Soya y Oleína	PET	1150
	Oleocali	Lloreda S.A.	Mezcla de aceites vegetales Soya y/o Girasol y/o Oleína de palma y/o algodón, TBHQ y/o BHT.	PET	1250
	Alegrá	Grasco S.A.	Mezcla de aceites vegetales (ajonjolí, soya, algodón, maíz fase líquida de palma), BHT.	PVC	
	Purísimo	Alianza Team	Mezcla de aceites vegetales y antioxidantes TBHQ	PET	1360
120	Soyasabor	Alianza Team	Mezcla de aceites vegetales y antioxidantes TBHQ.	PET	700
	Rio de Oro	Duquesa S.A.	Mezcla de aceites vegetales.	HDPE	700
	Palmisoya	Induceite m & m Ltda.	Aceite de soya	HDPE	700
	Oleovalle	Concentrados S.A.	Aceite de Soya	HDPE	700

De la información mostrada en el cuadro 5 e información suministrada por las personas encargadas de la atención de las tiendas minoristas, se pudo establecer que los volúmenes de mayor venta son los de 1000, 500, 250 y 120 cc. Lo anterior permite constatar como lo muestra Soutar en su estudio para el desarrollo de un empaque flexible para la distribución de aceites vegetales en India que la comercialización debe realizarse principalmente en cantidades pequeñas.

3.3 CONSUMO DE ACEITES COMESTIBLES EN COLOMBIA

El cuadro 6 realizado de acuerdo a información encontrada en el observatorio de Agrocadenas¹⁶ permitió establecer que el aceite de mayor producción en Colombia es el aceite de palma. Sin embargo, en estado refinado es más representativo el aceite de soya. La información mostrada en el cuadro 6 complementada con el cuadro 5 en donde se indican las cantidades aparentes de consumo, permite concluir que los volúmenes más altos de aceites vegetales que se producen en el país son principalmente mezclas de oleína de

¹⁶ proyecto del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia cuenta con el apoyo técnico del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y de la Corporación Colombia Internacional.

palma y aceite de soya, ya que la producción de los aceites de oliva, girasol, ajonjolí, algodón y maíz en Colombia es muy baja (Roldan et al, 2003). La mezcla más comercializada en los estratos bajos en Colombia es la de oleína de palma y aceite de soya por su economía y producción nacional.

Cuadro 6. Producción y consumo aparente de aceites crudos y refinados en Colombia

Aceite – Año		Producción ¹ (Tm)	Importaciones ² (Tm)	Exportaciones ² (Tm)	Consumo Aparente (Tm)
Mezcla de aceites Vegetales	1999	171.779	-	-	171.779
	2000	169.624	-	-	169.624
Crudo de Palma	1999	500.509	592	93.154	407.947
	2000	524.001	373	85.705	438.669
Refinado de Palma	1999	32.102	640	1.569	31.172
	2000	53.532	3.598	10.912	46.218
Crudo de Palmiste	1999	40.200	451	12.999	27.652
	2000	45.432	1.463	18.470	49.447
Refinado de palmiste	1999	3.578	404	0	3.982
	2000	2.660	0	81	2.580
Crudo de Soya	1999	6.989	118.040	1.037	123.992
	2000	10.778	150.476	8.539	152.716
Refinado de Soya	1999	52.400	4.924	47	57.277
	2000	73.657	13.997	43	87.611
Crudo de Girasol	1999	18	12.249	-	12.267
	2000	50	28.634	-	28.684
Refinado de Girasol	1999	13.790	5.867	5	19.652
	2000	13.417	4.552	17	17.953

Fuente: Observatorio Agrociudades.

1. Encuesta Anual Manufacturera. DANE.

2. Base de datos de comercio exterior. DANE. Los datos de comercio exterior corresponden a la partida 1512190000.

(-) Información no disponible. Para el caso de Importaciones y Exportaciones se asume el registro igual a cero (0).

3.4 INTEGRACIÓN A TECNOLOGÍA LOCAL DISPONIBLE

El desarrollo de la estructura flexible necesaria para la conformación del empaque en donde se pretende almacenar y distribuir aceites vegetales comestibles debe llevarse a cabo con la maquinaria y tecnología de conversión con la cual se cuenta a nivel local (Colombia).

3.4.1 Equipos

El equipo con el que se cuenta para la fabricación de la estructura pertenece a la empresa Promociones Industriales S.A. Es una coextrusora marca Ghiddi (modelo 1998) que tiene una capacidad instalada de 200 kg/h. La coextrusora permite variar los espesores en la capa de selo de entre un 20 y 30% del total del espesor de la película que se obtenga con la utilización de esta máquina. La capacidad instalada de producción (200kg/h) es una limitante en la obtención de muestras, ya que cada puesta en marcha del proceso de coextrusión representa un gasto muy alto de materias primas.

4. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA FLEXIBLE

Una vez definidos aspectos como:

- El tipo de aceite que se desea empaquetar (mezcla de soya y oleína de palma por economía y por ser el de mayor venta en Colombia)

- Los volúmenes en los cuales se desea comercializar (120 y 250cc) atendiendo a que la distribución de aceites vegetales comestibles en empaques flexibles debe darse en volúmenes pequeños)
- Las personas a las cuales se desea llegar con el producto (estratos 1, 2 y 3)
- Economía; la estructura debe ser lo más económicamente posible
- Transparencia; la estructura debe ser transparente
- Impresión; debe poder suministrar información al cliente (por ende debe permitir la impresión)
- Principal agente causal de degradación de los aceites comestibles durante el almacenamiento es el oxígeno.

Se puede entonces definir los requerimientos que se considerarán en el diseño del empaque.

4.1 ANÁLISIS DE LOS REQUERIMIENTOS DEL EM PAQUE

En el establecimiento e identificación de los requerimientos del empaque para aceites comestibles en Colombia, se encontraron las siguientes variables como las más relevantes, se citarán en orden de importancia:

4.1.1 Relación costo/beneficio

Los ordenes de magnitud en el 2004 del costo de los envases semirrígidos utilizados por la empresa Alvarado Oleaginosas Ltda. para la distribución de aceites vegetales y los cuales se muestran en el cuadro 7 dan una referencia para establecer los precios con los cuales se debe competir.

Cuadro 7. Costo y material de los envases utilizados actualmente

Volumen Distribución (c.c.)	Material del envase	Costo \$ Col.	% del material en el precio final
20000	HDPE	7540	13
3000	PET	870	9.10
1000	PET	290	9.75
250	PET	230	11.5

Fuente: Alvarado Oleaginosas Ltda.

La información mostrada en el cuadro 7 permite establecer que la conformación de un empaque flexible de un volumen de 250c.c. para la distribución de aceites vegetales utilizando la estructura flexible que se pretende desarrollar debe ser inferior a \$203 que es el costo que tiene una botella de PET.

4.1.2 Barrera al oxígeno

El tiempo que puede permanecer almacenado un aceite vegetal comestible está limitado principalmente por la auto-oxidación de ácidos grasos insaturados, los cuales forman hidroperóxidos que a su vez generan diferentes compuestos algunos de los cuales son volátiles y responsables de la degradación sensorial de los aceites. De manera que la estructura que se utilice en el empaque para el almacenamiento debe dar una barrera al oxígeno que sea capaz de garantizar la calidad y estabilidad de los aceites por el tiempo

que se estime necesario. El oxígeno es el principal agente de deterioro de los aceites vegetales comestibles durante el tiempo de almacenamiento.

La ganancia máxima de oxígeno permitido será el requerimiento que debe cumplir la estructura en cuanto a barrera al oxígeno, a continuación se mostrará la forma como se definió este requerimiento.

4.1.2.1 Determinación de ganancia máxima de oxígeno permisible en una mezcla de aceites vegetales (Serrano, 2003)

Se entiende como ganancia máxima de oxígeno permisible en una mezcla de aceites vegetales, la mayor cantidad de éste gas que puede interactuar con el aceite sin que los niveles de peróxidos (producto de la interacción oxígeno-aceite) que se puedan generar alcancen los valores límites establecidos por la normatividad colombiana para que un aceite pueda ser expuesto a la venta.

Según la norma NTC400 para la mezcla de aceites vegetales comestibles (ver cuadro 3) los valores máximos de peróxidos con los cuales puede salir de la planta donde es refinado debe ser 1mEq de peróxido por kilogramo de aceite y el valor máximo de peróxido que puede alcanzar el aceite cuando se encuentra fuera de la fábrica (expuesto a la venta) debe ser de 5mEq de peróxido por kilogramo de aceite. De manera que la ganancia máxima de oxígeno que puede permitir el empaque debe ser la necesaria para subir el nivel de peróxido de 1mEq/kg hasta 5mEq/kg.

La norma técnica colombiana NTC236 (ver cuadro 4) para el caso del oxígeno activo establece que un (1) milimol de oxígeno peróxido es igual a dos (2) miliequivalentes de esta misma especie química.

$$2mEqO_2 = 1milimolO_2 \quad (4-1)$$

De manera que, el límite máximo permitido para la mezcla de aceites vegetales al salir de la planta de refinación será:

$$Nivel(1)O_2 = \frac{1mEqO_2}{1kg_{Aceite}} \times \frac{1milimolO_2}{2mEqO_2} \times \frac{32mgO_2}{1milimolO_2} = \frac{16mgO_2}{1kg_{Aceite}} = 16ppmO_2$$

Mientras que el límite máximo para los aceites que son puestas a la venta debe ser de:

$$Nivel(2)O_2 = \frac{5mEqO_2}{1kg_{Aceite}} \times \frac{1milimolO_2}{2mEqO_2} \times \frac{32mgO_2}{1milimolO_2} = \frac{80mgO_2}{1kg_{Aceite}} = 80ppmO_2$$

La ganancia máxima de oxígeno que debe permitir el empaque es: la resta del valor máximo que puede tener el aceite cuando es expuesto a la venta menos el nivel máximo con que puede salir de la planta de refinación así:

$$G_{Máx} = 80ppmO_2 - 16ppmO_2 = 64ppmO_2$$

64ppm de oxígeno debe ser el valor máximo que debe permitir el empaque durante el periodo de almacenamiento y exposición a la venta para que su calidad se considere aceptable y se tenga certeza de que no se manifestará ninguna alteración sensorial.

4.1.3 Sellado

La integridad del empaque está condicionada al buen sello que se pueda obtener en la estructura. Por tal razón, de los requerimientos que debe cumplir la película que se use para almacenar aceites vegetales el sellado es la tercera en importancia. De manera que el material utilizado debe sellar bien, aún en presencia de aceite como agente contaminante. El termo-sellado es una técnica típica en la maquinaria moderna para el empaque de productos líquidos y sólidos. La demanda de mayores velocidades en las máquinas empacadoras verticales (VFFS¹⁷) y horizontales (HFFS¹⁸) ha exigido a los materiales usados como sello mayores valores, temperaturas de inicio de sello bajas y un rango de temperaturas de sellado amplio (Sierra et al, 2000). Entonces, la selección de las resinas que se deseen evaluar para ser usadas deben tener las características antes nombradas.

4.1.4 Impresión

La estructura seleccionada debe permitir la impresión, ya que el empaque se considera un vendedor pasivo y debido a esto, debe suministrar información al consumidor como es: marca del aceite, contenido nutricional, empresa empacadora, empresa fabricante del aceite, contenido neto, etc. Éste requerimiento no fue profundizado el desarrollo de este proyecto así que solo se nombrará para mostrar que debe ser considerado en estudios posteriores.

4.1.5 Transparencia

Este es un requerimiento que surge más como una exigencia de los consumidores los cuales están acostumbrados a la transparencia que le brindan los envases semirrígidos, lo cual les permite comprobar el aspecto que tiene el aceite y si éste se encuentra libre de grumos. De manera que todas las resinas que se evalúen en este proyecto deben ser transparentes. Lo anterior descarta la posibilidad de usar películas metalizadas en la capa de barrera al oxígeno.

Los requerimientos descritos anteriormente no los tiene un solo material, por lo cual se debe seleccionar un(os) proceso(s) de conversión que permita la combinación de varios materiales para que juntos puedan cumplir con todos los requerimientos de diseño identificados. A continuación se describirá cada uno de los problemas citados anteriormente, se explicará porque se han considerado relevantes en el diseño de la estructura y se mostrarán los resultados teóricos y experimentales que se alcanzaron en el desarrollo.

¹⁷ Vertical FormFill Seal machine

¹⁸ Horizontal FormFill Seal machine

4.2 DESARROLLO DE LA ESTRUCTURA EN CUANTO A BARRERA AL OXIGENO

El desarrollo de la estructura en cuanto a la barrera al oxígeno inicio con la caracterización de estructuras de referencia utilizadas en el almacenamiento y distribución de aceites comestibles en Ecuador y Honduras, se determinó de forma experimental la permeabilidad al oxígeno de cada una, se identificaron los materiales utilizados y los espesores de cada una de las capas utilizadas. A los envases utilizados en Colombia se les determinó los espesores y gramajes.

Finalmente se hizo una evaluación de las posibles resinas a utilizar como capa de barrera al oxígeno, se determinaron vidas útiles teóricas del aceite cuando se almacena en una estructura u otra y se plantearon opciones de configuraciones a utilizar.

4.2.1 Estructuras y envases de referencia

Para determinar la barrera al oxígeno de la estructura que se pretende desarrollar para poder garantizar una vida útil determinada se pudo acceder a dos muestras de empaques en donde se comercializa aceites vegetales tanto en Ecuador como en Honduras. De igual forma se tomarán como valores de referencia las barreras otorgadas por los envases de PET, PVC y HDPE utilizados para la comercialización de aceites vegetales en Colombia. Se comparan las vidas útiles otorgadas por cada una de las muestras de referencia con los valores teóricos calculados.

4.2.1.1 Caracterización de las estructuras y envases de referencia

1) Morfología: el ensayo de morfología permite observar en el microscopio el número de capas que conforman la estructura y los espesores de cada una de ellas.

Las pruebas se realizaron en un microscopio óptico marca Leitz con un aumento para la probeta de Honduras de 40 veces y para la probeta de Ecuador de 100 veces.

Los resultados para la estructura utilizada en Honduras muestran (anexo 1) que la capa utilizada en contacto con el aceite (capa de sello) es de 150 μ m, y que la capa externa es de 15 μ m. El espesor total de la estructura es de 165 μ m

Los resultados para la estructura utilizada en Ecuador muestran (anexo 2) que la capa utilizada en contacto con el aceite (capa de sello) tiene un espesor de 93 μ m, la capa intermedia tiene un espesor de 15 μ m y que la capa externa tiene un espesor de 15 μ m. El espesor total de la estructura es de 123 μ m

2) Calorimetría de Barrido Diferencial: El objetivo de esta prueba es el de identificar los materiales poliméricos que hacen parte de las estructuras existentes.

Los ensayos se realizaron en un equipo DSC modulado 2910 marca TA INSTRUMENTS, inicialmente se hizo una corrida para borrar la historia térmica de los materiales, se dejó enfriar y posteriormente se hizo una segunda corrida a una velocidad de calentamiento de 10°C/min. El peso de las muestras utilizadas fue de 1mg y las condiciones a las cuales se hizo el ensayo fueron las del ambiente. Los informes técnicos de las pruebas realizadas a los empaques de Honduras y Ecuador se muestran en los anexos 3 y 4 respectivamente.

Los resultados obtenidos permiten conocer que la estructura utilizada en Honduras para la distribución de aceites vegetales tiene tres materiales que funden a 248,6, 119 y 108°C. Las anteriores temperaturas de fusión permiten concluir que el material que funde a 248,6°C es PET y que la otra capa de sello es una mezcla de LDPE y LLDPE, donde el LLDPE está en una proporción menor que el LDPE.

La estructura utilizada en Ecuador para la distribución de aceites vegetales presenta tres temperaturas de fusión 125°C, 213,7°C y 248,6°C lo cual permite establecer que los materiales que la conforman son LLDPE, Nylon 66 y PET respectivamente.

3) Espesores de botellas: la determinación de los espesores se realizó con un equipo medidor digital de contacto Ecometer serie 345 a botellas de PET de 125, 250 y 1000 cc utilizadas en la distribución de aceites vegetales, los valores obtenidos fueron los mostrados en el cuadro 9 (anexo 5):

Cuadro 8. Espesores de botellas de PET de 125, 250 y 1000c.c.

Lectura	Espesor Botellas 125 cc (mm)	Espesor Botella 250 cc (mm)	Espesor Botella 1000cc (mm)
Hombros	2,350	0,369	0,429
Cintura	0,285	0,218	0,235
Cuerpo	0,310	0,237	0,268
Fondo	1,06	0,408	1,486
Promedio	1,001	0,308	0,605
Desv. Estándar	0,968	0,095	0,594
Coef. de var. (%)	96,719	30,723	98,221

Como puede verse en el cuadro 9, los espesores de las paredes de las botellas de PET analizadas no son homogéneos, encontrándose coeficientes de variación de aproximadamente 90% entre el fondo y el cuerpo de ésta.

4) permeabilidad al oxígeno: los datos de permeabilidad al oxígeno obtenidos para cada una de las estructuras de referencia permitió conocer la cantidad de oxígeno que permea a través de cada uno de estos elementos.

La prueba se realizó en un equipo marca MOCON OX-TRAN 2/21, Modelb MH, Número de serie 01631 el cual se muestra en la imagen 3. todas las pruebas se realizaron bajo las mismas condiciones de 0% humedad relativa y 23°C. los informes técnicos realizados a la muestra de Honduras y Ecuador se pueden ver en los anexos 6 y 7 respectivamente. La película utilizada en Honduras

mostró un valor de permeabilidad de 910 $cc\ mil/[m^2\ día]$ mientras que la película de Ecuador mostró una permeabilidad de 185 $cc\ mil/[m^2\ día]$.



Imagen 3. Equipo para medición de permeabilidad al oxígeno

Los valores de permeabilidad al oxígeno de los envases semirrígidos no se pudieron obtener experimentalmente por lo cual se tomarán valores teóricos (Massey, 2004) a las mismas condiciones a las cuales fueron realizado los ensayos a las estructuras flexibles. Los valores de permeabilidad del PET, PVC y HDPE se muestran a continuación junto con los de las estructuras. Como se puede notar en el cuadro 9, se trabajó con los valores de permeabilidad ya que ésta se da por unidad de espesor (mm) lo cual hace posible que los valores obtenidos de una muestra u otra sean comparativos ya que todos están evaluados por milímetro de espesor.

Cuadro 9. Valores de permeabilidad al oxígeno de las estructuras y envases de referencia

<i>Estructura</i>	<i>Valores Exp. cc mil/[m² día]</i>	<i>Valores teóricos cc mil/[m² día]</i>
<i>PET/Nylon/LLDPE (Película Ecuador)</i>	273,1985	368
<i>PET/LDPE (Película Honduras)</i>	910,0059	1064
<i>HDPE</i>	----	1748
<i>PVC</i>	----	208
<i>PET</i>	----	112

5) Gramaje: el gramaje de un envase se define como el peso por unidad de área y regularmente se expresa en kilogramos por metro cuadrado (kg/m^2). Es una propiedad importante de los envases flexibles y semirrígidos debido a que la comercialización de éstos, suele realizarse con base en esta propiedad.

La determinación del gramaje se realizó mediante la utilización de una balanza marca Sartorius con una precisión de 0,1g a botellas de PET de 125 y 250 cc. Se pesaron cinco envases de cada una de las geometrías (dos de 250 cc y una de 125 cc), los resultados obtenidos son los mostrados a continuación en el cuadro 10.

Cuadro 10. Gramaje de botella de PET de 125 y 250c.c.

Muestras	Botella de 125 cc, peso en gramos	Botella de 250 cc, peso en gramos	Botella de 250 cc, peso en gramos
1	14,6	17,0	18,6
2	15,5	17,6	19,0
3	15,1	16,8	17,9
4	14,7	16,9	18,3
5	15,8	17,0	18,5
Promedio	15,14	17,06	18,46

4.2.2 Selección de resinas para barrera al oxígeno

La selección de las posibles resinas que se pueden usar en el desarrollo de la estructura que se desea emplear en el empaque de aceites vegetales comestibles debe principalmente permitir que la ganancia máxima de oxígeno permisible establecida no se alcance durante el periodo de almacenamiento en el cual se va a garantizar la calidad del aceite. De igual forma se tendrán en cuenta otros criterios para tomar la decisión final como son: costos de las resinas, procesabilidad, compatibilidad con la capa de sello, adaptación a los procesos de conversión locales y propiedades estructurales.

Cuadro 11. Posibles resinas a utilizar para barrera al oxígeno

Posibles materiales a utilizarse como barrera al oxígeno				
Material	Características de selección			
	Adaptación tecnología disponible	Precio (US\$/kg)	Permeabilidad al O ₂ (cm ³ · mm/m ² · día · atm)	Espesores necesarios para G. máx de O ₂ de un año (micras)
PVDC	NO	3,56	0,35	7,3
EVOH	SI	5,83	0,58	9,8
PET	SI	1,47	3,26	55
Nylon	SI	3,06	2,5	42
PVC	NO	0,66	5,2	11

Fuente: los valores de los precios fueron tomados de tecnología del plástico 2002 v 128 p 65 y Proindustrial S.A. Los espesores teóricos fueron tomados de (Serrano, 2003). Los valores de permeabilidad fueron tomados de (Massey, 2004)

En el cuadro 11 se muestran las posibles resinas a utilizar como barrera al oxígeno. Se puede ver que los materiales PVDC y PVC no se adaptan a la tecnología de conversión con la que se cuenta para la fabricación de la estructura. De las tres resinas restantes a considerar el EVOH tiene un costo mayor que el Nylon y éste un costo mayor que el PET. La permeabilidad menor es la del EVOH luego sigue la del nylon y por último la de mayor valor es la del PET. En la última columna se pueden ver los espesores teóricos que se necesitarían para que en un año se alcance los valores máximos permitidos de oxígeno al interior del empaque. En el siguiente numeral se explicará como se hicieron los cálculos teóricos para determinar las vidas útiles del aceite cuando se usa un material de barrera u otro.

4.23 Cálculos teóricos de las vidas útiles de un aceite cuando se almacena en diferentes estructuras y envases.

Los cálculos teóricos de las vidas útiles se realizarán determinando de forma teórica el tiempo que le toma al oxígeno bajo unas condiciones ambientales determinadas alcanzar los valores máximos permitidos (64ppm).

En el numeral 2.2.3 se llegó a una ecuación diferencial para la difusión

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\left(\frac{\partial J_x}{\partial x} + \frac{\partial J_y}{\partial y} + \frac{\partial J_z}{\partial z}\right) = -D\left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2}\right)$$

Ésta ecuación como ya se mostró se utiliza cuando el flujo de masa ocurre en las tres direcciones espaciales. Ahora bien, si se supone que el flujo de masa solo se da en una dirección (figura 4) la ecuación se reduce a:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -D\left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2}\right) \quad (4-1)$$

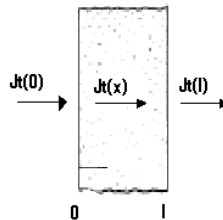


Figura 4. Esquema de flujo unidireccional

Ahora bien, si se supone un estado estable de manera que el gradiente de concentración no cambia con el tiempo la ecuación se reduce a:

$$D\left(\frac{d^2 c}{dx^2}\right) = 0 \quad (4-2)$$

Cuando se integra la ecuación 4-2 por primera vez se tiene que:

$$\frac{dc}{dx} = \text{constante} = J_x = D \frac{dc}{dx} \quad (4-3)$$

Cuando se integra nuevamente se obtiene la siguiente ecuación:

$$J_x = D \frac{c_2 - c_1}{l} \quad (4-4)$$

Si se aplica la ley de Henry $c = S * p$ se puede expresar las concentraciones en términos de presiones parciales que en el caso de permeabilidad de gases es más fácil medir, con lo cual la ecuación queda:

$$J_x = \frac{D * S (p_2 - p_1)}{l} \quad (4-5)$$

Sabiendo que el flujo es también igual a $J_x = \frac{V * \rho}{A * t}$ y que $D * S = P$ se tiene:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{P^* A(p_2 - p_1)}{l} \quad (4-6)$$

La ecuación 4-6 será la que utilizará en los cálculos de las vidas útiles del aceite cuando se almacena en diferentes estructuras.

4.2.3.1 Vidas útiles de una mezcla de aceite cuando se almacena en diferentes estructuras

A continuación se mostrará las vidas útiles obtenidas en una mezcla de aceites comestibles cuando se encuentra empacado en diferentes estructuras. La forma como fueron realizados los cálculos teóricos de las vidas útiles del aceite se muestra en el anexo 8. los cálculos mostrados se realizaron bajo las siguientes consideraciones: se tienen almacenados 250c.c. de una mezcla de aceite vegetal en un envase de HDPE cuya permeabilidad es de

$43,7 \frac{cm^3 * mm}{m^2 * atm * día}$; el contenido de oxígeno al interior del envase es de 0% y en el ambiente que rodea el envase 21%. La densidad del aceite es de 0,92g/cc. El área superficial del envase es de 0,0253m² y el espesor 0,4mm. Los resultados obtenidos fueron que un aceite en un envase de HDPE solo puede permanecer 18 días antes de que se produzca una pérdida de la calidad. A continuación se mostrará un cuadro donde se han hecho cálculos teóricos iguales al ilustrado en el anexo 8 para determinar la vida útil del aceite cuando se almacena en diferentes estructuras.

Cuadro 12. Vidas útiles calculadas del aceite almacenado en diferentes estructuras

Determinación de los periodos de almacenamiento de un aceite en diferentes estructuras							
		Estructura de Ecuador	Estructura de Honduras	Botella de PVC	Botella de PET	Opción 1	Opción 2
Ganancia Máx de O ₂	ppm	64	64	64	64	64	64
Contenido	g	230	230	230	230	230	230
Δp	atm	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
capa 1	um	15	15	400	400	12	12
capa 2	um	92	150			32	32
capa 3	um	15	0			15	15
capa 4	um					32	32
Espesor total	um	122	165	400	400	92	92
Valores teóricos de permeabilidad	(cm ³ · mm/m ² · day · atm)	10,56	29,01	5,2	3,26	8,85	0,58
Valores experimentales de permeabilidad	(cm ³ · mm/m ² · day · atm)	6,82	22,75	5,2	3,26	4,65	0,58
Área superficial	m ²	0,0228	0,0228	0,0253	0,0253	0,0228	0,0228
ΔV/Δt Teórico	cm ³ /día	0,0415	0,0842	0,0069	0,0043	0,0461	0,0030
ΔV/Δt Experime.	cm ³ /día	0,0268	0,0660	0,0069	0,0043	0,0242	0,0030
1cm ³ O ₂		0,00143	0,00143	0,00143	0,00143	0,00143	0,00143
Δm/Δt Teórico	g/día	5,929E-05	1,204E-04	9,877E-06	6,192E-06	6,587E-05	4,316E-06
Δm/Δt Experime.	g/día	3,827E-05	9,440E-05	9,877E-06	6,192E-06	3,461E-05	4,316E-06
Ganancia de O ₂ por día	ppm/día	0,166	0,410	0,043	0,027	0,150	0,019
Vida útil	días	385	156	1490	2377	425	3410

Nota: los valores teóricos de permeabilidad fueron tomados de Massey, 2004. Los valores de permeabilidad experimentales fueron los hallados con el equipo de medición de permeabilidad.

4.2.4 Resultados obtenidos en cuanto a barrera al oxígeno

En una de las columnas se muestra la estructura de Ecuador la cual presenta una vida útil del aceite empacado de 385 días, este valor comparado con el tiempo que garantiza la empresa como periodo seguro de almacenamiento del aceite en el empaque que son 240 días hace ver que existe un factor de seguridad entre lo que se ha calculado y lo real.

La columna siguiente muestra la estructura utilizada en Honduras la cual otorga 156 días de vida útil. El periodo otorgado entre el tiempo en el cual el aceite fue empacado y la fecha de vencimiento es de 90 días, dando de igual forma un periodo de seguridad.

Se puede ver que las botellas de PET y PVC que dan un año de vida útil están sobre diseñadas en cuanto a barrera al oxígeno, ya que estas teóricamente podrían dar periodos de 2377 y 1490 días respectivamente.

Se muestran igual dos opciones a considerar la opción 1 utiliza una mezcla de nylon 6 y nylon 66 como capa de barrera y otorga un periodo de vida útil de 425 días. La opción 2 utiliza EVOH como capa de barrera y otorga una vida útil de 3410 días. En ambas opciones consideradas la capa de barrera tiene un espesor de 15µm.

4.3 DESARROLLO DE LA ESTRUCTURA EN CUANTO A CAPACIDAD DE SELLADO

Este es otro requerimiento importante que debe cumplir la estructura que se desee emplear, debido a que el sellado con calor es una técnica típica utilizada en la fabricación de empaques para productos líquidos y sólidos por sus bajos costos. La selección de los materiales que se podrían utilizar en la capa de sello de la estructura se realizó tomando como referencia las estructuras utilizadas en otros países para el almacenamiento de aceites vegetales. Se ha identificado la utilización de:

- polietileno de baja densidad (LDPE)
- polietileno lineal de baja densidad (LLDPE)
- ionómeros

Además, los polietilenos catalizados con metallocenos han demostrado que cuando son mezclados con polietilenos de baja densidad y lineales mejoran la resistencia del sello de estos materiales (Sierra et al, 1999). Por tal razón también se probará este tipo de mezclas.

4.3.1 Ensayos experimentales

Materiales a probar:

- Polietileno de baja densidad: se utilizó Polifén 641 de Ecopetrol con un índice de fluidez de 1,7-2,3 g/10 min y una densidad de 0,9203 – 0,9243 g/c.c.

- Polietileno lineal de baja densidad: se utilizó Dowlex 2045G producido por Dow Química, el índice de fluidez es de 1.0g/10 min y la densidad es de 0,920 g/c.c.
- Polietileno lineal de baja densidad catalizado con metaloceno: se utilizó Elite 5401G de Dow Química, el índice de fluidez es de 1.0 g/10 min y la densidad es de 0,9175 g/c.c.
- Ionómero: se utilizó Surlyn 1601B de DuPont, el índice de fluidez es de 1,3 dg/min y tiene un porcentaje de contenido antibloqueo de 0,2%
- Se realizó una mezcla de polietileno lineal de baja de baja densidad catalizado con metaloceno (elite 5401G) y polietileno de baja densidad (polifén 641). La mezcla tenía un contenido de 80% en peso de LDPE y un 20% en peso de m-LLDPE

Extrusión-soplado

Cada uno de los materiales anteriormente descritos se procesó en una extrusora de laboratorio marca Brabender FLE 331, acoplada a un sistema de soplado del mismo fabricante. La extrusora es de ¾" in, 25L/D, con un tornillo de paso constante y una relación de compresión 3,5:1.

El dado de soplado es de 1" de diámetro y 20 milésimas de pulgada de apertura (*die gap*). Todas las películas se obtuvieron con una relación de soplado de 2,5 y un espesor de 50µm, con el objetivo de que los resultados fueran comparables.

Sellado

El sellado de las películas se realizó en una máquina DTC Hot Tack Tester (imagen 4) inicialmente se cortaban las probetas según la norma ASTM D882 con un ancho de 25,4mm (imagen 4).

Las condiciones a la cual que se realizó el sello fueron las siguientes:

- Área de sellado 127mm²
- Tiempo de sellado 0,5 seg.
- Presión de las mordazas 43,5 psi

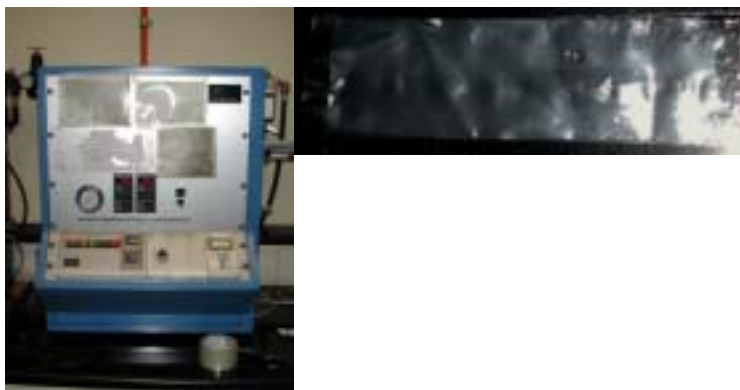


Imagen 4. Equipo de sellado DTC Hot Tack Tester y probetas (derecha).

Por cada una de las temperaturas a la cual se realizó el sellado de las películas se tomaron cinco replicas.

Cada uno de los materiales analizados se probó sellándolo sin la presencia de contaminantes y utilizando aceite como agente contaminante entre el área donde se realizó el sello.

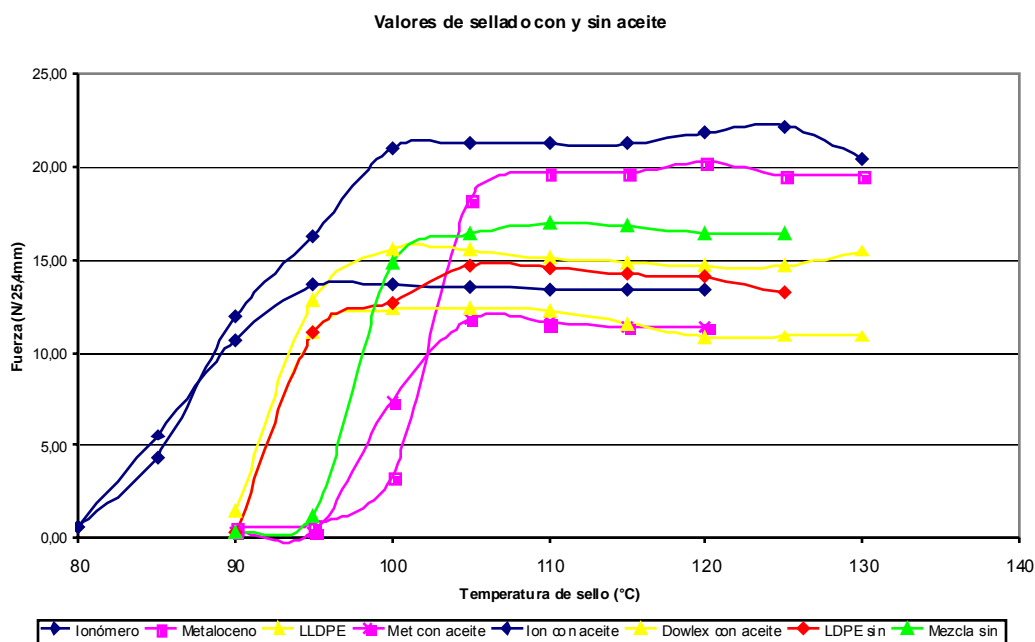
Fuerza de sellado

Se utilizó una máquina universal marca INSTRON 5586 para obtener la fuerza de sellado. Las condiciones a las cuales se realizó el ensayo fue:

- Velocidad de ensayo 300mm/s
- Separación de las mordazas 50mm

4.3.2 Resultados obtenidos en la capacidad de sellado

Los resultados obtenidos en las fuerzas de sellado de cada uno de los materiales estudiados se muestran en los anexos 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16. De igual forma en la grafica 1. para efectos de comparación, se muestran las curvas de sellado de cada uno de los materiales analizados cuando se utiliza contaminante en el área de sello y cuando no hay presencia de aceite en ésta área.



Grafica 1. Curvas de sellado de cada uno de los materiales estudiados con y sin aceite como agente contaminante

4.3.3 Prueba de sello en caliente.

Las pruebas de coeficiente de fricción y sellado en caliente son útiles para determinar la velocidad a la cual se puede tener la línea de formado, llenado, sellado. Estos requerimientos no fueron motivo de estudio en este trabajo pero son necesarios para poder integrar la estructura a las líneas de llenado automáticas.

En el desarrollo de este trabajo se pudo obtener las curvas de sellado en caliente de los tres materiales que dieron mayores valores de fuerza de sellado en frío. Los resultados se muestran en los anexos 17, 18 y 19. nuevamente los valores más altos de sellado en caliente fueron los del ionómero seguido del polietileno lineal de baja densidad catalizado con metaloceno y los más bajos fueron los de la mezcla.

4.4 RELACIÓN COSTO-BENEFICO

Como ya se había nombrado, dentro de los requerimientos que debe cumplir la estructura, la relación costo-beneficio es el más importante. Ya que, es uno de los propósitos primordiales en este trabajo poder disminuir el porcentaje que ocupa el costo del envase en el precio final del producto.

A continuación se mostrará un análisis de costos de las estructuras de referencia, del envase de PET y de posibles alternativas a utilizarse en la conformación final de la estructura. Los costos que se mostrarán se han calculado tomando en cuenta los valores de las resinas y los procesos de conversión involucrados.

Cuadro 13. Estimación de costos de estructuras

Estimación de costos de envases, estructuras de referencia y películas opcionales para un volumen de aceite de 250 cc		
Envases y estructuras	Valor aproximado (\$COL)	Vida útil esperada (días)
Envase de PET de 250 cc	203	2377
Película de Ecuador	70	385
Película de Honduras	22	156
Opción 1 PET, Nylon, LLDPE (mezcla)	65	425
Opción 2 PET, EVOH, LLDPE (mezcla)	105	3410
Opción 3 PET, Nylon, ionómero	110	425

Como puede verse en el cuadro 13, los envases de PET son los de mayor costo, seguido por la opción 3 en donde se utiliza nylon como capa de barrera al oxígeno y un ionómero en la capa de sello. En cuanto a las estructuras de referencia la utilizada en Ecuador tiene un costo más alto que la utilizada en Honduras. Se muestran además, dos posibles opciones a utilizar en donde ambas utilizan la mezcla de LDPE y m-LLDPE en la capa de sello, la diferencia entre una y otra radica en que una utiliza nylon como barrera al oxígeno y la otra EVOH, ésta última con un costo casi del doble de la que utiliza nylon como material de barrera.

4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se analizarán los resultados experimentales logrados en la evaluación de los requerimientos previamente identificados.

4.5.1 Relación costo-beneficio

Los costos de la fabricación de un empaque flexible de 250c.c. utilizando la estructura de referencia usada en Ecuador se estima en 70 pesos colombianos por bolsa y otorga una vida útil de 385 días. La construcción de un envase del mismo volumen utilizando la estructura empleada en Honduras para la distribución de aceites vegetales se estima en 22 pesos colombianos por bolsa y otorga una vida útil de 156 días. La fabricación de un envase de PET de 250 c.c. se estima en 203 pesos por envase y otorga una vida útil de 3410 días.

Como se puede notar la distribución de aceites vegetales en empaques flexibles poliméricos es más económica que la distribución en envases semirrígidos. Ahora bien la variación en los costos de las estructuras radica principalmente en los precios de las resinas que se utilicen en la capa de sello y en la capa de barrera al oxígeno. En el cuadro 13, se evalúan tres opciones de acuerdo a el costo y la vida útil otorgada; la opción 1 utiliza como barrera al oxígeno nylon 6/66 de Capron y en la capa de sello una mezcla de 20% en peso de mLLDPE y 80% de LDPE el costo de la fabricación de un empaque de 250 c.c. con esta estructura es de aproximadamente 65 pesos por bolsa. La opción 2 plantea la utilización de EVOH (EVAL 105 B) como capa de barrera al oxígeno (el mismo espesor que la capa de nylon opción 1) y la misma mezcla en la capa de sello, los costos de la fabricación del empaque en este caso se elevarían a 105 pesos por bolsa. La opción 3 plantea la utilización de nylon en la capa de barrera y un ionómero en la capa de sello en este caso los costos se elevarían aún más quedando el empaque en un costo aproximado de 110 pesos por bolsa.

4.5.2 Material de barrera al oxígeno

Como se mostró en el desarrollo de la estructura en cuanto a la barrera al oxígeno existen cinco opciones de materiales para ser utilizados como barrera al oxígeno (cuadro 11) de los cuales el PVDC y el PVC no se adaptan a la tecnología de conversión con la que se cuenta para el desarrollo de la estructura. Lo anterior reduce las posibilidades a EVOH, PET y Nylon. De estos tres materiales el que ofrece mayor barrera al oxígeno es el EVOH seguido del nylon y por último el PET.

Si se utiliza EVOH como material de barrera se estaría sobre diseñando el empaque en cuanto a la barrera que debería otorgar puesto que se tendría una vida útil del aceite durante el almacenamiento de 3410 días. Y como ya se mostró en el numeral anterior los costos del empaque serían más altos que si se utiliza nylon como material de barrera. La otra opción que se tendría para la utilización de EVOH en la capa de sello sería la disminución de los espesores pero esta alternativa sacrificaría las propiedades mecánicas de la estructura.

Queda entonces la evaluación del PET y el Nylon como posibles resinas a utilizar en la capa de barrera. Como se mostró en el cuadro 11 el nylon tiene una mejor barrera al oxígeno que el PET. Además, los grados de PET que se recomiendan para ser utilizados en el proceso de coextrusión sacrifican demasiado la capacidad de barrera del material (unas cinco veces) para

mejorar la procesabilidad. Por tal razón, se opta por utilizar nylon en la capa de barrera al oxígeno.

4.5.3 Capacidad de sellado

El material que se seleccione para ser utilizado en la capa de sello debe tener un rango de temperaturas de sellado amplio, una buena resistencia en el sello a una temperatura de inicio de sello baja y una buena capacidad de sellado en presencia de aceite como agente contaminante.

Las características anteriormente descritas las tiene el ionómero el cual de los materiales analizados es de menor temperatura de inicio de sello (80°C), el de mayor rango de temperaturas de sellado y además presenta los valores de fuerza de sello más altos en presencia de aceite como agente contaminante. La desventaja de este material es que si se utilizara como capa de sello se estaría optando por la opción más costosa de las evaluadas en estructuras flexibles para ser usadas como material del empaque. Por lo cual se descarta la posibilidad de usarlo.

De las resinas analizadas la de menor desempeño fue el polietileno de baja, además, este material tiene características hidrofóbicas y lipofílicas, la característica lipofílica puede ser un inconveniente para productos que contienen sustancias no polares como los aceites, los cuales pueden ser absorbidos o permear a través del material disminuyendo la capacidad de sello que pueda otorgar (Hernandez-Muñoz et al, 1999).

De los tres materiales adicionales que se evaluaron el de mejor desempeño fue el polietileno lineal de baja densidad catalizado con metalocenos, seguido por la mezcla de 20% en peso de m-LDPE y 80% LDPE, por último, los valores más bajos de fuerzas de sellado entre estos tres materiales la obtuvo el LLDPE.

Se decidió fabricar la estructura final con la mezcla ya que así se obtenía un ahorro en los costos, además los valores de fuerzas de sellado obtenidos con este material difieren solamente en 2 ó 3 N/25,4 mm de las obtenidas con el m-LLDPE.

4.6 ESTRUCTURA FINAL

La estructura final propuesta para ser usada en la configuración de un empaque para almacenar aceites vegetales consta de cuatro capas:

Capas de soporte y sellado

La mezcla de m-LLDPE y LDPE cumple dos funciones servir de capa de sellado ya que es éste el material que será usado como capa interna del empaque y además protege de la humedad al nylon el cual es un material muy higroscópico. Las capas de sellado y soporte tienen un espesor de 32 micras.

Capa de barrera al oxígeno

Se utilizará una capa de 15 micras de nylon 6/66 la cual está entre la capa de sello y una capa de soporte que la protege de la humedad. La obtención de esta estructura es la que se realiza por medio del proceso de coextrusión.

Capa para la impresión

La opción que se tomó para mejorar la capacidad de impresión de la estructura fue utilizar una capa laminada de PET de 15 micras (como lo utilizan las estructuras de referencia) que aportara a la barrera al oxígeno, ya que este material presenta una buena barrera a este gas y además, tiene una característica muy especial que es la capacidad de poder ser impreso por el reverso antes de ser laminado. De esta forma se evita que el contacto del aceite con la estructura por la parte exterior pueda disminuir la calidad del sello. El PET además aumenta el brillo de la estructura. En este punto se debe ahondar en las investigaciones con el fin de poder tener argumentos que justifiquen lo afirmado.

5 CONCLUSIONES

- Se desarrollo una estructura flexible obtenida a partir de materiales poliméricos de 15 micras de PET en la capa externa, 32 micras de una mezcla de 20% en peso de m-LLDPE y 80% en peso de LDPE, 15 micras de Nylon 6/66 y 32 micras de la mezcla de m-LLDPE y LDPE que garantiza un periodo de almacenamiento seguro de 435 días en una mezcla de aceites vegetales comestibles. La justificación para el desarrollo de la estructura era que ésta fuese capaz de garantizar la calidad de los aceites y que fuese más económica que los envases de PET utilizados en la actualidad para tal fin. Como se pudo ver, el costo aproximado de un empaque de 250c.c. (utilizando la estructura desarrollada) es de \$70/bolsa y el de un envase semirrígido de PET del mismo volumen es de \$200/botella. Con lo cual se cumple uno de los propósitos principales de esta investigación.
- Se pudo por medio de métodos teóricos establecer las vidas útiles de una mezcla de aceites vegetales cuando se encuentran almacenados en diferentes estructuras. Lo anterior permitió establecer que las botellas fabricada de PET y PVC se encuentran sobre diseñadas en cuanto a la barrera que otorgan al oxígeno, otorgando vidas útiles de 2370 y 1490 días respectivamente y que las estructuras de referencia de Ecuador y Honduras otorgan periodos de almacenamientos seguros de 385 y 156 días.
- Se pudo establecer las propiedades y requerimientos que debe cumplir la película a utilizarse para la construcción del empaque flexible, con el fin de prevenir la degradación de los aceites vegetales, éstos se citan a continuación:
 - Ganancia máxima de oxígeno de 64ppm durante el periodo de almacenamiento
 - Capacidad de sellado.

BIBLIOGRAFIA

- Bello Gutierrez, José. 2000. *Ciencia bromatológica: principios generales de los alimentos*. Madrid: Díaz de Santos. p 447.
- Bermúdez Ana Silvia, Guzmán Rosa. 1999. *Química de alimentos*. Bogotá. UNAD. P532.
- Belitz H. D. & Grosch W., 1999. *Food chemistry*. 2a Ed, Springer-Verlag, Berlin, p 153,163,184.
- Bird Byron, Steward W, Lightfoot E, 1960. *Transport phenomena*. John Wiley and Sons. Inc. p 496-502
- BRAUN K. 1959. "Grasas y aceites. Editorial Labor S.A. España. p12-43, 51-76.
- Chetfel J., Chetfel H., 1976. *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos*, volumen 1, Editorial Acibia, España.
- DAPD, 2001. *Información para el plan local 2001 BOGOTA para vivir todos del mismo lado. Modulo 3: Información social básica de Bogotá. BOGOTA 2001.*
- Gordon Robertson, 1993. *Food Packaging: principles and practice*.
- Hernandez-Muñoz, P., Catalá, R., Gavara, R. 1999. *Effect of sorbed oil on food aroma loss through packaging materials*. J. Agric. Food Chem. V 47, p 4370-4374.
- Kates M, 1986. "Techniques of lipiddogy: isolation, analysis and identification of lipids". 2a. edition, Elsevier Science Publishers B.V., Canada. Vol 3 pte 2.
- Kinnear Thomas C., 1982. *Investigación de mercados*. 1^{era} Edición. Colombia. McGraw-Hill. Pag 182
- Kristott J., 2003. *Stability and shelf-life of food*, Pura Foods, Belvedere, s.f. p 282-284
- Massey Liesl, 2004. *Film properties of plastics and elastomers*. 2da edition. *Plastics dising library*.
- MINSALUD, 2004. *Resolución No 19304 tomada de Internet de: www.invima.gov.co/version1/normatividad/alimentos/Resolucion19304de1985*. Recuperado febrero 27 de 2004.
- Mueller C., Hiltner A., Baer E *Interdiffusion and crystallization of LLDPE: relationships to heat sealability*. ANTEC 1996.
- Nicastrol C. 1993. *Change and cristallinity during heat sealing of cast polypropylene film*. J. Plastic Film and Sheeting, v9, p 159-167.
- Piringer Otto, Baner A, 2000. *Plastics Packaging Materials for Food: barrier function, mass transport, quality assurance, and legislation*.
- Roldan Diego, Salazar Marcela, 2003. *La cadena de oleaginosas, aceites y grasas en Colombia*. Ministerio de agricultura y desarrollo rural.
- Sierra Juan, Noriega María, Osswald Tim, 1999. *Effect of Metallocene Polyethylene on Heat Sealing Properties of Low Density Polyethylene Blends*. P 53-59

MIM-2004-II-02

Soutar A M. 1987. Developing the oil pouch in India. E.I. DuPont de Nemours Inc. Packaging India. p18-27.

ANEXO 1. Morfología de la película de Honduras



INFORME DE MEDICIÓN DE ESPESORES POR MICROSCOPIA ÓPTICA

Ensayo realizado para: proyecto desarrollo de una estructura flexible para el empaque de aceites comestibles. (d/mm/aa)
 Fecha de Ensayo: 15/05/2004
 Fecha de Informe: 28/09/2004

Identificación de la muestra: Película de Honduras

Descripción de la muestra: Película coextruída para el empaque de aceites vegetales

CONDICIONES DEL ENSAYO

Equipo:	Microscopio óptico Leitz
Magnificación:	40X
Preparación de la probeta:	Corte con cuchilla

RESULTADOS

Capas	Espesor (mm)	Porcentaje sobre el espesor total	
1	0,150	90,9	
2	0,015	9,1	
3			
4			
5			
6			
7			
Total	0,165	100	
Incertidumbre (95% de confiabilidad)	0,001	0,6	

OBSERVACIONES

El orden de las capas se presenta en forma consecutiva, siendo la capa de LDPE mezclado con LLDPE interior del empaque la número 1. Esta capa puede ser observada en la parte izquierda de la fotografía presentada a 40X. La capa numero 2 es la de PET

Cordialmente;

Jorge Alberto Medina
 Director CIPP

Jaime Loboguerrero
 Director Calidad

Este informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Toda reproducción de este informe requiere una aprobación por escrito del CIPP Universidad de los Andes. En tal caso, este informe debe ser reproducido en su totalidad.
 Las muestras ensayadas serán conservadas en el laboratorio durante 90 días, período después del cual serán desechadas.

ANEXO 2. Morfología de la película de Ecuador



INFORME DE MEDICIÓN DE ESPESORES POR MICROSCOPIA ÓPTICA

Ensayo realizado para: proyecto desarrollo de una estructura flexible para el empaque de aceites comestibles. (d/mm/aa)

Fecha de Ensayo: 15/05/2004
 Fecha de Informe: 28/09/2004

Identificación de la muestra: Película de Ecuador

Descripción de la muestra: Película coextruida para el empaque de aceites vegetales

CONDICIONES DEL ENSAYO	
Equipo:	Microscopio óptico Leitz
Magnificación:	100X
Preparación de la probeta:	Corte con cuchilla

RESULTADOS			
Capas	Espesor (mm)	Porcentaje sobre el espesor total	
1	0,093	75,5	
2	0,015	12,2	
3	0,015	12,2	
4			
5			
6			
7			
Total	0,123	100	
Incertidumbre (95% de confiabilidad)	0,001	0,8	

OBSERVACIONES
<p>El orden de las capas se presenta en forma consecutiva, siendo la capa de LLDPE interior al empaque la número 1. Esta capa puede ser observada en la parte izquierda de la fotografía presentada a 100X. La capa intermedia es la de Nylon (numero 2) y la capa exterior de PET es la numero 3</p>

Cordialmente;

Jorge Alberto Medina
 Director CIPP

Jaime Loboguerrero
 Director Calidad

Este informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Toda reproducción de este informe requiere una aprobación por escrito del CIPP Universidad de los Andes. En tal caso, este informe debe ser reproducido en su totalidad. Las muestras ensayadas serán conservadas en el laboratorio durante 90 días, período después del cual serán desechadas.

ANEXO 3. Ensayo de calorimetría de Barrido Diferencial al empaque de Honduras



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
 FACULTAD DE INGENIERIA
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA
 CENTRO DE INVESTIGACION EN PROCESAMIENTO DE POLIMEROS
CIPP



INFORME DE CALORIMETRÍA DE BARRIDO DIFERENCIAL

Ensayo realizado para: proyecto: desarrollo de una estructura flexible para el empaque de aceites comestibles (dd/mm/aa)
 Fecha de Ensayo: 10/04/2003
 Fecha de Informe: 28/09/2004

Identificación de la muestra: Película de Honduras

Descripción de la muestra: Película del empaque El Dorado

CONDICIONES DEL ENSAYO

Norma Técnica de referencia: ASTM D3417 "Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Differential Scanning Calorimetry"

Equipo: DSC modulado 2910 TA INSTRUMENTS
 Atmósfera de ensayo: ambiente
 Velocidad de calentamiento (°C/min): 10
 Peso de la muestra (mg): 1
 Material portamuestras: Aluminio
 Material de calibración: Indio
 Referencia de gráfico anexo: 2

RESULTADOS

Lectura	Puntos de Fusión (°C)	Puntos de Transición Vítrea (°C)	Observaciones sobre la lectura
1	108,07		
2	119,9		
3	248,69		
4			
5			
6			
7			
8			

OBSERVACIONES

El material que funde a 119,9 °C se encuentra en una baja cantidad si se compara con el material que funde a 108,07°C.

Cordialmente;

 Jorge Alberto Medina
 Director CIPP

 Jaime Loboguerrero
 Director Calidad

Este informe solo a feda a los objetos sometidos a ensayo. Toda reproducción de este informe requiere una aprobación por escrito del CIPP Universidad de los Andes. En tal caso, este informe debe ser reproducido en su totalidad. Las muestras ensayadas serán conservadas en el laboratorio durante 90 días, período de después del cual serán desechadas.

ANEXO 4. Ensayo de calorimetría de barrido diferencial al empaque de Ecuador



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA
CENTRO DE INVESTIGACION EN PROCESAMIENTO DE POLIMEROS
CIPP



INFORME DE CALORIMETRÍA DE BARRIDO DIFERENCIAL

Ensayo realizado para: Proyecto: desarrollo de una estructura flexible para el empaque de aceites comestibles (dd/mm/aa)
Fecha de Ensayo: 02/03/2004
Fecha de Informe: 28/09/2004

Identificación de la muestra: Película de Ecuador

Descripción de la muestra: Película de empaque la Favorita

CONDICIONES DEL ENSAYO	
Norma Técnica de referencia:	ASTM D34 17 "Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Differential Scanning Calorimetry"
Equipo:	DSC modulado 2910 TA INSTRUMENTS
Atmósfera de ensayo:	ambiente
Velocidad de calentamiento (°C/min):	10
Peso de la muestra (mg):	1
Material portamuestras:	Aluminio
Material de calibración:	Indio
Referencia de gráfico anexo:	Muestra 1

RESULTADOS			
Lectura	Puntos de Fusión (°C)	Puntos de Transición Vítreo (°C)	Observaciones sobre la lectura
1	125,19		
2	213,7		
3	248,62		
4			
5			
6			
7			
8			

OBSERVACIONES

Cordialmente;

Jorge Alberto Medina
Director CIPP

Jaime Loboguerrero
Director Calidad

Este informe solo a fecha a los objetos sometidos a ensayo. Toda reproducción de este informe requiere una aprobación por escrito del CIPP Universidad de los Andes. En tal caso, este informe debe ser reproducido en su totalidad. Las muestras ensayadas serán conservadas en el laboratorio durante 90 días, período de después del cual serán desechadas.

ANEXO 5. Espesores de botellas de PET



INFORME DE MEDICIÓN DE ESPESORES DE PARED

Ensayo realizado para: Proyecto; desarrollo de una estructura flexible para el empaque de aceites comestibles (dd/mm/aa)
Fecha de Ensayo: 24/03/2004
Fecha de Informe: 28/09/2004

Identificación de la muestra: Botellas de 125, 250 y 1000 cc

Descripción de la muestra: Envases de PET fabricados por inyección-soplado.

CONDICIONES DEL ENSAYO	
Equipo:	Medidor digital de contacto Elcometer serie 345
Preparación de la probeta:	ninguna

RESULTADOS				
Lectura	Espesor Botellas 125 cc (mm)	Espesor Botella 250 cc (mm)	Espesor Botella 1000cc (mm)	Observaciones de la medida
Hombros	2,350	0,369	0,429	
Cintura	0,285	0,218	0,235	
Cuerpo	0,310	0,237	0,268	
Fondo	1,06	0,408	1,486	
Promedio	1,001	0,308	0,605	
Desv. Estándar	0,968	0,095	0,594	
Coef. de var. (%)	96,719	30,723	98,221	

OBSERVACIONES
<p>Como puede verse en los resultados, los coeficientes de variación de las botellas analizadas están alrededor del 90% lo cual evidencia la falta de homogeneidad en las paredes.</p>

Cordialmente;

Jaime Loboguerrero
Director CIPEM

Jorge Alberto Medina
Director de calidad

Este informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Toda reproducción de este informe requiere una aprobación por escrito del CIPEM Universidad de los Andes. En tal caso, este informe debe ser reproducido en su totalidad

ANEXO 6. Permeabilidad al oxígeno de la película utilizada en Honduras para la comercialización de aceites vegetales



INFORME DE PRUEBA DE TRANSMISIÓN DE OXÍGENO

Ensayo realizado para: Proyecto; desarrollo de una estructura flexible para el empaque de aceites vegetales
Fecha de Ensayo: 14/09/2004
Fecha de Informe: 28/08/2004

Identificación de la muestra: Película de Honduras

Descripción de la muestra: Película PET/mezcla de LDPE Y LLDPE

CONDICIONES DEL ENSAYO	
Norma Técnica de referencia:	ASTM D3985-95 Standard Test Method for Oxygen Gas Transmission Rate Through Plastic Film and Sheet Using a Coulometric Sensor
Equipo de ensayo:	OX-TRAN 2/21, Modelo MH, Número de serie 01631
Tipo de muestra:	película
Humedad relativa en celda de ensayo (%):	0
Temperatura de ensayo (°C):	23,0
Período de acondicionamiento en desecador a 23 +/- 2 °C (h):	48
Período de acondicionamiento en el equipo (h):	4
Cara expuesta al oxígeno:	PET
Área efectiva de transmisión (cm ²):	5,067 (área calculada con el diámetro de restricción)
Caudal O ₂ (cc/min):	20
Caudal N ₂ (cc/min):	10

RESULTADOS						
Probeta	Espesor promedio de las probetas (mm)	Presión atmosférica (mmHg)	Presión parcial de O ₂ para concentración de 100% (mmHg)	Temperatura en la celda de ensayo (°C)	Velocidad de Transmisión de Oxígeno compensada a 760 mmHg (cc/m ² .día)	Tiempo de estabilización después de exposición a oxígeno (h)
1	0,1750	557,2	557,2	23,0	132	4,0
2	0,1750	557,2	557,2	23,0	196	4,0
Promedio	0,1750	557,2	557,2	23,0	164	4,0
Desv. Estd.	0,0000	0,0	0,0	0,0	45	0,0
Coef de Var (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	28	0
Incertidumbre (95% de confiabilidad)	0,0025	-	-	0,5	7	0,1

OBSERVACIONES
El coeficiente de variación y la desviación estándar relativamente altos obtenidos en el ensayo, se debe a la presencia de arrugas en las muestras, ya que éstas no son películas nuevas sino de un empaque que ya había sido usado en el almacenamiento de un aceite vegetal.

Cordialmente;

Jorge Alberto Medina
Director CIPP

Jaime Lobo Guerrero
Director Calidad

Ensayo acreditado bajo ISO 17025, según resolución 38443 de 128 de Nov. de 2002.
Este informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Toda reproducción de este informe requiere una aprobación por escrito del CIPP Universidad de los Andes. En tal caso, este informe debe ser reproducido en su totalidad.
Las muestras ensayadas serán conservadas en el laboratorio durante 90 días, período después del cual serán desechadas.

ANEXO 7. Permeabilidad al oxígeno de la película utilizada en Honduras para la comercialización de aceites vegetales



INFORME DE PRUEBA DE TRANSMISIÓN DE OXÍGENO

Ensayo realizado para: Proyecto: Desarrollo de una estructura flexible para el empaque de aceites comestibles (dd/mm/aaaa)
Fecha de Ensayo: 06/09/2004
Fecha de Informe: 28/09/2004

Identificación de la muestra: Película de Ecuador

Descripción de la muestra: Película de PET/Nylon/LDPE

CONDICIONES DEL ENSAYO	
Norma Técnica de referencia:	ASTM D3985-95 Standard Test Method for Oxygen Gas Transmission Rate Through Plastic Film and Sheet Using a Coulometric Sensor
Equipo de ensayo:	OX-TRAN 2/21, Modelo MH, Número de serie 01631
Tipo de muestra:	película
Humedad relativa en celda de ensayo (%):	0
Temperatura de ensayo (°C):	23,0
Período de acondicionamiento en desecador a 23 +/- 2 °C (h):	48
Período de acondicionamiento en el equipo (h):	2
Cara expuesta al oxígeno:	PET
Área efectiva de transmisión (cm ²):	5,067 (área calculada con el diámetro de restricción)
Caudal O ₂ (cc/min):	20
Caudal N ₂ (cc/min):	10

RESULTADOS						
Probeta	Espesor promedio de las probetas (mm)	Presión atmosférica (mmHg)	Presión parcial de O ₂ para concentración de 100% (mmHg)	Temperatura en la celda de ensayo (°C)	Velocidad de Transmisión de Oxígeno compensada a 760 mmHg (cc/(m ² .día))	Tiempo de estabilización después de exposición a oxígeno (h)
1	0,0825	557,0	557,0	23,0	79	2,0
2	0,0825	555,9	557,9	23,0	58	2,0
Promedio	0,0825	556,5	557,5	23,0	68	2,0
Desv. Estd.	0,0000	0,8	0,6	0,0	15	0,0
Coef de Var (%)	0,0	0,1	0,1	0,0	22	0
Incertidumbre (95% de confiabilidad)	0,0025	-	-	0,5	3	0,1

OBSERVACIONES
Las muestras presentaban arrugas debido a que se obtuvieron de un empaque que ya había estado en el mercado.

Cordialmente;

Jorge Alberto Medina
Director CIPP

Jaime Lobo Guerrero
Director Calidad

<p style="font-size: small;">Ensayo acreditado bajo ISO 17025, según resolución 38443 de 128 de Nov. de 2002. Este informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Toda reproducción de este informe requiere una aprobación por escrito del CIPP Universidad de los Andes. En tal caso, este informe debe ser reproducido en su totalidad. Las muestras ensayadas serán conservadas en el laboratorio durante 90 días, período después del cual serán desechadas.</p>
--

ANEXO 8. Cálculo de la vida útil de una mezcla de aceites comestibles cuando se almacena en HDPE

Supongamos que se tienen almacenados 250c.c. de una mezcla de aceite vegetal en un envase de HDPE cuya permeabilidad es de $43,7 \frac{cm^3 * mm}{m^2 * atm * día}$; el contenido de oxígeno al interior del envase es de 0% y en el ambiente que rodea el envase 21%. La densidad del aceite es de 0,92g/cc. El área superficial del envase es de 0,0253m² y el espesor 0,4mm.

Utilizando la ecuación 4-8 se tiene

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{P * A(p_2 - p_1)}{l} = \frac{43,7 \frac{cm^3 * mm}{m^2 * atm * día} * 0,0253m^2(0,21atm - 0)}{0,4mm} = 0,58 \frac{cm^3}{día}$$

$$\text{Ahora bien, } 1cm^3 O_2 * \frac{1mol O_2}{22400cm^3 O_2} * \frac{32g O_2}{1mol O_2} = 1,43 \times 10^{-3} g O_2$$

$$\text{De manera que } 1,43 \times 10^{-3} g O_2 * 0,58 \frac{cm^3}{día} = 8,3 \times 10^{-4} \frac{g O_2}{día}$$

$$\text{Como } \rho = \frac{m(g)}{V(cm^3)} = 0,920 = \frac{m}{250cm^3} \Rightarrow m = 230g$$

$$\Rightarrow \frac{8,3 \times 10^{-4} \frac{g O_2}{día}}{230g} = 3,6 \frac{ppm O_2}{día}$$

Como la ganancia máxima permitida es 64 ppm

$$\Rightarrow \frac{64 ppm O_2}{3,6 ppm O_2 / día} = 18 días$$

De manera que la vida útil de una mezcla de aceite que se almacene en un envase de HDPE es de 18 días.

ANEXO 9. Fuerza de sellado del polietileno lineal de baja densidad (Dow lex 2045 G) en presencia de aceite como agente contaminante



INFORME DE PRUEBA DE RESISTENCIA DEL SELLO

Ensayo realizado para: Proyecto de desarrollo de una estructura flexible para el empaque de aceites comestibles (dd/mm/aa)

Fecha de Ensayo: 20/09/2004
Fecha de Informe: 17/11/2004

Identificación de la muestra: Polietileno lineal de baja densidad

Descripción de la muestra: La muestra tiene un espesor de 50µm y fue soplada con una relación de 2,5. se utilizó aceite como agente contaminante en el área de sello

CONDICIONES DEL ENSAYO			
Velocidad Ensayo (mm/s):	300	Orientación de las probetas:	(X) Longitudinal () Transversal
Tiempo de sellado (s):	0,5		
Área de sellado (mm ²):	127	Acondicionamiento (h):	Superior a 48 horas a 23°C y 50% de humedad
Presión de sellado (psi):	43,5		
Número de probetas por cada condición ensayada:	5		
Equipo de ensayo:	Instron 5586		

RESULTADOS			
Condición	Temperatura (°C)	Promedio Fuerza (N)	Desviación Estándar Fuerza (N)
1	90	1,414	0,067
2	95	12,442	1,585
3	100	15,601	1,437
4	105	14,796	1,844
5	110	14,999	1,227
6	115	15,059	2,601
7	120	16,377	3,223
8	125	14,585	0,875
9	130	15,451	2,728
10			

OBSERVACIONES
Procedimiento de muestreo:

Cordialmente;

Jorge Alberto Medina
Director CIPP

Jaime Loboguerrero
Director Calidad

Este informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Toda reproducción de este informe requiere una aprobación por escrito del CIPP Universidad de los Andes. En tal caso, este informe debe ser reproducido en su totalidad. Las muestras ensayadas se añ no nservadas en el laboratorio durante 90 días, período después d el cual serán desechadas.

ANEXO 10. Resultados de la prueba de sellado del polietileno lineal de baja densidad (Dow lex 2045G)



INFORME DE PRUEBA DE RESISTENCIA DEL SELLO

Ensayo realizado para: Proyecto de desarrollo de una estructura flexible para el empaque de aceites comestibles (dd/mm/aa)
Fecha de Ensayo: 20/09/2004
Fecha de Informe: 17/11/2004

Identificación de la muestra: Polietileno lineal de baja densidad

Descripción de la muestra: La muestra tiene un espesor de 50 μm y fue soplada con una relación de 2,5

CONDICIONES DEL ENSAYO			
Velocidad Ensayo (mm/s):	300	Orientación de las probetas:	(X) Longitudinal () Transversal
Tiempo de sellado (s):	0,5		
Área de sellado (mm ²):	127	Acondicionamiento (h):	Superior a 48 horas a 23°C y 50% de humedad
Presión de sellado (psi):	43,5		
Número de probetas por cada condición ensayada:	5		
Equipo de ensayo:	Instron 5586		

RESULTADOS			
Condición	Temperatura (°C)	Promedio Fuerza (N)	Desviación Estándar Fuerza (N)
1	90	1,414	0,223
2	95	12,442	0,806
3	100	15,601	0,762
4	105	14,796	0,709
5	110	14,999	1,126
6	115	15,059	1,124
7	120	16,377	1,774
8	125	14,585	1,154
9	130	15,451	1,266
10			

OBSERVACIONES
Procedimiento de muestreo:

Cordialmente;

Jorge Alberto Medina
Director CIPP

Jaime Loboguerrero
Director Calidad

Este informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Toda reproducción de este informe requiere una aprobación por escrito del CIPP Universidad de los Andes. En tal caso, este informe debe ser reproducido en su totalidad. Las muestras ensayadas se no conservadas en el laboratorio durante 90 días, período después del cual serán desechadas.

ANEXO 11. Resultados de la prueba de sellado del polietileno lineal de baja densidad catalizado con metaloceno (elite 5401G) con aceite como agente contaminante.



INFORME DE PRUEBA DE RESISTENCIA DEL SELLO

Ensayo realizado para: Proyecto desarrollo de una estructura flexible para el empaque de aceites comestibles

(dd/mm/aa)

Fecha de Ensayo: 20/09/2004
Fecha de Informe: 17/11/2004

Identificación de la muestra: Polietileno lineal de baja densidad - metaloceno

Descripción de la muestra: La muestra tiene un espesor de 50 μm y fue soplada con una relación de 2,5, se ha utilizado un aceite comestible como material contaminante en el área de sello

CONDICIONES DEL ENSAYO			
Velocidad Ensayo (mm/s):	300	Orientación de las probetas:	(X) Longitudinal () Transversal
Tiempo de sellado (s):	0,5		
Área de sellado (mm ²):	127	Acondicionamiento (h):	Superior a 48 horas a 23°C y 50% de humedad
Presión de sellado (psi):	35		
Número de probetas por cada condición ensayada:	5		
Equipo de ensayo:	Instron 5586		

RESULTADOS			
Condición	Temperatura (°C)	Promedio Fuerza (N)	Desviación Estándar Fuerza (N)
1	90	0,31	0,008
2	95	0,29	0,032
3	100	4,16	3,229
4	105	14,08	1,805
5	110	11,60	2,115
6	115	10,42	0,966
7	120	15,17	2,236
8			
9			
10			

Fuerza de selle vs Temperatura

Temperatura de sellado (°C)	Fuerza (N)
90	0,31
95	0,29
100	4,16
105	14,08
110	11,60
115	10,42
120	15,17

OBSERVACIONES
<p>Todas las muestras probadas hasta la temperatura de 100°C fallaron por desprendimiento del sello (peel) a excepción de dos muestras a 105°C que fallaron por el material adyacente al sello. Desde la temperatura de 110°C en adelante todos las probetas fallaron por el material adyacente al sello.</p> <p>Procedimiento de muestreo:</p>

Cordialmente;

Jorge Alberto Medina
Director CIPP

Jaime Loboguerrero
Director Calidad

Este informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Toda reproducción de este informe requiere una aprobación por escrito del CIPP Universidad de los Andes. En tal caso, este informe debe ser reproducido en su totalidad. Las muestras ensayadas se no conservadas en el laboratorio durante 90 días, período después del cual serán desechadas.

ANEXO 12. Resultados de la prueba de sellado del polietileno lineal de baja densidad catalizado con metaloceno (elite 5401G).



INFORME DE PRUEBA DE RESISTENCIA DEL SELLO

Ensayo realizado para: Proyecto de desarrollo de una estructura flexible para el empaque de aceites comestibles (dd/mm/aa)
 Fecha de Ensayo: 20/09/2004
 Fecha de Informe: 17/11/2004

Identificación de la muestra: Polietileno lineal de baja densidad - metaloceno

Descripción de la muestra: La muestra tiene un espesor de 50 μm y fue soplada con una relación de 2,5

CONDICIONES DEL ENSAYO			
Velocidad Ensayo (mm/s):	300	Orientación de las probetas:	(X) Longitudinal () Transversal
Tiempo de sellado (s):	0,5		
Área de sellado (mm ²):	127	Acondicionamiento (h):	Superior a 48 horas a 23°C y 50% de humedad
Presión de sellado (psi):	35		
Número de probetas por cada condición ensayada:	5		
Equipo de ensayo:	Instron 5586		

RESULTADOS			
Condición	Temperatura (°C)	Promedio Fuerza (N)	Desviación Estándar Fuerza (N)
1	90	0,65	0,070
2	95	0,77	0,016
3	100	3,36	1,546
4	105	19,14	0,861
5	110	17,66	2,026
6	115	16,76	1,441
7	120	20,24	1,520
8	125	16,05	0,747
9	130	17,28	2,264
10			

OBSERVACIONES
<p>Todas las muestras probadas hasta la temperatura de 105°C fallaron por desprendimiento del sello (peel) a excepción de dos muestras una a 100°C y una a 105°C que fallaron por el material adyacente al sello. Desde la temperatura de 110°C en adelante todas las probetas fallaron por el material adyacente al sello.</p> <p>Procedimiento de muestreo:</p>

Cordialmente;

Jorge Alberto Medina
Director CIPP

Jaime Loboguerrero
Director Calidad

Este informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Toda reproducción de este informe requiere una aprobación por escrito del CIPP Universidad de los Andes. En tal caso, este informe debe ser reproducido en su totalidad. Las muestras ensayadas se no conservadas en el laboratorio durante 90 días, período después del cual serán desechadas.

ANEXO 13. Resultados de la prueba de sellado del ionómero (Surlyn 1601B) con aceite com o agente contaminante.



INFORME DE PRUEBA DE RESISTENCIA DEL SELLO

Ensayo realizado para: Proyecto de desarrollo de una estructura flexible para el empaque de aceites comestibles (dd/mm/aa)
Fecha de Ensayo: 20/09/2004
Fecha de Informe: 23/11/2004

Identificación de la muestra: Ionómero

Descripción de la muestra: La muestra tiene un espesor de 50 μm y fue soplada con una relación de 2,5. Se utilizó aceite como agente contaminante del área de sello

CONDICIONES DEL ENSAYO			
Velocidad Ensayo (mm/s):	300	Orientación de las probetas:	(X) Longitudinal () Transversal
Tiempo de sellado (s):	0,5		
Área de sellado (mm ²):	127		
Presión de sellado (psi):	35	Acondicionamiento (h):	Superior a 48 horas a 23°C y 50% de humedad
Número de probetas por cada condición ensayada:	5		
Equipo de ensayo:	Instron 5586		

RESULTADOS			
Condición	Temperatura (°C)	Promedio Fuerza (N)	Desviación Estándar Fuerza (N)
1	80	0,67	0,045
2	85	3,85	1,700
3	90	7,13	3,568
4	95	10,99	2,974
5	100	12,56	3,524
6	105	12,53	3,802
7	110	13,42	2,132
8	115	13,43	0,669
9	120	13,34	1,245
10			
11			

Fuerza de selle vs Temperatura

OBSERVACIONES
<p>Las probetas hasta la temperatura de 105°C fallaron por desprendimiento del sello desde la temperatura de 100°C en adelante todas las probetas fallaron por el material adyacente al sello.</p> <p>Procedimiento de muestreo:</p>

Cordialmente;

Jorge Alberto Medina
Director CIPP

Jaime Loboguerrero
Director Calidad

Este informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Toda reproducción de este informe requiere una autorización por escrito del CIPP Universidad de los Andes. En tal caso, este informe debe ser reproducido en su totalidad. Las muestras ensayadas serán conservadas en el laboratorio durante 90 días, período después del cual serán desechadas.

ANEXO 14. Resultados de la prueba de sellado del ionómero (Surlyn 1601B).



INFORME DE PRUEBA DE RESISTENCIA DEL SELLO

Ensayo realizado para: Proyecto de desarrollo de una estructura flexible para el empaque de aceites comestibles (dd/mm/aa)
 Fecha de Ensayo: 20/09/2004
 Fecha de Informe: 17/11/2004

Identificación de la muestra: Ionómero

Descripción de la muestra: La muestra tiene un espesor de 50 µm y fue soplada con una relación de 2,5

CONDICIONES DEL ENSAYO			
Velocidad Ensayo (mm/s):	300	Orientación de las probetas:	(X) Longitudinal () Transversal
Tiempo de sellado (s):	0,5		
Área de sellado (mm ²):	127	Acondicionamiento (h):	Superior a 48 horas a 23°C y 50% de humedad
Presión de sellado (psi):	35		
Número de probetas por cada condición ensayada:	5		
Equipo de ensayo:	Instron 5586		

RESULTADOS			
Condición	Temperatura (°C)	Promedio Fuerza (N)	Desviación Estándar Fuerza (N)
1	80	0,60	0,353
2	85	4,39	2,116
3	90	11,93	4,736
4	95	16,39	4,761
5	100	17,96	1,876
6	105	16,81	2,603
7	110	20,66	1,499
8	115	18,72	1,264
9	120	21,81	2,230
10	125	19,44	2,761
11	130	20,45	3,880

Fuerza de selle vs Temperatura

OBSERVACIONES
<p>Las muestras probadas a temperatura de 90°C y 95°C dieron desviaciones estándar altas debido a que dos probetas en esa temperatura fallaron por desprendimiento del sello y tres por el material adyacente al sello, desde la temperatura de 100°C en adelante todas las probetas fallaron por el material adyacente al sello.</p> <p>Procedimiento de muestreo:</p>

Cordialmente;

Jorge Alberto Medina
Director CIPP

Jaime Loboguerrero
Director Calidad

Este informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Toda reproducción de este informe requiere una autorización por escrito del CIPP Universidad de los Andes. En tal caso, este informe debe ser reproducido en su totalidad. Las muestras ensayadas se archivan y no se conservan en el laboratorio durante 90 días, período después del cual serán desechadas.

ANEXO 15. Resultados de la prueba de sellado del polietileno de baja densidad (Polifén 641).



INFORME DE PRUEBA DE RESISTENCIA DEL SELLO

Ensayo realizado para: Proyecto de desarrollo de una estructura flexible para el empaque de aceites comestibles (dd/mm/aa)
 Fecha de Ensayo: 07/12/2004
 Fecha de Informe: 07/12/2004

Identificación de la muestra: Polietileno de baja densidad

Descripción de la muestra: La muestra tiene un espesor de 50 μm y fue soplada con una relación de 2,5.

CONDICIONES DEL ENSAYO			
Velocidad Ensayo (mm/s):	300	Orientación de las probetas:	(X) Longitudinal () Transversal
Tiempo de sellado (s):	0,5		
Área de sellado (mm ²):	127	Acondicionamiento (h):	Superior a 48 horas a 23°C y 50% de humedad
Presión de sellado (psi):	43,5		
Número de probetas por cada condición ensayada:	5		
Equipo de ensayo:	Instron 5586		

RESULTADOS			
Condición	Temperatura (°C)	Promedio Fuerza (N)	Desviación Estándar Fuerza (N)
1	90	0,477	0,151
2	95	2,451	2,142
3	100	14,668	1,950
4	105	19,569	3,515
5	110	17,498	2,922
6	115	19,438	2,205
7	120	19,500	0,641
8	125	19,687	3,712
9			
10			

Fuerza de selle vs Temperatura

OBSERVACIONES
Procedimiento de muestreo:

Cordialmente;

Jorge Alberto Medina
Director CIPP

Jaime Loboguerrero
Director Calidad

Este informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Toda reproducción de este informe requiere una aprobación por escrito del CIPP Universidad de los Andes. En tal caso, este informe debe ser reproducido en su totalidad. Las muestras ensayadas se no conservadas en el laboratorio durante 90 días, período después del cual serán desechadas.

ANEXO 16. Resultados de la prueba de sellado de la mezcla de polietileno de baja densidad (Polifén 641) y polietileno lineal de baja densidad-metaloceno (elite 5001G).



INFORME DE PRUEBA DE RESISTENCIA DEL SELLO

Ensayo realizado para: Proyecto desarrollo de una estructura flexible para el empaque de aceites comestibles (dd/mm/aa)
Fecha de Ensayo: 07/12/2004
Fecha de Informe: 07/12/2004

Identificación de la muestra: Polietileno de baja densidad (80% en peso) y polietileno lineal de baja-metaloceno (20% en peso)

Descripción de la muestra: La muestra tiene un espesor de 50 μm y fue soplada con una relación de 2,5.

CONDICIONES DEL ENSAYO			
Velocidad Ensayo (mm/s):	300	Orientación de las probetas:	(X) Longitudinal () Transversal
Tiempo de sellado (s):	0,5		
Área de sellado (mm ²):	127	Acondicionamiento (h):	Superior a 48 horas a 23°C y 50% de humedad
Presión de sellado (psi):	43,5		
Número de probetas por cada condición ensayada:	5		
Equipo de ensayo:	Instron 5586		

RESULTADOS			
Condición	Temperatura (°C)	Promedio Fuerza (N)	Desviación Estándar Fuerza (N)
1	90	0,617	0,029
2	95	1,257	0,107
3	100	15,958	1,177
4	105	18,763	0,393
5	110	18,412	0,464
6	115	18,454	0,679
7	120	20,763	2,327
8	125	20,512	1,369
9			
10			

Fuerza de selle vs Temperatura

OBSERVACIONES
Procedimiento de muestreo:

Cordialmente;

Jorge Alberto Medina
Director CIPP

Jaime Loboguerrero
Director Calidad

Este informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Toda reproducción de este informe requiere una aprobación por escrito del CIPP Universidad de los Andes. En tal caso, este informe debe ser reproducido en su totalidad. Las muestras ensayadas se no conservadas en el laboratorio durante 90 días, período después del cual serán desechadas.

Anexo 17. Curva de Hot Tack del ionómero



INFORME DE PRUEBA DE RESISTENCIA DEL SELLO CALIENTE (HOT TACK)

Informe No:

(dd/mm/aaaa)

Ensayo realizado para: Proyecto: Diseño de un empaque flexible para aceites comestibles

Fecha de Ensayo: 17/12/2004

Fecha de informe: 20/01/2005

Identificación de la muestra: ionómero

Descripción de la muestra: Surlyn 1601 B de DuPont

CONDICIONES DEL ENSAYO			
Norma Técnica de referencia:	ASTM F1921-98 Standard Test Method for Hot Seal Strength (Hot Tack) of Thermoplastic Polymers and Blends Comprising the Sealing Surfaces of Flexible Webs		
Velocidad Ensayo (mm/s):	200	Orientación de las probetas:	(X) Longitudinal () Transversal
Tiempo de sellado (s):	1		
Área de sellado (mm ²):	127		
Fuerza de sellado (N):	30	Acondicionamiento (h):	Superior a 48 horas a 23+/-2°C y 50+/-5% de humedad
Presión de sellado (MPa):	0,24		
Número de probetas por cada condición ensayada:	3		
Equipo de ensayo:	DTC Hot Tack Tester Modelo 52-D Ser No. 006		

RESULTADOS			
Condición	Temperatura (°C)	Promedio Fuerza (N)	Desviación Estándar Fuerza (N)
1	70	0,32	0,03
2	75	0,73	0,16
3	80	1,22	0,19
4	85	1,87	0,30
5	90	3,02	0,51
6	95	2,56	0,26
7	100	3,28	0,69
8	105	2,88	0,29
9	110		
10			
11			
12			

OBSERVACIONES
Procedimiento de muestreo:

Cordialmente;

Jorge Alberto Medina
Director CIPP

Jaime Loboguerrero
Director Calidad

Este informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Toda reproducción de este informe requiere una aprobación por escrito del CIPP Universidad de los Andes. En tal caso, este informe debe ser reproducido en su totalidad. Las muestras ensayadas se archivan en el laboratorio durante 90 días, período después del cual serán desechadas.

Anexo 18. curva de Hot Tack de la mezcla de polietilenos



INFORME DE PRUEBA DE RESISTENCIA DEL SELLO CALIENTE (HOT TACK)

Informe No:

(dd/mm/aaaa)

Ensayo realizado para: Proyecto: Diseño de un empaque flexible para aceites comestibles

Fecha de Ensayo: 17/12/2004

Fecha de informe: 20/01/2005

Identificación de la muestra: mezcla de m-LLDPE y LDPE

Descripción de la muestra: La mezcla se preparó con 20% de m-LLDPE y 80% de LDPE

CONDICIONES DEL ENSAYO			
Norma Técnica de referencia:	ASTM F1921-98 Standard Test Method for Hot Seal Strength (Hot Tack) of Thermoplastic Polymers and Blends Comprising the Sealing Surfaces of Flexible Webs		
Velocidad Ensayo (mm/s):	200	Orientación de las probetas:	(X) Longitudinal () Transversal
Tiempo de sellado (s):	1		
Área de sellado (mm ²):	127		
Fuerza de sellado (N):	30	Acondicionamiento (h):	Superior a 48 horas a 23+/-2°C y 50+/-5% de humedad
Presión de sellado (MPa):	0,24		
Número de probetas por cada condición ensayada:	3		
Equipo de ensayo:	DTC Hot Tack Tester Modelo 52-D Ser No. 006		

RESULTADOS			
Condición	Temperatura (°C)	Promedio Fuerza (N)	Desviación Estándar Fuerza (N)
1	80	0,16	0,06
2	85	0,24	0,01
3	90	0,44	0,03
4	95	1,53	0,17
5	100	1,64	0,06
6	105	1,53	0,18
7	110	1,39	0,01
8			
9			
10			

OBSERVACIONES
<i>Procedimiento de muestreo:</i>

Cordialmente;

Jorge Alberto Medina
Director CIPP

Jaime Loboguerrero
Director Calidad

Este informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Toda reproducción de este informe requiere una autorización por escrito del CIPP Universidad de los Andes. En tal caso, este informe debe ser reproducido en su totalidad. Las muestras ensayadas se archivan y conservadas en el laboratorio durante 90 días, período después del cual serán desechadas.

ANEXO 19. Curva de Hot Tack de m-LLDPE



INFORME DE PRUEBA DE RESISTENCIA DEL SELLO CALIENTE (HOT TACK)

Informe No:

(dd/mm/aaaa)

Ensayo realizado para: Proyecto: Diseño de un empaque flexible para aceites comestibles

Fecha de Ensayo: 17/12/2004

Fecha de informe: 20/01/2005

Identificación de la muestra: polietileno lineal de baja densidad

Descripción de la muestra: Elite 5401G de Dow Química

CONDICIONES DEL ENSAYO

Norma Técnica de referencia:	ASTM F1921-98 Standard Test Method for Hot Seal Strength (Hot Tack) of Thermoplastic Polymers and Blends Comprising the Sealing Surfaces of Flexible Webs		
Velocidad Ensayo (mm/s):	200	Orientación de las probetas:	(X) Longitudinal
Tiempo de sellado (s):	1		() Transversal
Área de sellado (mm ²):	127	Acondicionamiento (h):	Superior a 48 horas a 23+/-2°C y 50+/-5% de humedad
Fuerza de sellado (N):	30		
Presión de sellado (MPa):	0,24		
Número de probetas por cada condición ensayada:	3		
Equipo de ensayo:	DTC Hot Tack Tester Modelo 52-D Ser No. 006		

RESULTADOS

Condición	Temperatura (°C)	Promedio Fuerza (N)	Desviación Estándar Fuerza (N)
1	80	0,21	0,06
2	85	0,16	0,10
3	90	0,24	0,01
4	95	0,44	0,15
5	100	2,46	0,34
6	105	2,63	0,34
7	110	2,63	0,09
8			
9			
10			

Fuerza de selle vs Temperatura

Temperatura de sellado (°C)	Fuerza (N)
80	0.21
85	0.16
90	0.24
95	0.44
100	2.46
105	2.63
110	2.63

OBSERVACIONES

Procedimiento de muestreo:

Cordialmente;

Jorge Alberto Medina
Director CIPP

Jaime Loboguerrero
Director Calidad

Este informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Toda reproducción de este informe requiere una autorización por escrito del CIPP Universidad de los Andes. En tal caso, este informe debe ser reproducido en su totalidad. Las muestras ensayadas se archivan y conservadas en el laboratorio durante 90 días, período después del cual serán desechadas.